



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ



Διπλωματική Εργασία :

3D Μοντελοποίηση εσωτερικού κτιρίου με χρήση laser scanner

Εμμανουήλ Ασβός

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια : Έφη Δημοπούλου

Αθήνα, Ιούλιος 2019



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS

**SCHOOL OF RURAL AND SURVEYING
ENGINEERING**

DEPARTEMENT OF TOPOGRAPHY



Diploma Thesis :
3D indoor modeling of building using laser scanner

Emmanouil Asvos

Supervisor : Efi Dimopoulou

Athens, July 2019

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία σηματοδοτεί ουσιαστικά την ολοκλήρωση των προπτυχιακών μου σπουδών, στη Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, μετά από 5 χρόνια γεμάτα γνώσεις και εμπειρίες. Λαμβάνω αυτή την ευκαιρία για να ευχαριστήσω θερμά τους ανθρώπους που με βοήθησαν όλη αυτή την περίοδο.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν με τη βοήθεια τους στην ολοκλήρωση της εργασίας μου. Ιδιαίτερη αναφορά θα ήθελα να κάνω στην επιβλέπουσα της διπλωματικής μου, κυρία Έφη Δημοπούλου, που με καθοδηγούσε και με συμβούλευε σε όλα τα στάδια της εργασίας αυτής, με σκοπό τη βελτίωση του τελικού αποτελέσματος της διπλωματικής μου εργασίας. Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς επιτροπής, κύριο Ανδρέα Γεωργόπουλο και κυρία Μαρία Τσακίρη για τη συμβολή τους στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας. Επίσης τον κύριο Τάσο Λαμπρόπουλο, για τη βοήθεια του σε ζητήματα που προέκυψαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης αυτής της εργασίας.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την εταιρεία METRICA A.E για την εμπιστοσύνη που μου επέδειξε, παρέχοντας μου το laser scanner για την εκπόνηση των αναγκαίων μετρήσεων αλλά και το λογισμικό για την επεξεργασία του νέφους σημείων. Επιπλέον τον κύριο Αντώνη Σαρδελιάνο για την αμέριστη συνεργασία του, που διευκόλυνε την επικοινωνία με την εταιρεία METRICA A.E αλλά και τη γενικότερη βοήθεια του.

Τέλος θα ήταν αδύνατο να μην αναφερθώ, στην ψυχολογική υποστήριξη και εμπύχωση της οικογένειας μου και των φίλων μου, που τόσα χρόνια είναι δίπλα μου και με στηρίζουν σε κάθε μου βήμα.

Πίνακας Περιεχομένων

Ευχαριστίες.....	1
Πίνακας Περιεχομένων	2
Πίνακας Εικόνων	4
Πίνακες	8
Περίληψη.....	9
Abstract	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο : ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΓΕΝΙΚΑ	11
1.1 Γενικά.....	11
1.2 Σκοπός της εργασίας	11
1.3 Δομή της εργασίας	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο : ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΣΑΡΩΤΕΣ -LASER SCANNER	14
2.1 Γενικά στοιχεία για τους σαρωτές - Laser scanner	14
2.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβεια μετρήσεων με τη χρήση laser scanner....	14
2.3 Κατηγορίες Τρισδιάστατων Σαρωτών – laser scanner	16
2.4 Σαρωτές επαφής.....	17
2.5 Σαρωτές Απόστασης.....	19
2.5.1 Ενεργοί Σαρωτές.....	20
2.5.2 Παθητικοί Σαρωτές.....	23
2.6 Ο σαρωτής BLK360	23
2.7 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των Laser Scanner.....	24
2.8 Εφαρμογές χρήσης των σαρωτών - laser scanner	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο : ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ	30
3.1 Ανάγκη για τρισδιάστατη μοντελοποίηση	30
3.2 Φάσεις Σχεδιασμού Μοντελοποίησης.....	30
3.2 Είδη 3d Μοντελοποίησης.....	32
3.2.1 3d Γεωμετρικά Μοντέλα	33
3.2.2 Τοπολογικά Μοντέλα	33
3.2.3 Σημασιολογικά Μοντέλα.....	33
3.3 Τεχνικές 3D Μοντελοποίησης.....	34
3.3.1 Μοντελοποίηση βάση εικόνων	34
3.3.2 Μοντελοποίηση με χρήση φωτογραμμετρίας.....	35

3.3.3 Κανονιστική Μοντελοποίηση	36
3.3.4 Αυτόματη Μοντελοποίηση	38
3.4 Παράμετροι στην οπτικοποίηση	39
3.5 nD Μοντελοποίηση	41
3.6 4D Μοντελοποίηση	44
3.7 5D Μοντελοποίηση	46
3.8 3d Μοντελοποίηση πόλεων	48
3.9 Μοντελοποίηση και κτηματολόγιο	50
3.10 Διεθνή πρότυπα που έχουν αναπτυχθεί.....	54
3.10.1 CityGML	54
3.10.2 IndoorGML.....	55
3.10.3 Industry Foundation Classes (IFC)	58
3.10.4 Land Administration Domain Model (LADM)	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο : ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ BIM	61
4.1 Ορισμοί BIM	61
4.2 Σύγκριση CAD με BIM.....	63
4.2 Διαστάσεις BIM	65
4.3 Επίπεδα BIM.....	68
4.4 Επίπεδα Ανάπτυξης Σχεδιασμού (LOD) στο BIM.....	69
4.5 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας	70
4.6 Ζητήματα σχετικά με τη μεθοδολογία BIM	72
4.7 Μελλοντικές Προκλήσεις για τη μεθοδολογία BIM.....	73
4.8 Εφαρμογές BIM	74
4.9 BIM και Πολιτιστική Κληρονομιά - HBIM.....	76
4.10 Έρευνες που έχουν διεξαχθεί για την τεχνολογία BIM.....	76
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο : ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ	79
5.1 Αντικείμενο Μοντελοποίησης - Λαμπαδάριο Κτίριο	79
5.2 Οργάνωση των εργασιών	80
5.2.1 Αναγνώριση της περιοχής	80
5.2.2 Μετρήσεις	81
5.2.3 Επεξεργασία Μετρήσεων.....	83
5.3 Συλλογή τρισδιάστατων δεδομένων με τη χρήση laser scanner	85
5.3.1 Κατέβασμα σαρώσεων από τον BLK360	86

5.3.2 Συνένωση των νεφών	88
5.3.3 Μετατροπή σε αρχείο συμβατό με Autodesk ReCap.....	99
5.3.4 Απομάκρυνση θορύβου στο λογισμικό Autodesk ReCap	99
5.4 Μοντελοποίηση εσωτερικού κτιρίου με χρήση του προγράμματος Revit.....	107
5.4.1 Το πρόγραμμα Revit και τα δεδομένα εισόδου	107
5.4.2 Εισαγωγή και επεξεργασία νέφους σημείων στο Revit.....	108
5.4.3 Πληροφορίες που αντλήθηκαν από το μοντέλο που δημιουργήθηκε	122
5.4.4 Ορισμός 2D χρήσεων του κτιρίου	126
5.4.5 Γεωαναφορά του μοντέλου	127
5.5 Συμπεράσματα	130
5.6 Προτάσεις.....	133
Παράρτημα Ι.....	135
Παράρτημα ΙΙ.....	138
Βιβλιογραφία	159
Α. Ελληνική Βιβλιογραφία.....	159
Β. Ξένη Βιβλιογραφία.....	159
Ιστογραφία	162

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1 : Κατηγοριοποίηση σαρωτών (Πηγή : http://civilgeo.teicm.gr)	17
Εικόνα 2 : Σαρωτής τύπου γέφυρας (Πηγή : http://it.cmm-nano.com)	18
Εικόνα 3 : CMM σαρωτής με βραχίονα (Πηγή : https://qcontrol.gr)	19
Εικόνα 4 : Αρχή λειτουργίας της τεχνολογίας Time of flight (Πηγή : www.researchgate.net).....	20
Εικόνα 5 : Σαρωτής τεχνολογίας Time of flight της εταιρείας Faro (Πηγή : https://3d-scanners.www1.ireviews.com)	21
Εικόνα 6 : Αρχή λειτουργίας της τεχνολογίας τριγωνισμού (Triangulation) (Πηγή : www.ipet.gr).....	22
Εικόνα 7 : Αρχή λειτουργίας της τεχνολογίας δομημένης ακτίνας (www.opensourceimaging.org).....	22
Εικόνα 8 : Σαρωτής τεχνολογίας δομημένης ακτίνας με CCD κάμερα (Πηγή : www.digitmakers.cam)	23
Εικόνα 9 : Ο σαρωτής BLK360 με το i rad που συνδέεται για την εκτέλεση των σάρωσεων (Πηγή : www.metrika.gr).....	24
Εικόνα 10 : Τοπογραφική αποτύπωση κτιρίου με σάρωση (Πηγή : Landmark).....	26

Εικόνα 11 : Τρισδιάστατη αποτύπωση κυκλοφοριακού κόμβου (Πηγή : http://www.mitsikostas.gr).....	27
Εικόνα 12 : Νέφος σημείων βιομηχανικής εγκατάστασης (Πηγή : https://www.jgc.gr).....	28
Εικόνα 13 : Φωτογραφία κατεστραμμένης πλατφόρμας άντλησης πετρελαίου (Πηγή : https://elearning.teicm.gr	29
Εικόνα 14 : Νέφος σημείων κατεστραμμένης πλατφόρμας άντλησης πετρελαίου (Πηγή : https://elearning.teicm.gr	29
Εικόνα 15 : Φάσεις Σχεδιασμού Μοντελοποίησης (Πηγή : https://docplayer.gr).....	31
Εικόνα 16 : Διαδικασία μοντελοποίησης βάση εικόνων (Πηγή : www.pauldebevec.com)...	35
Εικόνα 17 : Εφαρμογή μοντελοποίησης με τη μορφή CGA (Πηγή : Müller, P., Wonka, P., Haegler, S., Ulmer, A., & Van Gool, L. (2006)).....	37
Εικόνα 18 : Η γραμματική της μορφής CGA (Πηγή : Müller, P., Wonka, P., Haggler, S., Ulmer, A., & Van Gool, L. (2006).).....	37
Εικόνα 19 : Λειτουργίες που εκτελούνται στην έννοια successor (Πηγή : Parish, Y. I. H., & Müller, P. (2001)).....	38
Εικόνα 20 : Το εφέ της διαφάνειας στην οπτικοποίηση.....	40
Εικόνα 21 : Εργαλείο Tooltip για την απεικόνιση ιδιοτήτων του αντικειμένου.....	41
Εικόνα 22 : Ανάλυση παραγόντων σχεδιασμού (περιβαλλοντικών, κόστους, ακουστικών) με τη χρήση nd εργαλείου (Πηγή : www.researchgate.net).....	43
Εικόνα 23 : Ανάλυση συνολικού κόστους με τη χρήση nd εργαλείου (Πηγή : www.researchgate.net).....	44
Εικόνα 24 : 4d μοντέλο κτιρίου για την απεικόνιση των διαφορετικών σταδίων της κατασκευής μέσω του χρώματος (Πηγή : www.sciencedirect.com).....	45
Εικόνα 25 : 4d μοντέλο κτιρίου που διακρίνονται οι αποκλίσεις μεταξύ του προσχεδιασμένου και αυτού που έχει υλοποιηθεί (Πηγή : www.sciencedirect.com).....	46
Εικόνα 26 : Μεθοδολογία για την 5d μοντελοποίηση (Πηγή : Stoter et al., 2012).....	47
Εικόνα 27 : Παράδειγμα 3d μοντέλου πόλης (Πηγή : www.cityofadelaide.com.au).....	48
Εικόνα 28 : Ένα αντικείμενο που δημιουργήθηκε χρησιμοποιώντας τετράεδρα (Πηγή : Ledoux 2009).....	52
Εικόνα 29: Στερεά που δημιουργούνται από πιο απλά στερεά (Πηγή : Ledoux 2009).....	52
Εικόνα 30 : Παράδειγμα κανονικού πολύτοπου (Πηγή : Ledoux 2009).....	53
Εικόνα 31 : Μοντελοποίηση πόλεων με τη μέθοδο της εξώθησης (Πηγή : (Ledoux 2009))...	54
Εικόνα 32 : Τα 5 επίπεδα λεπτομέρειας του CityGML (Πηγή : www.researchgate.net).....	55
Εικόνα 33 : Αναπαράσταση της γεωμετρίας στο IndoorGML (Πηγή : http://www.indoorgml.net).....	57
Εικόνα 34 : Πολυστρωματική απεικόνιση στο IndoorGML (Πηγή : http://www.indoorgml.net).....	58
Εικόνα 35 : Ένα IFC schema (Πηγή : http://www.buildingsmart-tech.org).....	59
Εικόνα 36 : Διάγραμμα UML και κλάσεις του LADM (Πηγή : Peter van Oosterom,2014).....	60
Εικόνα 37 : Ομάδες ανθρώπων που έχουν πρόσβαση σε ένα μοντέλο BIM (Πηγή : www.b2green.gr).....	62
Εικόνα 38 : Σύγκριση μοντέλου BIM με 2d σχέδια CAD (Πηγή : www.intramattng.com).....	63
Εικόνα 39 : Οντότητες που χρησιμοποιούν τα συστήματα CAD και BIM (Πηγή : www.cadtobim.com).....	64

Εικόνα 40 : Σύγκριση της ροής των εργασιών 2D CAD και BIM σχεδίασης (Πηγή : www.seerab.com)	65
Εικόνα 41 : Οι διαστάσεις της τεχνολογίας BIM (Πηγή: Biblus,2018).....	66
Εικόνα 42 : Τα 4 επίπεδα του BIM (Πηγή : NIBT,2018).....	68
Εικόνα 43 : Επίπεδα ανάπτυξης σχεδιασμού στο BIM (Πηγή : www.truecadd.com).....	70
Εικόνα 44 : Εφαρμογή της τεχνολογίας BIM σε όλο τον κύκλο ζωής ενός κτιρίου (Πηγή : www.b2green.gr)	76
Εικόνα 45 : Παράδειγμα HBIM (Πηγή : https://link.springer.com).....	76
Εικόνα 46 : Υιοθέτηση της τεχνολογίας BIM σε διάφορες χώρες (Πηγή : Shaikh (2016)).....	77
Εικόνα 47 : Εξωτερική άποψη του Λαμπαδαρίου Κτιρίου (Πηγή : http://www.survey.ntua.gr)	79
Εικόνα 48: Σκαρίφημα της θέσης των στόχων που τοποθετήθηκαν και των στάσεων του laser scanner, στο πρόγραμμα REGISTER360	82
Εικόνα 49 : Σκαρίφημα των στάσεων του laser scanner και του νέφους σημείων που δημιουργήθηκε	83
Εικόνα 50 : Πως ορίζεται το σφάλμα των συνδέσμων στο Register360 μέσω των χρωμάτων (Πηγή : https://lasers.leica-geosystems.com).....	84
Εικόνα 51 : Μέρος του χώρου που θα σαρωθεί.....	85
Εικόνα 52 : Ο τύπος του στόχου που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια των σαρώσεων ..	86
Εικόνα 53 : Τα αρχεία των σαρώσεων που δημιουργήθηκαν	87
Εικόνα 54 : Στάδιο της διαδικασίας μεταφοράς των δεδομένων στο πρόγραμμα ReCap.....	88
Εικόνα 55 : Τύποι αρχείων σαρώσεων που δημιουργήθηκαν στο πρόγραμμα ReCap.....	88
Εικόνα 56 : Δεσμός που δημιουργείται μεταξύ δυο διαφορετικών στάσεων που έχουν αποτυπώσει τον ίδιο χώρο (Πηγή : Andy Fontana,2018)	90
Εικόνα 57 : Συνένωση νεφών με τη χρήση του εργαλείου Visual Registration σε “x-axis” (Πηγή : Andy Fontana,2018).....	91
Εικόνα 58 : Συνένωση νεφών με τη χρήση του εργαλείου Visual Registration σε “z-axis” ...	91
Εικόνα 59 : Αποτελέσματα του “ registration” σαρώσεων (Πηγή : Andy Fontana,2018)	92
Εικόνα 60 : Δέσμη (bundle) που δημιουργείται μεταξύ δυο σαρώσεων που έχουν συνενωθεί	92
Εικόνα 61: Τελικό συνενωμένο νέφος σημείων	93
Εικόνα 62 : Αποτελέσματα “Registration” όλων των νεφών.....	94
Εικόνα 63 : Στατιστικά συνδέσμου – link 33	96
Εικόνα 64: Στατιστικά συνδέσμου – link 34	97
Εικόνα 65 : Στατιστικά συνδέσμου – link 40	97
Εικόνα 66 : Στατιστικά συνδέσμου – link 46	98
Εικόνα 67 : Στατιστικά συνδέσμου – link 47	98
Εικόνα 68 : Στατιστικά συνδέσμου – link 50	99
Εικόνα 69 : Το νέφος σημείων πριν ξεκινήσει η διαδικασία καθαρισμού	100
Εικόνα 70 : Παράδειγμα σημείων που διαγράφηκαν από το νέφος και βρίσκονταν εσωτερικά του κτιρίου	101
Εικόνα 71 : Παράδειγμα αντικειμένων που αποτυπώθηκαν σε λάθος θέση.....	102
Εικόνα 72 : Άποψη του κτιρίου μετά τη διαγραφή σημείων που αποτελούσαν θόρυβο και βρίσκονταν εξωτερικά από αυτό	102
Εικόνα 73 : Παράδειγμα θορύβου στο νέφος σημείων.....	103

Εικόνα 74 : Ανθρώπινες μορφές στο νέφος σημείων που αποτελούν θόρυβο	104
Εικόνα 75 : Ανθρώπινες μορφές και πολλαπλή ανάκλαση σημείων που αποτελούν θόρυβο	104
Εικόνα 76 : Παράδειγμα περιοχής του νέφους σημείων που έχει καθαριστεί από θόρυβο	105
Εικόνα 77 : Περιοχή του νέφους που έχει καθαριστεί από θόρυβο	105
Εικόνα 78 : Περιοχή του νέφους που έχει καθαριστεί από θόρυβο	106
Εικόνα 79: Το νέφος σημείων σε 3d View, μετά την απομάκρυνση του θορύβου	106
Εικόνα 80 : Το νέφος σημείων σε Real View, μετά την απομάκρυνση του θορύβου	107
Εικόνα 81 : Επιλογές κατά την εισαγωγή του νέφους σημείων	109
Εικόνα 82 : Κάτοψη του νέφους σημείων μετά την εισαγωγή του στο λογισμικό του Revit	109
Εικόνα 83 : 3D μορφή του νέφους σημείων στο λογισμικό του Revit.....	110
Εικόνα 84 : Όψη του κτιρίου από συγκεκριμένο Elevation	110
Εικόνα 85 : Τα Level που δημιουργήθηκαν στον Project Browser	111
Εικόνα 86 : Απεικόνιση των Levels που δημιουργήθηκαν.....	112
Εικόνα 87 : Διαφορετικά είδη τοίχων που χρησιμοποιήθηκαν ανάλογα με το πάχος.....	113
Εικόνα 88 : Απεικόνιση των ιδιοτήτων της οντότητας "Wall"	113
Εικόνα 89 : Διαφορετικά είδη κολώνων που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο	114
Εικόνα 90 : Παράδειγμα ιδιοτήτων της οντότητας "Column"	114
Εικόνα 91: Το μοντέλο του κτιρίου μετά τη δημιουργία των τοίχων και των κολώνων	115
Εικόνα 92 : Το μοντέλο του κτιρίου μετά την προσθήκη δοκαριών.....	115
Εικόνα 93 : Ιδιότητες της οντότητας Beam	116
Εικόνα 94 : Άποψη του μοντέλου μετά την εισαγωγή οροφής και πατώματος.....	117
Εικόνα 95 : Άποψη του μοντέλου μετά την εισαγωγή πορτών και παραθύρων.....	117
Εικόνα 96 : Ιδιότητες των παραμετρικών οντοτήτων "Doors" και "Windows"	118
Εικόνα 97 : Άποψη του μοντέλου μετά την εισαγωγή επίπλων	119
Εικόνα 98 : Άποψη του μοντέλου μετά την εισαγωγή χρώματος	120
Εικόνα 99: Νέφος σημείων	120
Εικόνα 100 : Άποψη του τρισδιάστατου μοντέλου του κτιρίου στο Revit	120
Εικόνα 101 : Άποψη του τρισδιάστατου μοντέλου του κτιρίου στο Revit	121
Εικόνα 102 : Άποψη του τρισδιάστατου μοντέλου του κτιρίου στο Revit	121
Εικόνα 103 : Άποψη του τρισδιάστατου μοντέλου του κτιρίου στο Revit	122
Εικόνα 104 : Χρήσεις του ορόφου	127
Εικόνα 105 : Το μοντέλο και το περίγραμμα του κτιρίου στο περιβάλλον του Revit	128
Εικόνα 106 : Το περίγραμμα του κτιρίου και το μοντέλο κατά τη διαδικασία γεωαναφοράς του μοντέλου.....	128
Εικόνα 107 : Μοντέλο και περίγραμμα του κτιρίου μετά τη σύνδεση τους.	128
Εικόνα 108 : Συντεταγμένες σημείου μετά την αλλαγή συστήματος αναφοράς.....	129
Εικόνα 109 : Κάτοψη του μοντέλου σε κλίμακα 1:100.....	129

Πίνακες

Πίνακας 1 : Επίπεδα ανάπτυξης σχεδιασμού	69
Πίνακας 2 : Πίνακας με τα στατιστικά των συνδέσμων link που δημιουργήθηκαν	96
Πίνακας 3 : Πίνακας “Wall Schedule” που δημιουργήθηκε κατά την επεξεργασία των δεδομένων	123
Πίνακας 4 : Πίνακας “ Columnn Schedule” που δημιουργήθηκε κατά την επεξεργασία των δεδομένων	124
Πίνακας 5 : Πίνακας “ Floor Schedule” που δημιουργήθηκε κατά την επεξεργασία των δεδομένων	124
Πίνακας 6 : Πίνακας “Ceiling Schedule” που δημιουργήθηκε κατά την επεξεργασία των δεδομένων	125
Πίνακας 7 : Πίνακας “Window Schedule” που δημιουργήθηκε κατά την επεξεργασία των δεδομένων	125
Πίνακας 8 : Πίνακας “Door Schedule” που δημιουργήθηκε κατά την επεξεργασία των δεδομένων	126
Πίνακας 9 : Πίνακας “Area Schedule” που δημιουργήθηκε κατά την επεξεργασία των δεδομένων	127

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια, η τεχνολογία της τρισδιάστατης σάρωσης laser χρησιμοποιείται ολοένα και περισσότερο ως μια νέα μέθοδος αποτύπωσης, αυξάνοντας συνεχώς το πεδίο των εφαρμογών της. Οι σαρωτές laser χρησιμοποιούνται για την αποτύπωση αντικειμένων, κτιρίων, επιφανειών, μνημείων με σκοπό την ψηφιοποίηση τους σε τρισδιάστατη μορφή. Τα τρισδιάστατα μοντέλα που δημιουργούνται μπορεί να περιέχουν πληροφορία σχετικά με το σχήμα, το χρώμα και την εσωτερική δομή των αντικειμένων που αποτυπώνονται. Επιπλέον τα μοντέλα αυτά μπορούν να δημιουργηθούν είτε με αλγοριθμικές διαδικασίες είτε μέσω σάρωσης και να χρησιμοποιηθούν για διάφορους σκοπούς. Τα νέφη των σημείων που παράγονται από τις σαρώσεις, με τη βοήθεια κατάλληλων λογισμικών συνήθως τύπου CAD, αναδομούνται σε τρισδιάστατα μοντέλα.

Η σύνθετη ανάπτυξη του χώρου και η ανάγκη οπτικής αναπαράστασης του, για καλύτερο σχεδιασμό και ανάπτυξή του, οδήγησε στην ανάπτυξη διάφορων τεχνικών μοντελοποίησης. Επιπλέον η πολυπλοκότητα και ο βαθμός δυσκολίας ορισμένων τεχνικών έργων, οι μελέτες μετατροπών, αλλαγής χρήσεων, ανακαινίσεων και επεκτάσεων κτιρίων, οι μελέτες στατικότητας κτιρίων, απαιτούν τη δημιουργία 3D μοντέλων για την υλοποίηση τους. Για το λόγο αυτό δημιουργήθηκαν και αναπτύχθηκαν διάφορα μοντέλα (γεωμετρικά, τοπολογικά, σημασιολογικά) ανάλογα με το σκοπό που εξυπηρετεί η κάθε εφαρμογή. Τέλος η ανάγκη για αποθήκευση και ανταλλαγή πληροφοριών τρισδιάστατων μοντέλων, οδήγησε στην ανάπτυξη προτύπων για τα τρισδιάστατα μοντέλα.

Η παρούσα διπλωματική αποτελείται από δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος αναπτύσσεται το θεωρητικό υπόβαθρο ενώ στο δεύτερο μέρος παρουσιάζεται η εφαρμογή μοντελοποίησης εσωτερικού κτιρίου με χρήση laser scanner. Στο θεωρητικό υπόβαθρο αναφέρονται κάποια γενικά στοιχεία για τους σαρωτές laser, τα δυνατά και αδύναμα σημεία τους, οι βασικότερες κατηγορίες τους και κάποιες από τις κυριότερες εφαρμογές τους. Επιπλέον παρουσιάζονται κάποιες από τις κυριότερες τεχνικές μοντελοποίησης (μοντελοποίηση με χρήση φωτογραμμετρίας, κανονιστική μοντελοποίηση κλπ). Παρουσιάζονται ακόμα τεχνικές μοντελοποίησης που σχετίζονται με την εισαγωγή πληροφοριών σχετικά με το χρόνο και την κλίμακα στα διάφορα αντικείμενα ενός μοντέλου. Κάθε τεχνική δημιουργεί ένα τρισδιάστατο μοντέλο στο οποίο μπορεί να είναι ενσωματωμένη εκτός από γεωμετρική πληροφορία, τοπολογική και σημασιολογική πληροφορία. Ακόμα παρουσιάζεται εκτενώς η μεθοδολογία μοντελοποίησης BIM και κάποια πρότυπα ανταλλαγής και αποθήκευσης χωρικής πληροφορίας (CityGML, Indoor GML, IFC, LADM).

Στο δεύτερο μέρος, παρουσιάζεται η εφαρμογή της τρισδιάστατης μοντελοποίησης. Η μοντελοποίηση εφαρμόστηκε για εσωτερικό χώρο του Λαμπαδαρίου Κτιρίου, της Σχολής Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών και ειδικότερα για το χώρο του Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας-Κτηματολογίου. Η συλλογή των δεδομένων έγινε με χρήση του σαρωτή laser BLK360, της εταιρείας Leica. Η συνένωση των νεφών έγινε στο πρόγραμμα Cyclone REGISTER 360 και η απομάκρυνση του θορύβου στο πρόγραμμα ReCap της εταιρείας Autodesk. Τέλος η μοντελοποίηση πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό Revit που προσφέρει παραμετρική σχεδίαση, αποθήκευση σημασιολογικής πληροφορίας και αντιμετωπίζει το κτίριο ενιαία.

Abstract

In recent years the technology of laser scanning is being used more frequently as a new surveying method, constantly increasing the field of use. Laser scanners are being used to capture objects, buildings, surfaces, monuments in order to be digitalized into a 3d form. The 3d models that are created contain information about the shape, the color and the internal structure of the objects that are being captured. Additionally these models can be created either with algorithmic procedures or with laser scanning and can be used for various scopes. The point clouds that are created by the scans, with the help of the proper software usually CAD type, are structured into 3d models.

The complex development of space and the need for visual representation for better planning and development, has led to the evolvment of several modeling techniques. Additionally the complexity and the degree of difficulty of certain technical projects, the projects of usage changes in buildings, renovation and expansion projects of buildings and static building analysis, demand the development of 3d models for their implementation. For this reason several 3d models have been created and developed (geometric, topological, semantic) according to the purpose of the application. At last the need to store and exchange information about the 3d models, has led to the development of standards.

The current diploma thesis consists of two parts. In the first part, the theoretical background is being developed while in the second part the application of a 3d indoor modeling of a building is presented with the use of a laser scanner. In the theoretical background general information are mentioned about the laser scanners, their advantages and disadvantages, their basic categories and applications. Additionally some of the most common categories of 3d modeling are presented (photogrammetric modeling, procedural modeling). Techniques about the interpolation of time and scale into the models are presented. Every technique creates a 3d model in which besides geometrical information, topological and semantic information can be incorporated. Also BIM methodology of modeling is presented on a great scale and some standards for exchange and representation of spatial information (CityGML, IndoorGML, IFC, LADM) .

In the second part, the application of a 3d modeling is presented. The modeling was conducted in the indoor space of Lampadario Building of the School of Rural and Surveying Engineering, namely in the Lab of Photogrammetry-Cadastrre. The data collection was conducted with the BLK360 laser scanner, produced by Leica. The registration of the point clouds was conducted in Cyclone REGISTER 360 and the noise reduction in Autodesk ReCap. The modeling software used, was Autodesk Revit, that offers parametric modeling, semantic data storage and confronts the building as a unit.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΓΕΝΙΚΑ

1.1 Γενικά

Η τεχνολογική εξέλιξη έχει συμβάλλει στη δημιουργία μεθόδων και προγραμμάτων που οδηγούν στην τρισδιάστατη αποτύπωση των κτιρίων, παράγοντας 3d μοντέλα μέσω συγκεκριμένων διαδικασιών. Τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούνται σε όλες τις φάσεις που βρίσκεται ένα κτίριο. Είτε είναι στο στάδιο του σχεδιασμού, είτε είναι στο στάδιο της κατασκευής, είτε έχει ολοκληρωθεί και είναι στο στάδιο της λειτουργίας. Με τα 3d μοντέλα η διαδικασία του σχεδιασμού γίνεται πιο εύκολη και γρήγορη για τους μηχανικούς, αποφεύγονται λάθη και παραλείψεις κατά τη διαδικασία της κατασκευής, εξοικονομώντας κατά αυτό τον τρόπο χρόνο και χρήμα. Ότι αλλαγή πραγματοποιείται σε οποιαδήποτε απεικόνιση του κτιρίου επικαιροποιείται στο μοντέλο. Στην παρούσα εργασία, γίνεται μια προσπάθεια διερεύνησης των δυνατοτήτων της αποτύπωσης με laser scanner, με σκοπό τη δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου του εσωτερικού ενός κτιρίου και αξιοποίησης του για τη δημιουργία 3D Κτηματολογίου.

1.2 Σκοπός της εργασίας

Ο κόσμος στον οποίο ζούμε συνεχώς μεταβάλλεται και εξελίσσεται. Για την απεικόνιση και αναπαράσταση των μεταβολών αυτών, αναγκαία είναι η τρίτη διάσταση αφού μας προσφέρει μια παραστατικότερη απεικόνιση της πραγματικότητας. Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές μοντελοποίησης για τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων. Η επιλογή της καταλληλότερης τεχνικής, γίνεται σε συνάρτηση με το σκοπό για τον οποίο θα δημιουργηθεί το μοντέλο. Οι μέθοδοι αποτύπωσης τα τελευταία χρόνια έχουν σημειώσει σημαντική πρόοδο, με τους σαρωτές laser να έχουν διευρύνει σημαντικά το πεδίο των εφαρμογών τους και να είναι μια μέθοδος αποτύπωσης που χρησιμοποιείται πολύ συχνά στις τοπογραφικές εργασίες. Στη διαδικασία αποτύπωσης εσωτερικών χώρων, λόγω αυτών των τεχνολογικών εξελίξεων δεν προτιμώνται οι κλασικές τοπογραφικές μέθοδοι με τη χρήση θεοδόλιχου και έχουν αντικατασταθεί με την “καινούργια” αυτή μέθοδο αποτύπωσης, με χρήση laser scanner ή ψηφιακού σαρωτή.

Το βασικότερο πλεονέκτημα των laser scanner έγκειται στη δυνατότητα τους, να αποτυπώνουν εκατομμύρια σημεία ανά λεπτό. Με την κλασική τοπογραφία είναι πολύ δύσκολο έως αδύνατο να αποτυπωθούν τόσα σημεία για μια επιφάνεια, στο χρόνο που κάνει ένας σαρωτής για να τα αποτυπώσει αντίστοιχα. Επιπλέον είναι μια γρήγορη μέθοδος συλλογής σημείων, αφού μια σάρωση διαρκεί λίγα μόλις λεπτά. Το νέφος των σημείων που δημιουργείται, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να το δει στο πεδίο, μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή ή tablet κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, ελαχιστοποιώντας την πιθανότητα διενέργειας επαναληπτικών μετρήσεων για την κάλυψη κενών στις σαρώσεις.

Το πεδίο εφαρμογής των σαρωτών laser ποικίλλει. Χρησιμοποιούνται σε αποτυπώσεις μνημείων, σε έργα υποδομής, στον κινηματογράφο, σε παιχνίδια και σε άλλες εφαρμογές.

Τα τρισδιάστατα μοντέλα που δημιουργούνται μετά την επεξεργασία του νέφους μπορούν να χρησιμοποιηθούν για οπτικοποίηση, στο σχεδιασμό, στην κατασκευή, για αναλύσεις. Επίσης μας δίνεται η δυνατότητα ενσωμάτωσης στα τρισδιάστατα μοντέλα, του χρόνου και του κόστους βελτιώνοντας την αποτελεσματικότητα και την αποδοτικότητα της διαδικασίας του σχεδιασμού και της κατασκευής. Στόχος της εργασίας είναι να διερευνήσουμε τις δυνατότητες της μεθόδου αποτύπωσης με χρήση laser scanner, σε εσωτερικό κτιρίου, προκειμένου να δημιουργήσουμε ένα τρισδιάστατο μοντέλο. Το τρισδιάστατο μοντέλο θα δημιουργηθεί για το εσωτερικό του εργαστηρίου Φωτογραμμετρίας της Σχολής Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, που βρίσκεται στον πρώτο όροφο του Λαμπαδαρίου Κτιρίου της σχολής. Το νέφος σημείων που δημιουργήθηκε, συνενώθηκε με το πρόγραμμα Cyclone Register360. Έπειτα το νέφος εισήχθη στο πρόγραμμα Autodesk ReCap προκειμένου να γίνει ο καθαρισμός του νέφους από το "θόρυβο". Τέλος η δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου έγινε με χρήση του προγράμματος Revit.

1.3 Δομή της εργασίας

Η παρούσα εργασία αποτελείται από 5 κεφάλαια στα οποία περιλαμβάνονται συνοπτικά τα παρακάτω :

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται κάποια γενικά στοιχεία της παρούσας διπλωματικής καθώς ο σκοπός και η δομή της.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αρχικά παρουσιάζονται, κάποια γενικά στοιχεία για τους σαρωτές laser, καθώς και οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η ακρίβεια των μετρήσεων. Επιπλέον παρατίθενται οι βασικότερες κατηγορίες σαρωτών laser και ο τρόπος λειτουργίας κάθε κατηγορίας. Ακόμα παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των σαρωτών laser και το πεδίο εφαρμογών των σαρωτών laser. Τέλος παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του σαρωτή BLK360, με τον οποίο πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρατίθενται οι τεχνικές μοντελοποίησης και γίνεται μια προσπάθεια ανάδειξης των βασικότερων πληροφοριών των τεχνικών αυτών. Ακόμα παρουσιάζονται τα είδη των 3d μοντέλων, οι φάσεις σχεδιασμού ενός μοντέλου και τα είδη της πληροφορίας που μπορεί να περιέχει κάθε μοντέλο. Γίνεται ακόμα αναφορά στην πολυδιάστατη μοντελοποίηση (4d, 5d). Τέλος γίνεται μια εισαγωγή στην πρότυπα που έχουν αναπτυχθεί για την ανταλλαγή και αποθήκευση χωρικών πληροφοριών όπως είναι το CityGML, το IndoorGML, το IFC και το LADM.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μοντελοποίηση με τη μεθοδολογία BIM και γίνεται μια σύγκριση με την τεχνική CAD. Παρουσιάζονται τα επίπεδα λεπτομέρειας (LoD) της μεθόδου αυτής και οι διαστάσεις των μοντέλων BIM. Παρατίθενται τα οφέλη της μεθόδου αυτής καθώς και τα ζητήματα της μεθόδου αυτής. Ακόμα καταδεικνύονται οι μελλοντικές προκλήσεις που καλείται να αντιμετωπίσει η μέθοδος αυτή και παρατίθενται εφαρμογές

της. Τέλος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ερευνών που έχουν διεξαχθεί για την τεχνολογία BIM.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται κάποιες βασικές πληροφορίες για το κτίριο το οποίο μοντελοποιείται. Ακόμα παρουσιάζεται η οργάνωση των εργασιών που ακολουθήθηκε και γίνεται μια περιγραφή του κάθε σταδίου της. Ακόμα περιγράφεται εκτενώς η διαδικασία συλλογής των απαραίτητων δεδομένων για τη μοντελοποίηση του κτιρίου. Επιπλέον περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία μοντελοποίησης του κτιρίου. Τέλος σχολιάζονται τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης και εξάγονται τα συμπεράσματα, όπως προέκυψαν από την ερευνητική διαδικασία και επιχειρείται η εξαγωγή προβληματισμών για μελλοντική διερεύνηση που προέκυψαν από την εκτενή διερεύνηση του ζητήματος αυτού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΣΑΡΩΤΕΣ - LASER SCANNER

2.1 Γενικά στοιχεία για τους σαρωτές - Laser scanner

Οι σαρωτές laser είναι όργανα τα οποία έχουν τη δυνατότητα να συλλέγουν από τον περιβάλλοντα χώρο, στοιχεία για τη θέση διακεκριμένων σημείων καθώς επίσης στοιχεία σχετικά με την εμφάνιση τους (π.χ χρωματικά στοιχεία με την μορφή RGB τιμών). (Συμεωνίδης,2007) Η τεχνολογία των laser scanner ή αλλιώς LIDAR (Light Detection and Ranging) όταν αναφερόμαστε σε αερομεταφερόμενους σαρωτές, έχει αναπτυχθεί από τη δεκαετία του 80, ωστόσο χρησιμοποιείται και για επίγειες μετρήσεις τα τελευταία χρόνια. Βασικό πλεονέκτημα των laser scanner είναι ότι μπορούμε να αποκτήσουμε ένα πυκνό νέφος σημείων, με γρήγορο τρόπο και μεγάλη ακρίβεια. Για κάθε σημείο που σαρώνει ο σαρωτής - laser scanner, μια απόσταση μετράται σε γνωστή διεύθυνση και υπολογίζονται οι συντεταγμένες (X, Y, Z) του σημείου αυτού. Επιπλέον οι σαρωτές έχουν τη δυνατότητα να καταγράφουν εκατομμύρια σημεία το λεπτό, που με παραδοσιακές τοπογραφικές μεθόδους, θα ήταν αδύνατον να συλλεχθούν τόσα πολλά σημεία σε τόσο μικρό χρονικό διάστημα.

Οι σαρωτές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τους επίγειους και τους αερομεταφερόμενους σαρωτές. Οι πρώτοι είναι τοποθετημένοι κάτω από ένα αεροπλάνο και σαρώνουν μια περιοχή από κάποιο ύψος καθώς το αεροπλάνο πετάει, ενώ οι δεύτεροι είναι τοποθετημένοι σε ένα τρίποδα και σαρώνουν επίγεια αντικείμενα όπως κτίρια, δέντρα, γέφυρες, σήραγγες κλπ. Σημαντικό πλεονέκτημα των επίγειων σαρωτών σε σχέση με άλλες τοπογραφικές μεθόδους είναι η απόκτηση συντεταγμένων σημείων χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα.

Ενδεικτικές εφαρμογές χρήσης της τεχνολογίας των laser scanner, είναι οι αποτυπώσεις για την τεκμηρίωση της πολιτιστικής κληρονομιάς και μνημείων, η δημιουργία 3D μοντέλων εικονικής πραγματικότητας, η δημιουργία ψηφιακών μοντέλων εδάφους, η μοντελοποίηση με τη μεθοδολογία BIM, η μέτρηση δομικών παραμορφώσεων, ο έλεγχος βιομηχανικών εγκαταστάσεων, η αποτύπωση μηχανολογικών εγκαταστάσεων.

2.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβεια μετρήσεων με τη χρήση laser scanner

Στις τοπογραφικές εργασίες ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που λαμβάνουμε υπόψιν μας, είναι η ακρίβεια αποτύπωσης. Η ακρίβεια αποτύπωσης είναι καθοριστικός παράγοντας στην επιλογή οργάνου και επηρεάζει την ακρίβεια του τελικού προϊόντος. Η ακρίβεια αποτύπωσης των laser scanner εξαρτάται από :

1. Την ακρίβεια των μετρήσεων
2. Την πυκνότητα σάρωσης

3. Το θόρυβο που δημιουργείται στο νέφος των σημείων
4. Το μέγεθος της κουκκίδας laser

Η ακρίβεια κάθε μέτρησης εξαρτάται άμεσα από την πυκνότητα σάρωσης, το θόρυβο, το μέγεθος της κουκκίδας αλλά και από άλλους παράγοντες. Καλύτερη ποιότητα στο τελικό προϊόν πετυχαίνουμε με μικρό μέγεθος κουκκίδας γιατί συντελεί στον καλύτερο και ακριβέστερο προσδιορισμό του σημείου που αποτυπώνεται κάθε φορά. Ακόμα ο συνδυασμός πυκνών σαρώσεων με όσο το δυνατόν μικρότερο μέγεθος κουκκίδας, μας οδηγεί σε καλύτερη ποιότητα τελικού προϊόντος. Κατά αυτόν τον τρόπο περιορίζεται και το σφάλμα ακμής, που αποτελεί σημαντική πηγή σφαλμάτων κατά τη διαδικασία των σαρώσεων.

Το βήμα σάρωσης ουσιαστικά είναι η απόσταση μεταξύ των γειτονικών σημείων που θα αποτυπώσει ο σαρωτής. Αρχικά καθορίζεται η απόσταση από το αντικείμενο σάρωσης ή μέση απόσταση από αυτό. Ωστόσο λόγω μικρής ακρίβειας η απόσταση αυτή προσδιορίζεται προσεγγιστικά. Εναλλακτικά αντί της απόστασης μπορούμε να δώσουμε τη γωνία μετακίνησης της ακτίνας μεταξύ δυο διαδοχικών σαρώσεων. Ωστόσο στις περισσότερες περιπτώσεις δίνουμε το βήμα σάρωσης γιατί μας ενδιαφέρει η πυκνότητα των σημείων στο αντικείμενο. Μερικοί σαρωτές laser υπολογίζουν αυτόματα την απόσταση αυτή, εφόσον έχουμε ορίσει την περιοχή αποτύπωσης. Έπειτα δίνεται το βήμα σάρωσης του αντικειμένου. Το βήμα σάρωσης του αντικειμένου εξαρτάται από το όργανο που γίνεται η σάρωση, το αντικείμενο σάρωσης και τις απαιτήσεις ακρίβειας του τελικού προϊόντος. Για το λόγο αυτό οι τιμές του κυμαίνονται από χιλιοστά έως μερικά μέτρα. Τέλος το βήμα σάρωσης είναι προσεγγιστικό και σχετίζεται με τα αντικείμενα που είναι κάθετα στην πορεία του laser και όχι πλάγια.

Κατά τη διαδικασία των σαρώσεων, στο νέφος των σημείων δημιουργείται ο λεγόμενος "θόρυβος" που αποτελεί άχρηστη πληροφορία στο μοντέλο και πρέπει να αφαιρεθεί από αυτό. Ειδικά σε σαρώσεις εξωτερικού χώρου αποτυπώνεται πληροφορία που δεν μας ενδιαφέρει, όπως αυτοκίνητα, περαστικοί και κατά τη διαδικασία της επεξεργασίας αφαιρείται. Ακόμα προκειμένου να αποτυπωθεί πλήρως ένα αντικείμενο, σαρώνουμε εν γνώση μας και περιττά σημεία για ασφάλεια αλλά και προκειμένου να μην επαναλάβουμε τη διαδικασία των μετρήσεων. Πηγή δημιουργίας θορύβου αποτελούν οι άνθρωποι ή άλλα εμπόδια που εμφανίζονται στιγμιαία κατά τη διάρκεια της σάρωσης. Επίσης δημιουργούνται σημεία στο νέφος σημείων που δεν γνωρίζαμε από την αρχή ότι αποτελούν 'άχρηστα' σημεία αλλά κατά τη διαδικασία επεξεργασίας του νέφους τα εντοπίζουμε και τα αφαιρούμε. Παράδειγμα τέτοιων σημείων, είναι σημεία που δημιουργούνται από πολλαπλή ανάκλαση της ακτίνας laser σε γυάλινες επιφάνειες ή σε περιοχές με βλάστηση. Η διαδικασία εντοπισμού και απαλοιφής τέτοιων σημείων, ονομάζεται καθαρισμός του νέφους σημείων και γίνεται χειροκίνητα ή μέσω ειδικών αλγορίθμων. Χειροκίνητα γίνεται μέσω του εντοπισμού και της διαγραφής τέτοιων σημείων από το χρήστη. Ο χειροκίνητος καθαρισμός αποτελεί προτιμότερος τρόπος καθαρισμού νέφους σημείων σε σχέση με τους αλγορίθμους. Μέσω ειδικών αλγορίθμων γίνεται αυτόματα ο καθαρισμός, ορίζοντας πρώτα κάποιες παραμέτρους.

Το μέγεθος της κουκκίδας laser επηρεάζει την ακρίβεια του τελικού προϊόντος, αφού όσο μικρότερο είναι το μέγεθος της κουκκίδας, τόσο καλύτερο ορισμό του σημείου που σαρώνουμε θα έχουμε. Για τον προσδιορισμό του μεγέθους υπάρχουν δύο μοντέλα. Το πρώτο ακολουθεί την καμπύλη κατανομής Gauss, συσχετίζοντας τις τιμές της έντασης της ακτίνας laser με την απόσταση από το κέντρο της ακτίνας. Στο κέντρο της καμπύλης αυτής παρατηρούμε ότι η ακτίνα laser έχει τη μεγαλύτερη ένταση και όσο απομακρυνόμαστε από το κέντρο, η τιμή της έντασης όλο και μικραίνει. Το δεύτερο μοντέλο βασίζεται στη σχέση :

$1/e^2 \times I_{\max}$ με I_{\max} τη μέγιστη ένταση της ακτίνας laser και $1/e^2 = 0,135$ ή 13,5%

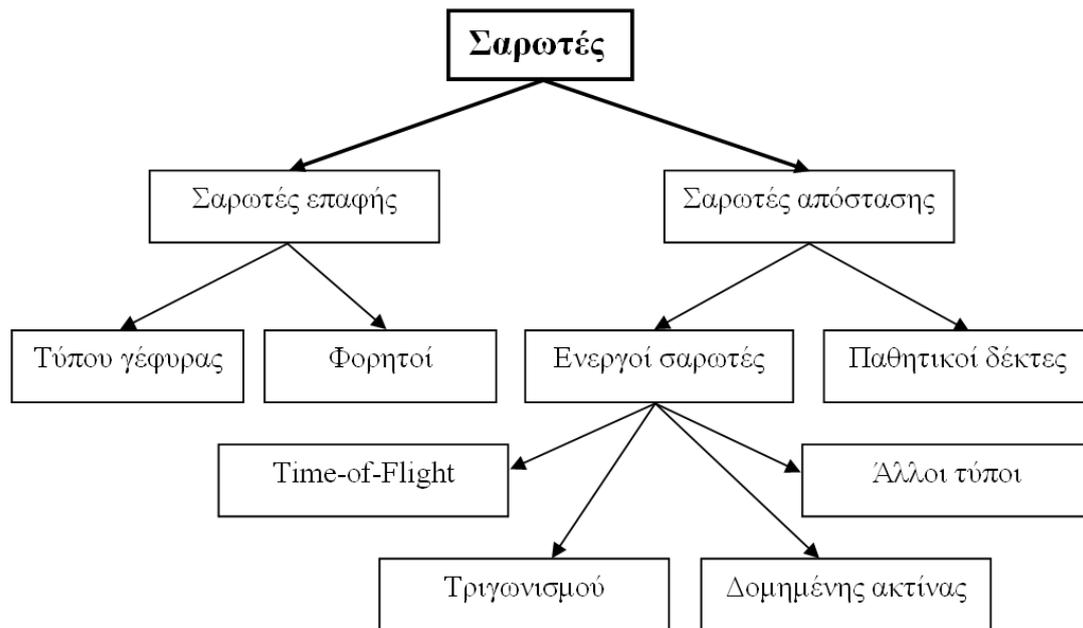
2.3 Κατηγορίες Τρισδιάστατων Σαρωτών – laser scanner

Οι σαρωτές ανάλογα με το πεδίο εφαρμογής τους, μπορούν να χωριστούν σε επίγειους και αερομεταφερόμενους. Οι αερομεταφερόμενοι σαρωτές είναι γνωστοί και ως Lidar (Light Detection and Ranging), χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή ψηφιακών μοντέλων εδάφους ενώ οι επίγειοι σαρωτές χρησιμοποιούνται για αποτυπώσεις μνημείων, κτιρίων, τεχνικών έργων. Η αρχή λειτουργίας των σαρωτών έγκειται στο γεγονός ότι κάθε παλμός που εκπέμπεται από το σαρωτή ανακλάται στο αντικείμενο και επιστρέφει στο σαρωτή ενώ ο χρόνος της διαδρομής της κάθε ακτίνας μετράται με χρονόμετρο ακριβείας και μετατρέπεται σε απόσταση χρησιμοποιώντας την ταχύτητα του φωτός. Μια άλλη κατηγοριοποίηση είναι ανάλογα με το αν ο σαρωτής έρχεται ή δεν έρχεται σε επαφή με το αντικείμενο σάρωσης (Εικόνα 1). Έτσι οι πρώτοι είναι οι σαρωτές επαφής (contact 3D scanners) και οι δεύτεροι είναι οι σαρωτές απόστασης ή μη επαφής (non contact 3D scanners). Οι σαρωτές απόστασης μπορούν να χωριστούν με τη σειρά τους, σε ενεργούς σαρωτές απόστασης και παθητικούς σαρωτές απόστασης. Οι ενεργοί σαρωτές ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιούν μπορούν να χωριστούν σε Time of flight, Τριγωνισμού και Δομημένης ακτίνας. Τέλος οι σαρωτές επαφής χωρίζονται σε δυο κατηγορίες, τους σαρωτές τύπου γέφυρας και τους φορητούς σαρωτές.

Μια άλλη κατηγοριοποίηση που μπορεί να γίνει είναι με βάση τα τεχνικά χαρακτηριστικά των σαρωτών. Η κατηγοριοποίηση αυτή, μας βοηθάει στην επιλογή του καταλληλότερου σαρωτή που ταιριάζει στην εκάστοτε εφαρμογή. Σύμφωνα με τους (C. Fröhlich, M. Mettenleiter, 2004) η ταξινόμηση με βάση τα τεχνικά χαρακτηριστικά, πρέπει να λαμβάνει υπόψιν τα εξής κριτήρια :

1. Την ταχύτητα σάρωσης (scanning speed), που είναι ο ρυθμός καταγραφής της απόστασης από το σαρωτή των σημείων του αντικειμένου που αποτυπώνονται
2. Το εύρος του πεδίου (field of view), που είναι το τμήμα του χώρου που αποτυπώνεται από τους σαρωτές κατά την ορίζονται και κατακόρυφη κίνηση
3. Την χωρική ανάλυση (spatial resolution), που σχετίζεται με τον αριθμό των σημείων που αποτυπώνονται σε ένα εύρος πεδίου του σαρωτή
4. Την ακρίβεια (accuracy) μέτρησης της απόστασης σαρωτή-αντικειμένου, την ακρίβεια του συστήματος εκτροπής του laser και την ολική ακρίβεια των συστημάτων μέτρησης του σαρωτή

5. Τη δυνατότητα χρήσης του σαρωτή σε συνδυασμό με άλλη συσκευή (κάμερα, GPS)



Εικόνα 1 : Κατηγοριοποίηση σαρωτών (Πηγή : <http://civilgeo.teicm.gr>)

2.4 Σαρωτές επαφής

Οι σαρωτές επαφής, όπως αποκαλύπτει και το όνομα τους, έχουν ως βασική αρχή λειτουργία τους, τη σάρωση του αντικειμένου μέσω της φυσικής επαφής. Οι σαρωτές αυτοί χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τους φορητούς και τους σαρωτές τύπου γέφυρας (Εικόνα 2), που είναι σταθεροί σαρωτές και χρησιμοποιούνται κυρίως σε βιομηχανικές εφαρμογές. Για τη σάρωση του αντικειμένου χρησιμοποιείται ένας ρομποτικός βραχίονας στον οποίο είναι τοποθετημένος ένας αισθητήρας αφής. Συνηθέστερος τύπος στην κατηγορία των σαρωτών επαφής είναι ο CMM σαρωτής (Coordinate Measuring Machine) που φαίνεται στην Εικόνα 3.

Ωστόσο τα τελευταία χρόνια αναπτύχθηκε μια ακριβέστερη και γρηγορότερη μέθοδος σε σχέση με τη CMM, όπου υπάρχουν ηλεκτρονικοί αισθητήρες αφής που κινούνται κατά μήκος του αντικειμένου και παίρνουν σημεία σε προκαθορισμένα διαστήματα. Οι σαρωτές αυτοί, χρησιμοποιούνται κυρίως σε βιομηχανικές εφαρμογές, σε κινηματογραφικές εφαρμογές και για το σχεδιασμό computer game. Οι σαρωτές επαφής προσφέρουν ικανοποιητικά αποτελέσματα σε θέματα ακρίβειας.

Ωστόσο βασικό τους μειονέκτημα είναι ότι η φυσική επαφή του σαρωτή με το αντικείμενο, μπορεί να προκαλέσει αλλοίωση ή ακόμα και καταστροφή του αντικειμένου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι σαρωτές επαφής να μην χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις μνημείων. Ακόμα δεν είναι κατάλληλοι για τη σάρωση γυάλινων επιφανειών και υγρών στοιχείων. Επιπλέον ένα άλλο μειονέκτημα των σαρωτών αυτών είναι ότι η διαδικασία της σάρωσης

είναι χρονοβόρα διαδικασία, εξαιτίας της δυνατότητας των σαρωτών επαφής να σαρώνουν μερικά εκατοντάδες σημεία το λεπτό. Σε αυτή την κατηγορία σαρωτών χρησιμοποιείται ένας βραχίονας που κινείται και επιβραδύνει τη διαδικασία σάρωσης. Βασικό πλεονέκτημα τους όμως είναι ότι συνήθως δεν χρειάζονται επιπλέον μετρήσεις για τη γεωαναφορά του μοντέλου που δημιουργείται. Τέλος ο χρήστης μπορεί να επιλέξει την περιοχή σάρωσης εξοικονομώντας χρόνο, τόσο στο στάδιο της σάρωσης του αντικείμενου αλλά και στο στάδιο της επεξεργασίας.



Εικόνα 2 : Σαρωτής τύπου γέφυρας (Πηγή : <http://it.cmm-nano.com>)

Οι σαρωτές της κατηγορίας αυτής χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές στους τομείς του :

- Βιομηχανικού σχεδιασμού όπου αντικείμενα, εργαλεία, εξαρτήματα σαρώνονται για τον έλεγχο και σχεδίαση βιομηχανικών στοιχείων.
- Σχεδιασμού computer games σαρώνοντας αντικείμενα ή και μοντέλα με σκοπό την εισαγωγή τους στο εικονικό περιβάλλον παιχνιδιών.
- Κινηματογράφου με στόχο τη δημιουργία εικονικών αντικειμένων από τη σάρωση προκατασκευασμένων μοντέλων.



Εικόνα 3 : CMM σαρωτής με βραχίονα (Πηγή : <https://qcontrol.gr>)

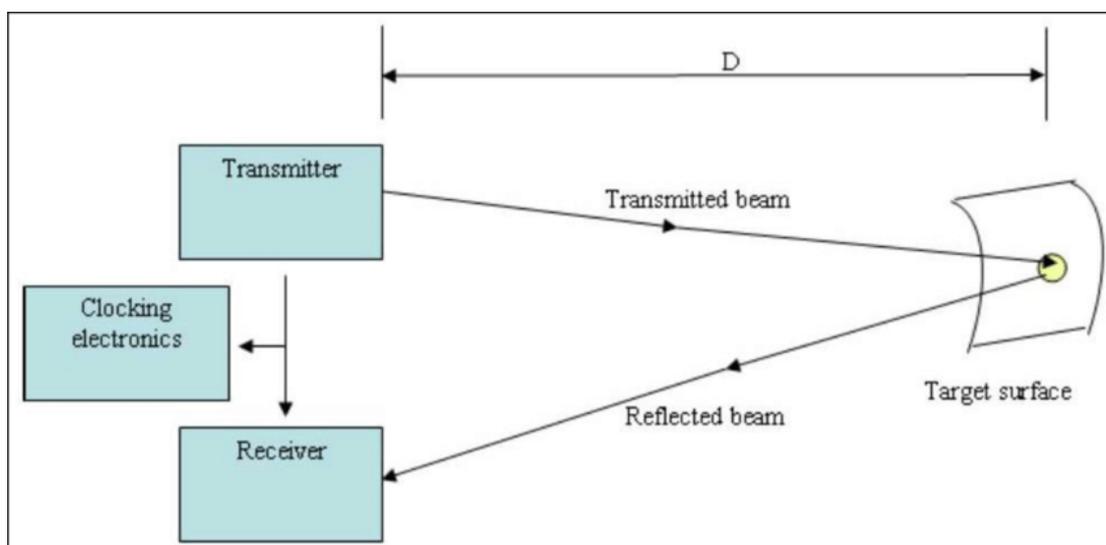
2.5 Σαρωτές Απόστασης

Οι σαρωτές απόστασης, είναι εύκολα κατανοητό πως δεν έρχονται σε επαφή με το αντικείμενο, αλλά χρησιμοποιούν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία για να προσδιορίσουν τη θέση των σημείων και να δημιουργήσουν το νέφος σημείων του αντικειμένου. Στην περίπτωση που η ακτινοβολία εκπέμπεται από το σαρωτή και καταγράφεται από ενσωματωμένο δέκτη, έχουμε ενεργητικούς δέκτες. Ενώ στην περίπτωση που έχουμε ένα δέκτη που εκμεταλλεύεται την υπάρχουσα ακτινοβολία του αντικειμένου έχουμε παθητικούς δέκτες. Οι ενεργοί σαρωτές υπολογίζουν την απόσταση, με βάση την αντανάκλαση της ακτινοβολίας που εκπέμπουν στο αντικείμενο. Οι ακτινοβολίες που χρησιμοποιούν οι ενεργοί δέκτες είναι η οπτική με συνηθέστερη μορφή του laser, οι ακτίνες X και η υπερηχητική. Από την άλλη, οι παθητικοί σαρωτές εντοπίζουν και καταγράφουν την ενέργεια που εκπέμπει το αντικείμενο, με τη μορφή φωτονίων και υπολογίζουν την απόσταση με βάση τις γωνίες που σχηματίζονται.

2.5.1 Ενεργοί Σαρωτές

Time of flight

Οι σαρωτές αυτοί είναι γνωστοί ως Lidar (Light Detection And Ranging) και χρησιμοποιούνται κυρίως για την αποτύπωση κτιρίων και σχηματισμών του εδάφους και την παραγωγή τρισδιάστατων μοντέλων. Προσφέρουν τη δυνατότητα αποτύπωσης σημείων σε μεγάλη απόσταση και σε μεγάλο εύρος του οπτικού τους πεδίου. Σαρώνουν χιλιάδες σημεία το δευτερόλεπτο, περίπου 10.000 - 100.000 σημεία το δευτερόλεπτο. Η λειτουργία των σαρωτών αυτής της κατηγορίας (Εικόνα 4), στηρίζεται στην αντανάκλαση της ακτίνας laser που σαρώνει το αντικείμενο που θέλουμε να αποτυπώσουμε. Από το σαρωτή εκπέμπεται μια ακτίνα laser και μετριέται με ακρίβεια ο χρόνος που χρειάζεται η ακτίνα laser να ανακλαστεί στο αντικείμενο και να επιστρέψει πίσω στο σαρωτή.



Εικόνα 4 : Αρχή λειτουργίας της τεχνολογίας Time of flight (Πηγή : www.researchgate.net)

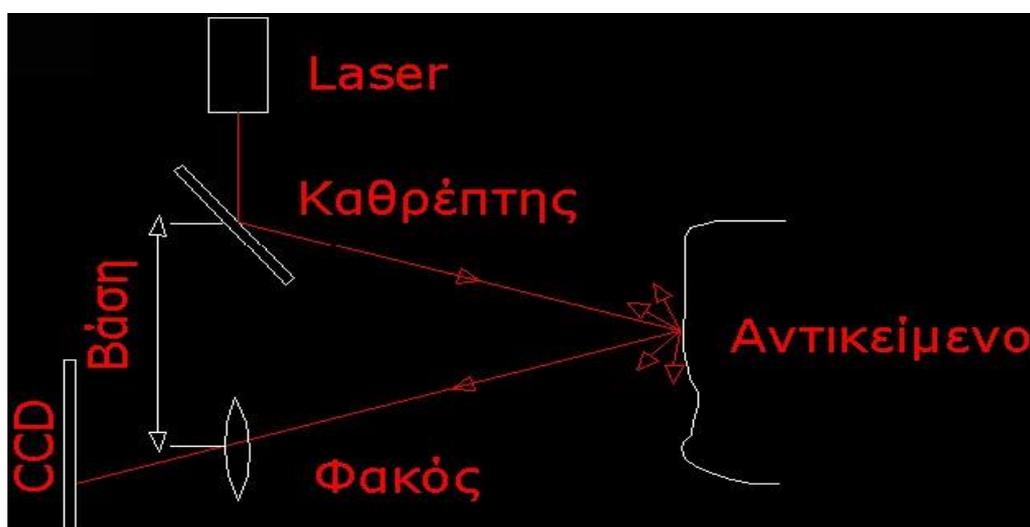
Επομένως η ακρίβεια τους, εξαρτάται από την ακρίβεια μέτρησης του χρόνου. Η αλλαγή της διεύθυνσης της ακτίνας γίνεται με δύο τρόπους. Είτε με την κίνηση των κατόπτρων είτε με την κίνηση της κεφαλής των οργάνων. Τα κάτοπτρα χρησιμοποιούνται περισσότερο σε σχέση με την κίνηση της κεφαλής των οργάνων γιατί προσφέρουν ακρίβεια στις μικρομετακινήσεις, είναι ελαφρά και εύκολα στο χειρισμό. Η απόσταση δίνεται από του τύπο $s=(c*t)/2$, δεδομένου ότι η ταχύτητα του laser είναι σταθερή και ίση με την ταχύτητα διάδοσης του φωτός στο κενό, c . Για την ακρίβεια των μετρήσεων υπολογίζονται οι παράμετροι διόρθωσης της πορείας της ακτίνας μέσα στη συσκευή και του αισθητήρα από το νοητό κέντρο του οργάνου.



Εικόνα 5 : Σαρωτής τεχνολογίας Time of flight της εταιρείας Faro (Πηγή : <https://3d-scanners.www1.ireviews.com>)

Τεχνολογία Τριγωνισμού (Triangulation)

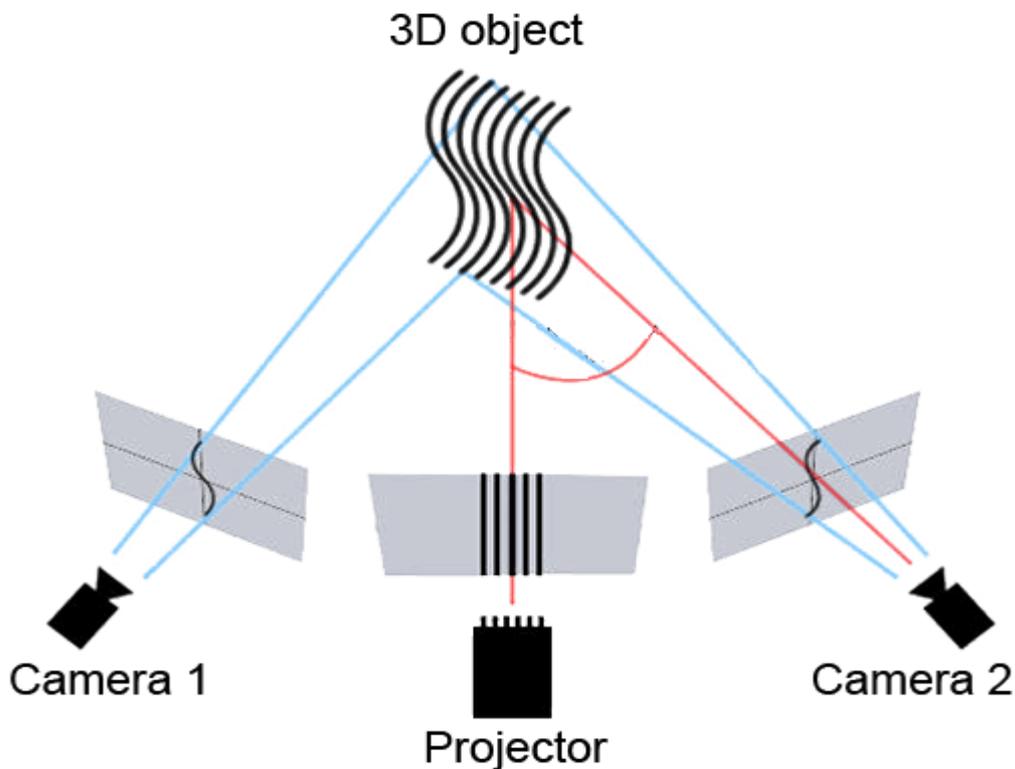
Στην τεχνολογία τριγωνισμού έχει δοθεί το όνομα αυτό γιατί ο πομπός του laser, η εικόνα του laser πάνω στο αντικείμενο και η κάμερα, σχηματίζουν ένα τρίγωνο (Εικόνα 6). Γνωστά στοιχεία στο τρίγωνο αυτό είναι η βάση, η γωνία με την οποία βλέπει ο σαρωτής το αντικείμενο και η γωνία που σχηματίζεται από την κουκκίδα laser πάνω στο αντικείμενο και από την οπτική ευθεία του δέκτη. Γνωρίζοντας τα παραπάνω στοιχεία, έχουμε ορίσει τη θέση της κουκκίδας του laser πάνω στο αντικείμενο. Στις τελευταίες γενιές συσκευές, το αντικείμενο σαρώνεται από μια γραμμή laser και όχι από μια κουκκίδα για να επιτευχθεί καλύτερη ταχύτητα σάρωσης. Οι σαρωτές που χρησιμοποιούν την τεχνολογία τριγωνισμού, χρησιμοποιούν την ακτίνα laser για να φωτίσουν τα σημεία πάνω στο αντικείμενο και μια κάμερα για να εντοπίσουν τα σημεία που φωτίζει η ακτίνα laser.



Εικόνα 6 : Αρχή λειτουργίας της τεχνολογίας τριγωνισμού (Triangulation) (Πηγή : www.ipet.gr)

Σαρωτές δομημένης ακτίνας

Οι σαρωτές δομημένης ακτίνας χρησιμοποιούν για τους υπολογισμούς τους, τεχνολογία παρόμοια με την τεχνολογία τριγωνισμού. Προβάλλουν στο αντικείμενο μια ακτίνα ή ένα κάναβο, με τη βοήθεια της οπτικής ακτινοβολίας, που συνήθως είναι μια ακτίνα laser. Η ακτίνα ή ο κάναβος που προβάλλεται πάνω στο αντικείμενο, προκαλούν παραμορφώσεις. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιεί πολύπλοκους αλγόριθμους, που μπορούν να αξιοποιήσουν διαφορετικές όψεις του αντικειμένου σε σχέση με την πηγή laser που αναγνωρίζουν οι δυο δέκτες και μπορούν να ανακατασκευάσουν την τρισδιάστατη όψη του αντικειμένου. Τη λύση στη χρήση των πολύπλοκων αλγόριθμων δίνει η τεχνολογία MLT (Multistripe Laser Triangulation). Οι σαρωτές δομημένης ακτίνας, υπολογίζουν πολλά σημεία σε μια γραμμή ή ένα κάναβο αντί ενός σημείου τη φορά. Έτσι μηδενίζονται οι μικρομετακινήσεις του σαρωτή ή τα σφάλματα από δονήσεις ή ο θόρυβος. Η τεχνολογία αυτή πλησιάζει την Φωτογραμμετρία επειδή συνδυάζει τη χρήση μιας συσκευής laser, με μια CCD κάμερα (Εικόνα 8).



Εικόνα 7 : Αρχή λειτουργίας της τεχνολογίας δομημένης ακτίνας (www.opensourceimaging.org)



Εικόνα 8 : Σαρωτής τεχνολογίας δομημένης ακτίνας με CCD κάμερα (Πηγή : www.digitmakers.com)

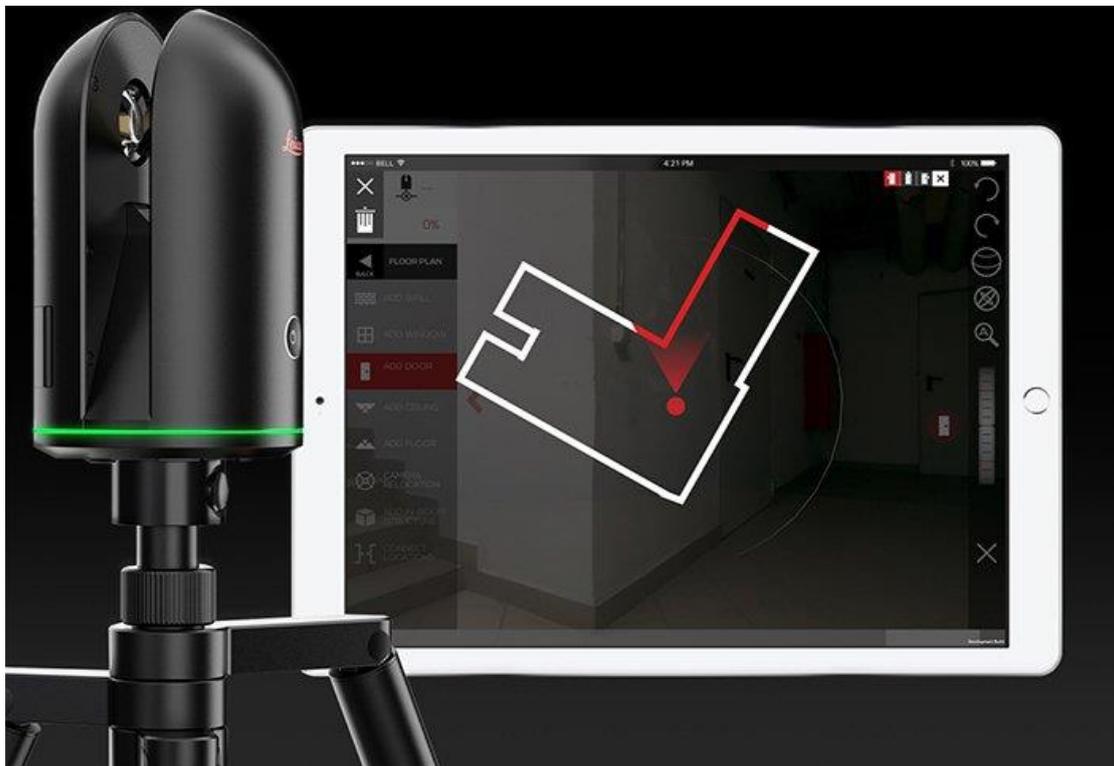
2.5.2 Παθητικοί Σαρωτές

Οι παθητικοί σαρωτές, δεν εκπέμπουν κάποια ακτινοβολία κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Έχουν δέκτες οι οποίοι χρησιμοποιούν την ακτινοβολία που εκπέμπουν τα αντικείμενα που θέλουμε να αποτυπώσουμε. Σε αντίθεση με άλλους σαρωτές, οι παθητικοί σαρωτές μπορούν να κάνουν μετρήσεις εκτός από το ορατό και στο υπέρυθρο φάσμα. Σε σχέση με τους ενεργούς σαρωτές έχουν μικρότερη ακρίβεια και για αυτό δεν βρίσκουν ευρύ πεδίο εφαρμογής. Το μέγεθος τους είναι μικρό, κάτι που τους καθιστά εύχρηστους όταν οι απαιτήσεις ακρίβειας δεν είναι πολύ μεγάλες. Το λογισμικό που χρησιμοποιούν δεν είναι πολύ εξειδικευμένο, με συνέπεια να έχουν πολύ μικρές απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ. Τέλος μεγάλο μέρος των σαρωτών αυτών στηρίζονται σε αρχές της Φωτογραμμετρίας.

2.6 Ο σαρωτής BLK360

Για την εφαρμογή μας, επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε το σαρωτή BLK360 της εταιρείας Leica, λόγω της προηγμένης τεχνολογίας που χρησιμοποιεί, προσφέροντας μεγάλης ακρίβειας νέφη σημείων αλλά και ευκολία στη χρήση. Ο συγκεκριμένος σαρωτής προσφέρει στο χρήστη τη δυνατότητα να σαρώνει σε τρεις διαφορετικές αναλύσεις (High, Standard, Fast) ανάλογα με τις απαιτήσεις της εργασίας του. Σαρώνει 360.000

σημεία/δευτερόλεπτο και μια πλήρης σάρωση σε standard ανάλυση και 150 MP διαρκεί λιγότερο από 3 λεπτά. Πριν ξεκινήσει η σάρωση, φωτογραφίζει το χώρο σφαιρικά με εύρος 360 μοίρες, λαμβάνοντας έγχρωμες εικόνες υψηλής ανάλυσης. Το εύρος σάρωσης είναι έως 60m με ακρίβεια 4mm. Η σύνδεση του σαρωτή με i pad διευκολύνει και απλοποιεί τη χρήση του σαρωτή και παρέχει στο χρήστη του σαρωτή τη δυνατότητα της απομακρυσμένης χρήσης του. Ακόμα μέσω του προγράμματος Recap στο i pad, οπτικοποιούνται τα δεδομένα των σαρώσεων και παρέχεται στο χρήστη η δυνατότητα διαχείριση των δεδομένων των σαρώσεων ενώ βρίσκεται ακόμα στο πεδίο. Η δυνατότητα οπτικοποίησης των σαρώσεων μέσω του προγράμματος ReCap στο i pad, συμβάλλει στην ταχύτερη ολοκλήρωση των σαρώσεων και στην αποφυγή επαναλήψεων στις σαρώσεις. Επιπλέον ο χρήστης έχει την δυνατότητα να διακρίνει που υπάρχουν κενά στις σαρώσεις και να τα διορθώσει την ίδια στιγμή στο πεδίο, κάνοντας τις κατάλληλες σαρώσεις. Τέλος ο σαρωτής BLK360 είναι πολύ εύχρηστος και ελαφρύς, αφού ζυγίζει 1.1 kg, προσφέροντας στο χρήστη ευκολία στη μεταφορά.



Εικόνα 9 : Ο σαρωτής BLK360 με το i pad που συνδέεται για την εκτέλεση των σαρώσεων
(Πηγή : www.metrica.gr)

2.7 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των Laser Scanner

Το βασικότερο ίσως πλεονέκτημα των laser scanner, είναι η καταγραφή εκατομμυρίων σημείων το λεπτό σε πραγματικό χρόνο, που σε αντίθεση με την κλασική τοπογραφία

είναι αδύνατον να καταγραφούν τόσα πολλά σημεία για την αποτύπωση μιας επιφάνειας. Τα εκατομμύρια αυτά σημεία σαρώνονται με μεγάλη ταχύτητα και ακρίβεια. Επιπλέον ο μηχανικός έχει μικρό ποσοστό ενεργής συμμετοχής κατά τη διαδικασία της σάρωσης, αφού τα σημεία που αποτυπώνονται, σαρώνονται αυτόματα και δεν επιλέγονται από τον μηχανικό, όπως στις κλασικές τοπογραφικές μεθόδους. Μειώνεται επίσης ο χρόνος παραμονής στο πεδίο εξαιτίας της δυνατότητας καταγραφής εκατομμυρίων σημείων το λεπτό, μειώνοντας το κόστος των εργασιών πεδίου. Ακόμα για τα σημεία που αποτυπώνονται υπολογίζονται οι συντεταγμένες τους στο χώρο. Με τη μέθοδο της σάρωσης δεν χρειάζεται να δημιουργηθούν πρόχειρα σχεδιαγράμματα (κροκί), αφού το ίδιο το νέφος μας δίνει μια φωτογραφική εικόνα της περιοχής. Η πιθανότητα ακόμα επιστροφής στο πεδίο για συμπληρωματικές μετρήσεις ελαχιστοποιείται. Επιπλέον το νέφος σημείων που δημιουργείται, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σκοπούς 3D μοντελοποίησης και οπτικοποίησης, που συντελούν στον ευκολότερο και γρηγορότερο σχεδιασμό και σε καλύτερες κατασκευές. Τέλος οι σαρωτές μπορούν να σαρώσουν κάθε είδους επιφάνειες, είτε αυτές είναι 2D είτε είναι 3D.

Ωστόσο για να δημιουργηθεί μια ολοκληρωμένη εικόνα ενός αντικείμενου ή μιας επιφάνειας που σαρώνεται, συνήθως απαιτούνται παραπάνω από μια σαρώσεις του αντικείμενου ή της επιφάνειας από διαφορετικές γωνίες. Ο αριθμός των σαρώσεων σχετίζεται με το μέγεθος, το σχήμα και την πολυπλοκότητα του αντικείμενου ή της επιφάνειας. Ειδικοί στόχοι είναι αναγκαίο να τοποθετηθούν πάνω στο αντικείμενο, που αναγνωρίζονται από το σαρωτή κατά τη διάρκεια της σάρωσης, προκειμένου να είναι δυνατή η διαδοχική συνένωση των στάσεων σάρωσης, σε ένα ενιαίο σύστημα συντεταγμένων. Επιπλέον η ανάκλαση της ακτινοβολίας laser σε επιφάνειες όπως το γυαλί επιστρέφει πολλαπλά σημεία, που αποτελούν θόρυβο και πρέπει να εντοπιστούν και να αφαιρεθούν κατά τη διαδικασία της επεξεργασίας. Για αυτό είναι αναγκαία η ανάπτυξη μιας μεθόδου που θα αναγνωρίζει τέτοια σημεία και θα τα αφαιρεί από το νέφος των σημείων. Η ποιότητα του νέφους σημείων που δημιουργείται, εξαρτάται από τις συνθήκες φωτισμού και σκίασης κατά τη διαδικασία της σάρωσης. Σε μεγάλα αντικείμενα ή επιφάνειες, δημιουργείται μεγάλος όγκος δεδομένων εξαιτίας των πολλαπλών σημείων, με συνέπεια να κάνει πιο δύσκολη και πιο αργή τη διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων. Ακόμα αυξάνεται το κόστος και ο χρόνος των εργασιών γραφείου. Επιπλέον το κόστος του λογισμικού και του Η/Υ για την επεξεργασία του νέφους είναι υψηλό. Τέλος δεν υπάρχει κάποιο κοινό πρότυπο για την ανταλλαγή δεδομένων που προέρχονται από διαφορετικά λογισμικά, προκειμένου να επιτευχθεί διαλειτουργικότητα.

2.8 Εφαρμογές χρήσης των σαρωτών - laser scanner

Το πεδίο εφαρμογών των σαρωτών laser είναι ευρύ και όσο περνάνε τα χρόνια και βελτιώνονται σε ακρίβεια, σε ευκολία στη χρήση και στην επεξεργασία, το πεδίο εφαρμογών τους θα διευρύνεται όλο και περισσότερο. Οι σαρωτές laser βρίσκουν πεδίο εφαρμογής σε μελέτες συγκοινωνιακών έργων ή οδοποιίας, σε αρχιτεκτονικές μελέτες, σε αρχιτεκτονικές αποτυπώσεις και σε βιομηχανικές εφαρμογές.

Τα τελευταία χρόνια οι σαρωτές laser, άρχισαν να βρίσκουν πεδίο εφαρμογής σε τοπογραφικές αποτυπώσεις εξαιτίας της ταχύτητας που προσφέρουν στην αποτύπωση, της πληθώρας των σημείων που συλλέγουν και της ανάγκης για λιγότερα άτομα στις εργασίες πεδίου. Ωστόσο το υψηλό κόστος απόκτησης των σαρωτών και η ανάγκη για εκμάθηση των λογισμικών για την επεξεργασία των δεδομένων, οδήγησε στη χρήση των σαρωτών σε μεγάλες εργασίες αποτύπωσης ή σε περιπτώσεις που δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά με την κλασική τοπογραφία. Παράδειγμα τοπογραφικής αποτύπωσης με χρήση σαρωτή αποτελεί το κτίριο που απεικονίζεται στην Εικόνα 10. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των σαρωτών είναι η δυνατότητα για αποτύπωση λεπτομερειών και απρόσιτων σημείων, που δίνει λύση σε πολλές περιπτώσεις αποτύπωσης.



Εικόνα 10 : Τοπογραφική αποτύπωση κτιρίου με σάρωση (Πηγή : Landmark)

Κάποιες εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιούνται laser scanner είναι οι παρακάτω :

1. Αποτύπωση κτιρίων, γεφυρών, σηράγγων και άλλων δομικών στοιχείων
2. Αποτύπωση μνημείων και κτιρίων πολιτιστικής κληρονομιάς
3. Μελέτες μετατροπών, αλλαγής χρήσεων, ανακαινίσεων και επεκτάσεων κτιρίων
4. Μελέτες στατικότητας κτιρίων ή άλλων δομικών στοιχείων
5. Πρόληψη και αντιμετώπιση καταστροφών

Ειδικά σε περιπτώσεις αποτύπωσης μνημείων, οι σαρωτές laser χρησιμοποιούνται σε πολλές περιπτώσεις λόγω των ιδιοτεροτήτων που έχει η αποτύπωση σε αυτές τις περιπτώσεις. Οι σαρωτές δεν πρέπει να έρχονται σε επαφή με το μνημείο για να μην το αλλοιώσουν. Επιπλέον ο συνδυασμός της σάρωσης με laser μαζί με άλλες μεθόδους, μπορούν να αποτυπώσουν την πολυπλοκότητα σε μορφή που παρουσιάζουν τα μνημεία και είναι δύσκολο να αποτυπωθεί με την κλασική τοπογραφία.

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει οι σαρωτές laser βρίσκουν πεδίο εφαρμογής και σε μελέτες οδοποιίας και συγκοινωνιακών έργων. Αρχικά οι σαρωτές χρησιμοποιούνταν σε περιπτώσεις όπως η αποτύπωση πρανών ή γεφυρών, οι οποίες θεωρητικά ήταν δύσκολες

περιπτώσεις. Ωστόσο σήμερα το εύρος εφαρμογής έχει επεκταθεί και οι σαρωτές χρησιμοποιούνται και για αποτυπώσεις οδικού δικτύου. Μερικές εφαρμογές χρήσης σαρωτών σε συγκοινωνιακά έργα ή έργα οδοποιίας είναι οι παρακάτω :

1. Μετρήσεις τεχνικών έργων όπως γεφυρών, σηράγγων, πρανών κλπ
2. Υπολογισμός της κλίσης και της ευστάθειας πρανών
3. Μετρήσεις διασταυρώσεων
4. Υπολογισμός όγκων χωματισμού
5. Αποτύπωση διατομών
6. Μετρήσεις σε σιδηροδρομικά δίκτυα κι σταθμούς
7. Μετρήσεις σε εργασίες σε αεροδρόμια για τη δημιουργία τερματικών σταθμών και αεροδιάδρομων



Εικόνα 11 : Τρισδιάστατη αποτύπωση κυκλοφοριακού κόμβου (Πηγή : <http://www.mitsikostas.gr>)

Οι σαρωτές laser χρησιμοποιούνται και στην βιομηχανία σε περιπτώσεις σχεδιασμού αντικειμένων, για τον εντοπισμό αστοχιών σε εξαρτήματα ή συστήματα και σε περιπτώσεις reverse engineering. Ακόμα μπορούν να αποτυπωθούν σωληνώσεις, μηχανήματα, βιομηχανικές εγκαταστάσεις, ακόμα και το μηχανοστάσιο ενός πλοίου. Στις βιομηχανικές εφαρμογές, ζητούμενο είναι η επίτευξη της μέγιστης ακρίβειας στο λιγότερο δυνατό χρόνο. Επιπλέον σημαντικό πλεονέκτημα στις περιπτώσεις αυτές είναι ότι ο σαρωτής μπορεί να αποτυπώσει δυσπρόσιτα σημεία από απόσταση, χωρίς καμία δυσκολία. Εγκαταστάσεις όπως μηχανοστάσια που είναι δύσκολο να αποτυπωθούν με άλλες μεθόδους, εξαιτίας της πολυπλοκότητας που παρουσιάζουν και της έλλειψης ορατότητας σε πολλές περιπτώσεις,

αποτυπώνονται με μεγάλη λεπτομέρεια. Σε βιομηχανικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται όλες οι τεχνολογίες σάρωσης εξαιτίας των διαφόρων αντικειμένων που χρειάζεται να σαρωθούν και των διαφορετικών σχημάτων και μεγεθών των αντικειμένων. Το νέφος σημείων επεξεργάζεται μετά τη συλλογή του, μετατρέπεται σε επιφάνειες και δημιουργείται ένα τρισδιάστατο μοντέλο του αντικειμένου, το οποίο αποτελεί πιστή και ακριβής αναπαράσταση του αντικειμένου.

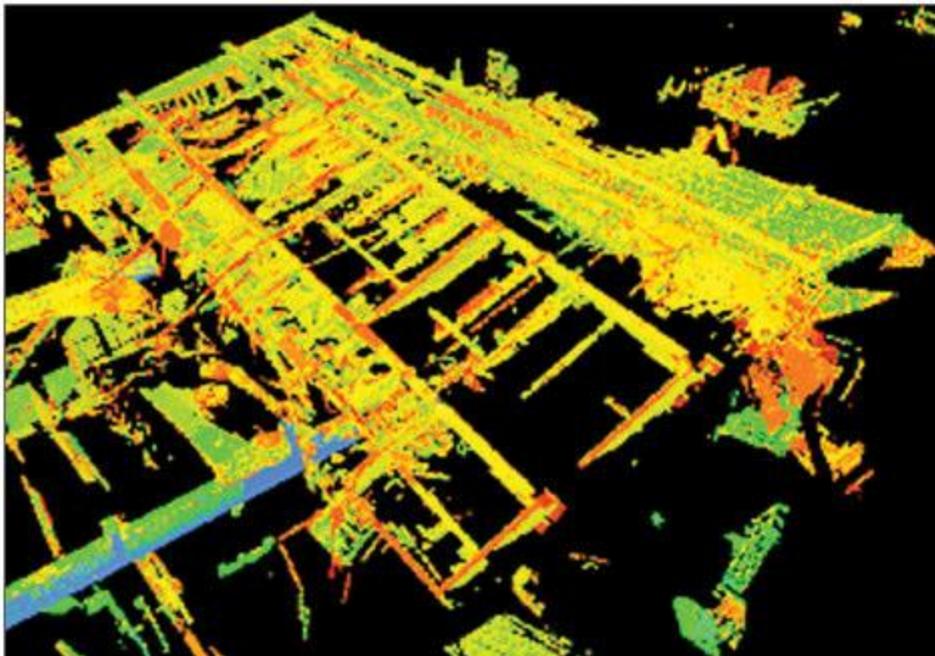


Εικόνα 12 : Νέφος σημείων βιομηχανικής εγκατάστασης (Πηγή : <https://www.jgc.gr>)

Οι σαρώσεις με laser είναι ιδιαίτερα χρήσιμες και στη διερεύνηση ατυχημάτων εξαιτίας της δυνατότητας τους, να αποτυπώνουν αξιόπιστα μη κανονικές επιφάνειες. Ανάλογα με τον αριθμό των σαρώσεων, μπορούμε να αποκτήσουμε ένα πολύ πυκνό νέφος σημείων που να περιγράφει τις επιφάνειες μετά το ατύχημα. Επιπλέον οι δυνατότητες επεξεργασίας του νέφους που προσφέρουν τα λογισμικά τρισδιάστατης επεξεργασίας νέφους κάνουν τη μέθοδο αυτή μονόδρομο σε περιπτώσεις ατυχημάτων. Ακόμα είναι η μόνη μέθοδος που προσφέρει ταχύτητα στην αποτύπωση και μεγάλο επίπεδο λεπτομέρειας. Στις περιπτώσεις των ατυχημάτων τα παραπάνω είναι πολύ σημαντικά, προκειμένου να αποκατασταθεί η κανονικότητα της περιοχής (ή η στατικότητα σε περιπτώσεις καταρρεύσεων). Ακόμα και αν υπάρχουν άνθρωποι ή παρατηρείται κινητικότητα στην περιοχή αποτύπωσης, στη σάρωση με laser scanner, τα εμπόδια αυτά αποτελούν θόρυβο ο οποίος στη διαδικασία της επεξεργασίας του νέφους μπορεί να αφαιρεθεί. Στις κλασικές μεθόδους αποτύπωσης τα εμπόδια αυτά δυσχεραίνουν την αποτύπωση. Στις περιοχές των ατυχημάτων τα αντικείμενα δεν πρέπει να μετακινηθούν με συνέπεια κάποιες μέθοδοι να είναι απαγορευτικές. Η φωτογραμμετρία, η αποτύπωση με reflectorless γεωδαιτικό σταθμό και η σάρωση με laser είναι μέθοδοι που μπορούν να εφαρμοστούν. Τέλος μετά την επεξεργασία των σαρώσεων και τη δημιουργία του μοντέλου, ο μελετητής μπορεί να κάνει αναλύσεις, υποθέσεις και υπολογισμούς και να εξάγει συμπεράσματα.



Εικόνα 13 : Φωτογραφία κατεστραμμένης πλατφόρμας άντλησης πετρελαίου (Πηγή : <https://elearning.teicm.gr>)



Εικόνα 14 : Νέφος σημείων κατεστραμμένης πλατφόρμας άντλησης πετρελαίου (Πηγή : <https://elearning.teicm.gr>)

ΚΕΦΛΑΙΟ 3^ο : ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ

3.1 Ανάγκη για τρισδιάστατη μοντελοποίηση

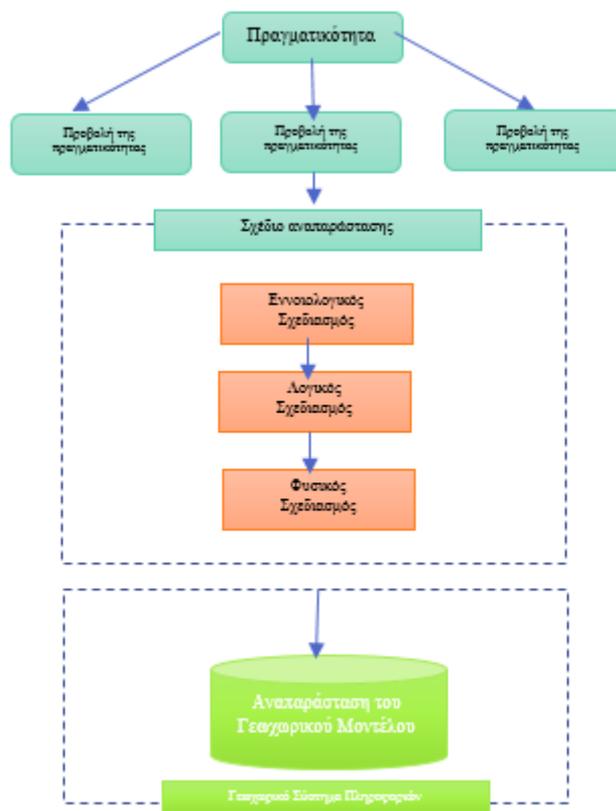
Τα τελευταία χρόνια, η σύνθετη ανάπτυξη του χώρου και η ανάγκη οπτικής αναπαράστασης του για καλύτερο σχεδιασμό και ανάπτυξή του, οδήγησε στην ανάπτυξη διάφορων τεχνικών μοντελοποίησης. Επιπλέον η πολυπλοκότητα και ο βαθμός δυσκολίας ορισμένων τεχνικών έργων, απαιτούν την ανάπτυξη 3D μοντέλων για την υλοποίησή τους. Ακόμα η ανάγκη για καταγραφή των εμπράγματων δικαιωμάτων σε σύνθετες δομές του χώρου, όπου υπάρχουν επικαλύψεις ιδιόκτητων και κοινόχρηστων χώρων, απαιτούν την ανάπτυξη 3d μοντέλων. Βέβαια, τα διάφορα τρισδιάστατα μοντέλα δημιουργήθηκαν και εξελίχθηκαν εξυπηρετώντας συγκεκριμένους σκοπούς, δίνοντας αντίστοιχα έμφαση στη γεωμετρία, την τοπολογία ή την καλύτερη ρεαλιστική απεικόνιση του χώρου.(Δημοπούλου,2015) Τέλος λόγω των αλλαγών-ανακατασκευών που πραγματοποιούνται σε ένα κτίριο αλλά και για την καλύτερη και αποτελεσματικότερη διαχείριση του, αναγκαίο είναι να δημιουργούνται τρισδιάστατα μοντέλα κτιρίων. Στα μοντέλα αυτά καταγράφονται και επικαιροποιούνται οι αλλαγές και οι τροποποιήσεις αυτές, για την καλύτερη και ευκολότερη λειτουργία του.

3.2 Φάσεις Σχεδιασμού Μοντελοποίησης

Ο σχεδιασμός ενός μοντέλου δεδομένων αποτελεί μια διαδικασία που διακρίνεται από τρεις φάσεις. Οι φάσεις αυτές του σχεδιασμού είναι :

1. Το Εννοιολογικό μοντέλο (Conceptual Model)
2. Το Λογικό Μοντέλο (Logical Model)
3. Το Φυσικό Μοντέλο (Physical Model)

Το πρώτο στάδιο σχετίζεται με το σχεδιασμό της βάσης δεδομένων και τη δημιουργία του εννοιολογικού σχήματος. Στο στάδιο αυτό περιγράφονται οι απαιτήσεις των χρηστών και επιβεβαιώνεται ότι ικανοποιήθηκαν όλες οι απαιτήσεις τους. Ακόμα περιλαμβάνονται όλοι οι τύποι οντοτήτων, σχέσεων, περιορισμών, υποθέσεων και χαρακτηριστικών. Στο επόμενο στάδιο, στο λογικό μοντέλο υλοποιείται η βάση δεδομένων με τη χρήση ενός εμπορικού λογισμικού (π.χ το σχεσιακό μοντέλο MS Access, ORACLE, Sybase, Ingress). Στο τελευταίο στάδιο του φυσικού σχεδιασμού προσδιορίζεται ο εσωτερικός σχεδιασμός της βάσης με τον καθορισμό για παράδειγμα της δομής και της οργάνωσης των αρχείων.



Εικόνα 15 : Φάσεις Σχεδιασμού Μοντελοποίησης (Πηγή : <https://docplayer.gr>)

Εννοιολογικό Μοντέλο (Conceptual Model) : Το εννοιολογικό μοντέλο αποτελεί βασικό εργαλείο για τη σχεδίαση αφού σε αυτό απεικονίζονται οι σημαντικότερες εννοιολογικές κλάσεις. Εκτός από τις κλάσεις στο μοντέλο δεδομένων, απεικονίζονται τα χαρακτηριστικά και οι σχέσεις μεταξύ των κλάσεων. Το εννοιολογικό μοντέλο είναι μια αναπαράσταση των εννοιολογικών κλάσεων του πραγματικού κόσμου και δεν είναι ούτε τμήμα λογισμικού, ούτε διάγραμμα κλάσεων λογισμικού. Έχει υψηλό επίπεδο αφάιρησης και αποτελείται από μια σχηματική αναπαράσταση των φαινομένων και των συσχετίσεων τους, το διάγραμμα Οντοτήτων-Συσχετίσεων (Entity-Relationship ή ER). Το διάγραμμα αυτό είναι μια παραστατική απεικόνιση του εννοιολογικού μοντέλου και περιέχει τα σύνολα οντοτήτων (Entity Sets), τους Περιορισμούς Συσχετίσεων (Mapping Constraints) και τα Κλειδιά Χαρακτηριστικών (Attribute Keys). Στα εννοιολογικά μοντέλα χρησιμοποιείται η γλώσσα UML η οποία είναι πρότυπο των εννοιολογικών και των λογικών μοντέλων. Τα διαγράμματα κλάσης της γλώσσας UML είναι αντίστοιχα των διαγραμμάτων ER ενώ η γλώσσα UML μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τη μοντελοποίηση του δομικού σχήματος ενός μοντέλου δεδομένων.

Λογικό Μοντέλο (Logical Model) : Στο στάδιο του λογικού σχεδιασμού επιλέγεται ένας συγκεκριμένος τύπος ΣΔΒΔ και μετατρέπεται ο εννοιολογικός σχεδιασμός σε ένα σχήμα στο μοντέλο δεδομένων του επιλεγμένου ΣΔΒΔ. Η επιλογή του κατάλληλου ΣΔΒΔ γίνεται σε συνάρτηση με οικονομικούς, πολιτικούς και τεχνικούς παράγοντες του οργανισμού. Οι οικονομικοί παράγοντες σχετίζονται με το κόστος απόκτησης του λογισμικού, το κόστος δημιουργίας των βάσεων δεδομένων, το διαμοιρασμό των εφαρμογών και την

πολυπλοκότητα των δεδομένων. Από την άλλη οι τεχνικοί παράγοντες, σχετίζονται με τον τύπο του ΣΔΒΔ αν είναι δηλαδή σχεσιακό, αντικειμενοστραφές, ιεραρχικό, με τις δομές αποθήκευσης και τις διαδρομές προσπέλασης. Στο λογικό σχεδιασμό προσδιορίζονται τα αναγκαία στοιχεία για την κατασκευή του μοντέλου, χωρίς να προσδιορίζονται τα πραγματικά μεγέθη των στοιχείων καθώς και το είδος τους.

Φυσικό Μοντέλο (Physical Model) : Στη φάση του φυσικού σχεδιασμού, το λογικό μοντέλο μεταφράζεται σε υλισμικό (hardware) και σε αρχιτεκτονική λογισμικού (software architecture). (Δημοπούλου,2015) Επιλέγονται συγκεκριμένες δομές αποθήκευσης και διαδρομές προσπέλασης, με βάση συγκεκριμένα κριτήρια που έχουν τεθεί. Στο στάδιο αυτό προσδιορίζονται το μέγεθος και ο τύπος των στοιχείων του μοντέλου με σκοπό την ενσωμάτωση τους στο μοντέλο, καθιστώντας το στάδιο αυτό του σχεδιασμού πολύ σημαντικό.

3.2 Είδη 3d Μοντελοποίησης

Η 3d μοντελοποίηση είναι η διαδικασία ανάπτυξης μιας μαθηματικής αναπαράστασης οποιασδήποτε επιφάνειας ενός αντικείμενου (είτε άψυχου, είτε ζωντανού) σε τρεις διαστάσεις μέσω εξειδικευμένου λογισμικού. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας ονομάζεται 3d μοντέλο. (Πηγή : www.wikipedia.org) Τα 3d μοντέλα μπορούν να δημιουργηθούν είτε αυτόματα μέσω σαρωτών laser scanner, είτε χειροκίνητα μέσω scanner χεριού. Τα πρώτα 3d μοντέλα που αναπτύχθηκαν είχαν ως στόχο τη γεωμετρική μοντελοποίηση. Τα μοντέλα αυτά είναι κλειστά, οριοθετημένα, προσανατολισμένα, μη τεμνόμενα και συνδεδεμένα γιατί αποτελούνται από καλώς ορισμένες επιφάνειες. Μια άλλη ομάδα μοντέλων που αναπτύχθηκε, είχε ως στόχο την αποθήκευση και τη διατήρηση ιδιοτήτων, με παράλληλη αποθήκευση τοπολογίας. Τέλος κάποια μοντέλα αναπτύχθηκαν για γρήγορη και ρεαλιστική απεικόνιση, δίνοντας βάση στη διατήρηση των υφών και του φωτισμού.

Τα 3d μοντέλα, δημιουργούνται από πάρα πολλά σημεία στον τρισδιάστατο χώρο που συνδέονται μεταξύ τους με διάφορες γεωμετρικές οντότητες (όπως τρίγωνα, γραμμές κτλ) και αναπαριστούν το αντικείμενο. Τα μοντέλα μπορούν να δημιουργηθούν μέσω σάρωσης και με αλγοριθμικές διαδικασίες (κανονιστική μοντελοποίηση).

Τα 3d μοντέλα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες :

1. **Στερεά-συμπαγή (solid)** : Η κατηγορία αυτή των 3d μοντέλων χρησιμοποιείται κυρίως από τον κλάδο των μηχανικών και για ιατρικές προσομοιώσεις. Τα μοντέλα αυτά είναι δύσκολο να δημιουργηθούν και προσδιορίζουν τον όγκο του αντικείμενου που αναπαριστούν.
2. **Οριοθετημένα (shell-boundary)** : Τα περισσότερα 3d μοντέλα που χρησιμοποιούνται στον κινηματογράφο και σε παιχνίδια, είναι μοντέλα αυτής της κατηγορίας. Τα μοντέλα αυτά αναπαριστούν την επιφάνεια, σε αντίθεση με τα συμπαγή μοντέλα που αναπαριστούν τον όγκο.

Οι δυο αυτές κατηγορίες μοντέλων μπορούν να δημιουργήσουν το ίδιο λειτουργικά μοντέλα και οι διαφορές που έχουν είναι στον τρόπο που δημιουργούνται και επεξεργάζονται τα μοντέλα. Επιπλέον χρησιμοποιούνται σε διαφορετικά πεδία και χρησιμοποιούν διαφορετικές προσεγγίσεις μεταξύ του μοντέλου και της πραγματικότητας.

3.2.1 3d Γεωμετρικά Μοντέλα

Τα γεωμετρικά μοντέλα εκτός από τα αντικείμενα, διατηρούν και τις συντεταγμένες τους με συνέπεια να δημιουργούνται μεγάλοι όγκοι δεδομένων στη βάση δεδομένων. Αυτό συμβαίνει γιατί ένα ζεύγος συντεταγμένων χρησιμοποιείται πολλές φορές για την περιγραφή ενός χαρακτηριστικού του αντικειμένου. Παρόλα αυτά τα γεωμετρικά μοντέλα είναι εύκολα στη δημιουργία και δεν απαιτείται πολύ χρόνος για τη δημιουργία τους. Ωστόσο, η τρίτη διάσταση αποτελεί σοβαρή πρόκληση για τους προμηθευτές των ΣΔΒΔ, τα οποία διαχειρίζονται χωρικά δεδομένα. (Δημοπούλου,2015). Έχουν διεξαχθεί πολλές μελέτες σχετικά με τις δυνατότητες αποθήκευσης χωρικών ερωτημάτων και απεικόνισης χαρακτηριστικών με τις τρισδιάστατες συντεταγμένες τους. Τα περισσότερα συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων αποθηκεύουν τα 3d δεδομένα με τυποποιημένο τρόπο και μπορούν να απεικονιστούν σε πολλαπλές εφαρμογές περιβάλλοντος. Τέλος είναι δύσκολη η διαχείριση διαφορετικών τύπων χωρικών δεδομένων αφού ποικίλλουν σε κάθε βάση δεδομένων.

3.2.2 Τοπολογικά Μοντέλα

Τα τοπολογικά μοντέλα είναι πιο περίπλοκα μοντέλα, ωστόσο επιτρέπουν συμπαγή αποθήκευση, διατηρούν συνέπεια των δεδομένων μετά την αποθήκευση και εύκολες χωρικές αναλύσεις. Στα τοπολογικά μοντέλα, η αποθήκευση των συντεταγμένων γίνεται μόνο στις κορυφές του μοντέλου και δεν υπάρχει ακόμα κάποια εφαρμογή που να υποστηρίζει 3d τοπολογία. Από τα 3d μοντέλα, το TEN μοντέλο ξεχωρίζει επειδή δεν είναι περίπλοκο, είναι καλώς ορισμένο και μας δίνει τη δυνατότητα μοντελοποίησης τρισδιάστατων αντικειμένων ως όγκους.

3.2.3 Σημασιολογικά Μοντέλα

Για τον πλήρη ορισμό των 3d μοντέλων, εκτός από τη γεωμετρία και την τοπολογία, αναγκαία είναι η σημασιολογία. Λίγα σημασιολογικά μοντέλα υπάρχουν που να μπορούν να περιγράψουν 3d μοντέλα πόλης. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά για τη δημιουργία του μοντέλου πόλης είναι τα κτίρια και τα αντικείμενα του εδάφους. Το CityGML είναι το μόνο πρότυπο που συνδυάζει θεματική σημασιολογία αλλά και γεωμετρική αλλά και γεωμετρία-

τοπολογία. Άλλα σημασιολογικά μοντέλα που έχουν γίνει αποδεκτά ως πρότυπα είναι το Μοντέλο Δεδομένων Βορείου Αμερικής (North American Data Model) και η Geology Science Markup Language (GeoSciML) για την απεικόνιση γεωλογικών παρατηρήσεων. Τα μοντέλα αυτά αποτελούν παράδειγμα του κατακερματισμού του χώρου σε χαρακτηριστικά σε αντίθεση με το CityGML που συνδυάζει σημασιολογία, γεωμετρία και τοπολογία.

3.3 Τεχνικές 3D Μοντελοποίησης

Υπάρχει πληθώρα τεχνικών 3d μοντελοποίησης, ωστόσο σημαντικό είναι πριν επιλέξουμε τεχνική, να ανατρέξουμε στο σκοπό της μοντελοποίησης για να επιλέξουμε τη σωστή τεχνική που ικανοποιεί τις απαιτήσεις της εφαρμογής μας. Για παράδειγμα εάν το μοντέλο που θα δημιουργήσουμε, θα το χρησιμοποιήσουμε για γεωμετρική μοντελοποίηση, θα δοθεί βάση στη γεωμετρία του μοντέλου. Σε περίπτωση που θέλουμε ρεαλιστική απεικόνιση θα δώσουμε βάση στην εικόνα του μοντέλου, δημιουργώντας μοντέλα με σωστή υφή και φωτισμό αλλά διατηρώντας παράλληλα και σωστή γεωμετρία. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικές από τις κυριότερες τεχνικές 3d μοντελοποίησης που έχουν αναπτυχθεί μέσα στο πέρασμα των χρόνων.

3.3.1 Μοντελοποίηση βάση εικόνων

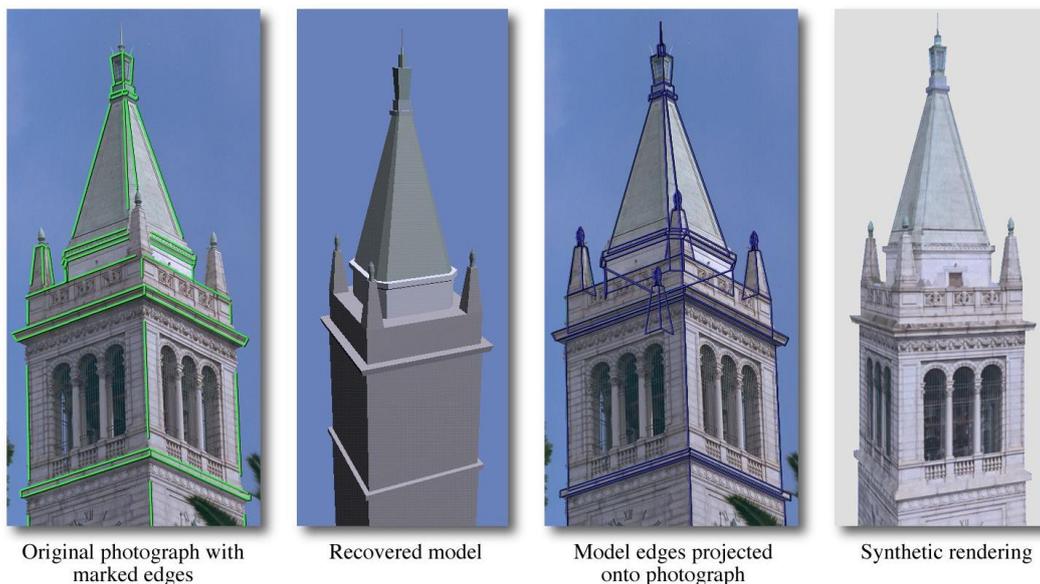
Η μοντελοποίηση βάση εικόνων (Image based modeling ή IBM) είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιεί τυπικές φωτογραφίες που έχουν τραβηχτεί από το επίπεδο του εδάφους, για τη δημιουργία 3D μοντέλων. Χρησιμοποιείται για γεωμετρικές επιφάνειες αρχιτεκτονικών αντικειμένων ή για αστική μοντελοποίηση. Τα τελευταία χρόνια, μοντέλα βασισμένα σε αυτή την τεχνική έχουν χρησιμοποιηθεί για εικονική πραγματικότητα, για εφαρμογές αστικού σχεδιασμού και για ψηφιακή κινηματογραφία.

Η τεχνική αυτή συντελεί στην ανάπτυξη απλούστερων μεθόδων δημιουργίας μοντέλων για πολύπλοκα αντικείμενα ενώ παράλληλα επιταχύνει τη διαδικασία του σχεδιασμού. Βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι μπορεί να αιχμαλωτίσει λεπτομέρειες του πραγματικού κόσμου, που δεν μπορούν αποδοθούν σε μοντέλο λόγω της έλλειψης κατάλληλου λογισμικού. Για να παραχθεί το τελικό μοντέλο, πολλές φωτογραφίες χρειάζονται για τη δημιουργία της 3D γεωμετρίας και την απόδοση υφής στο μοντέλο. Το μοντέλο που παράγεται με την IBM τεχνική, μπορούμε να το δούμε από διαφορετικές προοπτικές.

Η έρευνα για πανοραμικές φωτογραφίες ξεκίνησε από τον R. Szeliski το 1994, ο οποίος δημιούργησε πανοραμική φωτογραφία από πολλαπλές ψηφιακές φωτογραφίες. Έπειτα αναπτύχθηκαν πολλά λογισμικά βαθμονόμησης, συνένωσης και συνδυασμού εικόνων. Το ενδιαφέρον για πανοραμικές φωτογραφίες ολοένα και μεγαλώνει και βρίσκει πεδίο ενδιαφέροντος σε εφαρμογές όπως το Street View και σε 3D ξεναγήσεις. Επιπλέον προσφέροντας στο πανόραμα πληροφορίες για τον προσανατολισμό και την τοποθεσία,

προσφέρει στους χρήστες μετρικές πληροφορίες για τη σκηνή. Έχοντας τουλάχιστον δύο πανοράματα μπορούμε να αξιολογήσουμε ένα αρχιτεκτονικό αντικείμενο.

Οι τελευταίες εξελίξεις στην IBM τεχνική, παράγουν αποτελέσματα παρόμοια με σκανάρισμα, παράγοντας νέφη σημείων από ένα σύνολο εικόνων. Το αποτέλεσμα της μοντελοποίησης είναι υψηλής ακρίβειας, με την προϋπόθεση ότι έχουν εξαλειφθεί οι παραμορφώσεις του φακού με τη βαθμονόμηση του λογισμικού.



Εικόνα 16 : Διαδικασία μοντελοποίησης βάσης εικόνων (Πηγή : www.pauldebevec.com)

3.3.2 Μοντελοποίηση με χρήση φωτογραμμετρίας

Η φωτογραμμετρία μας δίνει τη δυνατότητα μέσω επικαλυπτόμενων φωτογραφιών, να εξάγουμε μετρήσεις από αυτές, με σκοπό τη δημιουργία 3D μοντέλων αντικειμένων. Οι φωτογραφίες μπορούν να προέρχονται από επίγειες λήψεις ή και από αεροφωτογραφίες. Τα μοντέλα που παράγονται είναι υψηλής ακρίβειας και η μέθοδος δημιουργίας τους είναι ταχεία. Η φωτογραμμετρία χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μοντέλων πόλεων μέσω αεροφωτογραφιών, αντικειμένων, κτιρίων, μνημείων, εικονικής πραγματικότητας.

Η παραγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου πραγματοποιείται κατά ένα μεγάλο μέρος αυτοματοποιημένα ενώ υπάρχουν πολυάριθμα λογισμικά για τη διαδικασία αυτή. Για να αρχίσει η διαδικασία της φωτογραμμετρικής επεξεργασίας, πρέπει να ελεγχθούν οι φωτογραφίες ως προς την φωτεινότητα και την αντίθεση τους. Αν κριθεί αναγκαίο διορθώνονται, αλλιώς μπορούμε να ξεκινήσουμε τη φωτογραμμετρική διαδικασία. Εάν μας ενδιαφέρει ένα μεμονωμένο αντικείμενο που βρίσκεται στις φωτογραφίες, το απομονώνουμε προκειμένου να επιταχυνθούν οι διαδικασίες επεξεργασίας και για να επιτύχουμε καλύτερο τρισδιάστατο μοντέλο.

Έπειτα οι φωτογραφίες συνενώνονται, εντοπίζοντας κοινά σημεία σε όλες τις φωτογραφίες και ταυτίζοντας τα, προσδιορίζεται η θέση της λήψης της κάθε φωτογραφίας και γίνεται η βαθμονόμηση της μηχανής. Το αποτέλεσμα είναι ένα αραιό νέφος σημείων με τα σημεία που χρησιμοποιήθηκαν για τη συνένωση των φωτογραφιών και τις θέσεις λήψης των φωτογραφιών. Τα σημεία αυτά του νέφους έχουν συντεταγμένες στο χώρο και είναι εξαρτημένα μεταξύ τους. Στη συνέχεια δημιουργείται ένα πυκνό νέφος του αντικειμένου που περιέχει όλη την πληροφορία του αντικειμένου. Αυτό το νέφος εξάγεται για να επεξεργαστεί σε κάποιο άλλο σχεδιαστικό πρόγραμμα ή για να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία του τρισδιάστατου πλέγματος του αντικειμένου

Αφού τα σημεία έγιναν επιφάνειες και η γεωμετρική αναπαράσταση του αντικειμένου στο χώρο έχει ολοκληρωθεί, σειρά έχει να πάρουμε πληροφορίες σχετικά με την υφή και το χρώμα για τις επιφάνειες από τις φωτογραφίες. Έτσι ολοκληρώνεται η δημιουργία της απεικόνισης του τρισδιάστατου μοντέλου.

Από τα ψηφιακά τρισδιάστατα μοντέλα, μπορούν να εξαχθούν ορθοφωτογραφίες που είναι ορθές προβολές του αντικειμένου. Για να δημιουργηθούν ανάγεται η προοπτική προβολή της φωτογραφίας. Σημαντικό πλεονέκτημα των ορθοφωτογραφιών είναι ότι εμπεριέχουν όλη τη φωτογραφική πληροφορία σε κλίμακα σε συνδυασμό με μετρητική πληροφορία. Οι ορθοφωτογραφίες συμπίπτουν με τα σχέδια της δυσδιάστατης σχεδίασης όπως οι όψεις, οι τομές και οι κατόψεις. Για ένα τρισδιάστατο αντικείμενο, μπορούν να εξαχθούν πολυάριθμες ορθοφωτογραφίες που συμβάλλουν στην καλύτερη τεκμηρίωση του.

3.3.3 Κανονιστική Μοντελοποίηση

Με τον όρο κανονιστική μοντελοποίηση (Procedural Modeling) αναφερόμαστε σε ένα γενικότερο όρο για τεχνικές στον κλάδο των γραφικών των υπολογιστών, για τη δημιουργία 3D μοντέλων και υφών μέσα από ένα σύνολο κανόνων. Παραδείγματα τεχνικών κανονιστικής μοντελοποίησης είναι τα L-Systems, fractals, and generative modeling γιατί χρησιμοποιούν αλγόριθμους για τη δημιουργία των σκηνών. Οι κανόνες που χρησιμοποιούνται μπορούν να ενσωματωθούν στον αλγόριθμο και να ρυθμιστούν μέσω παραμέτρων ή να διαχωριστούν από τη μηχανή αξιολόγησης. Το αποτέλεσμα της μοντελοποίησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε παιχνίδια, ταινίες, να ανέβει στο διαδίκτυο ή ο χρήστης να επεξεργαστεί ο ίδιος το μοντέλο χειροκίνητα. Η τεχνική αυτή, πολλές φορές εφαρμόζεται όταν θα ήταν πολύ πολύπλοκο να δημιουργηθεί το μοντέλο με άλλες τεχνικές ή όταν χρειάζονται ειδικά εργαλεία για τη δημιουργία του μοντέλου. Παραδείγματα τέτοιων περιπτώσεων είναι τα φυτά και τα φυσικά ή αρχιτεκτονικά τοπία.

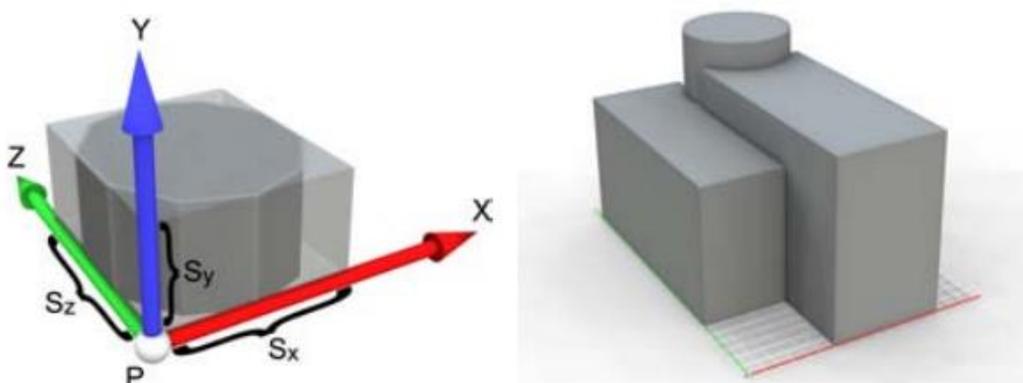
Η κανονιστική μοντελοποίηση χρησιμοποιεί τη μορφή CGA, που είναι μια νέα γραμματική σχημάτων που παράγει το κέλυφος των κτιρίων με μεγάλη γεωμετρική ακρίβεια και με υψηλής ποιότητας οπτική ακρίβεια. Για τη δημιουργία ενός κτιρίου με τη μέθοδο αυτή, πρώτα δημιουργείται ένα πρόχειρο ογκομετρικό μοντέλο του κτιρίου, που ονομάζεται μαζικό μοντέλο. Έπειτα δημιουργείται η πρόσοψη προσθέτοντας πόρτες παράθυρα κλπ. Βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι η δημιουργία του ιεραρχικού μοντέλου

και οι σημειώσεις για το μοντέλο δημιουργούνται κατά τη διαδικασία της μοντελοποίησης. Η σημασιολογική αυτή πληροφορία είναι πολύ σημαντική όταν σχεδιάζουμε μεγάλες πόλεις γιατί μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε κανόνες σχεδιασμού με διάφορες παραλλαγές.



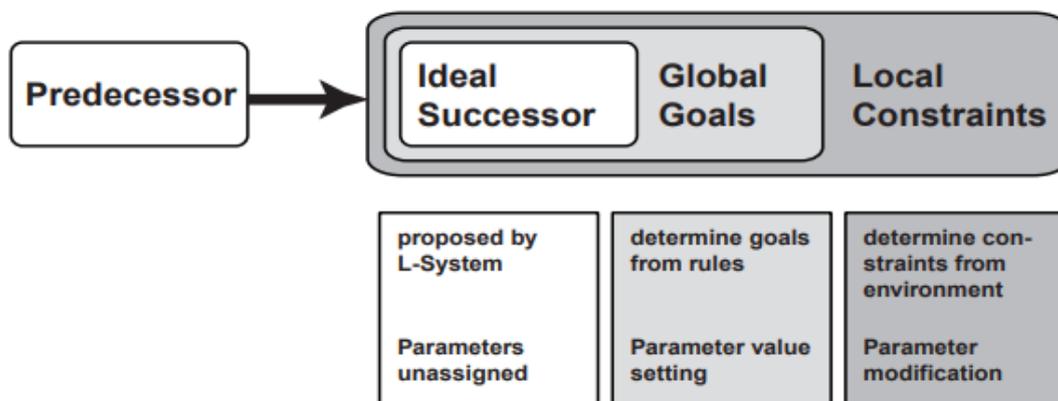
Εικόνα 17 : Εφαρμογή μοντελοποίησης με τη μορφή CGA (Πηγή : Müller, P., Wonka, P., Haegler, S., Ulmer, A., & Van Gool, L. (2006))

Ο Wonka et al. [2003] διερεύνησε πως να δημιουργηθούν γεωμετρικές λεπτομέρειες σε προσόψεις κτιρίων ενώ οι Parish and Muller [2001] διερεύνησαν πως θα σχεδιαστούν μεγάλα αστικά περιβάλλοντα. Ιδανικά, αναγκάιος είναι ο συνδυασμός των δυο παραπάνω μεθόδων για τη δημιουργία μεγάλων και λεπτομερών αστικών περιβαλλόντων. Η μορφή CGA έχει συνεχόμενη μορφή γραμματικής. Η γραμματική αυτή λειτουργεί με σχηματισμούς. Ένα σχήμα αποτελείται από ένα σύμβολο, τη γεωμετρία του και τα χαρακτηριστικά του. Τα πιο σημαντικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά είναι η θέση, τα τρία ορθογώνια συστήματα X, Y, Z που περιγράφουν ένα τοπικό σύστημα συντεταγμένων και ένα διάνυσμα μεγέθους S, όπως φαίνεται στην Εικόνα 18.



Εικόνα 18 : Η γραμματική της μορφής CGA (Πηγή : Müller, P., Wonka, P., Haegler, S., Ulmer, A., & Van Gool, L. (2006).)

Ένα L- Σύστημα ή L-System είναι ένα παράλληλο σύστημα επανεγγραφής βασισμένο σε κάποιους κανόνες. Κάθε σειρά αποτελείται από διαφορετικές ενότητες οι οποίες είναι ενσωματωμένες σαν εντολές και οι παράμετροι των εντολών αυτών είναι αποθηκευμένες στις ενότητες. Για παράδειγμα όταν θέλουμε να δημιουργήσουμε ένα χάρτη, θα χρειαστεί να γραφτεί ένα περίπλοκο L-Σύστημα, που θα περιέχει πολλές παραμέτρους και συνθήκες που θα πρέπει να ενσωματωθούν στο L-Σύστημα. Η δυσκολία στη συγγραφή των κανόνων μεγαλώνει γρήγορα γιατί κάθε φορά που γράφεται ένας περιορισμός, πολλοί κανόνες χρειάζεται να ξαναγραφτούν. Αντί να θέτουμε τις παραμέτρους των ενοτήτων μέσα στην ανάλυση, τα L-Συστήματα δημιουργούν ένα γενικό πρότυπο σε κάθε βήμα. Το γενικό αυτό πρότυπο ονομάζεται ιδανικός διάδοχος ή *ideal successor*. Οι ρυθμίσεις και η επιλογή των παραμέτρων στο L-Σύστημα, έχουν μεταφερθεί σε εξωτερικές λειτουργίες που έχουν μια ιεραρχία μεταξύ των ανωτέρου επιπέδου εργασιών και των τοπολογικών περιορισμών. Οι περιορισμοί αυτοί ονομάζονται "*localConstraints*" και οι λειτουργίες "*globalGoals*". Κάθε φορά που εκτελείται κάποιος κανόνας σε μια ενότητα, εκτελούνται συγκεκριμένες ενέργειες, όπως φαίνεται στην Εικόνα 19. Το L-Σύστημα επιστρέφει στον *ideal successor* γιατί οι παράμετροι της ενότητας είναι απροσδιόριστες. Έπειτα καλείται η λειτουργία *globalGoals*, όπου καθορίζονται οι στόχοι από τους κανόνες καθώς και όλοι οι παράμετροι. Τέλος καλείται η λειτουργία *localConstraints*, όπου καθορίζονται οι παράμετροι λαμβάνοντας υπόψιν τους περιορισμούς του περιβάλλοντος. Αν οι παράμετροι δεν συμβαδίζουν με τους περιορισμούς, τότε εμφανίζεται σήμα "FAILED" και διαγράφεται όλη η ενότητα. Ο διαχωρισμός σε ενότητες *localConstraints* και σε *globalGoals*, συντελεί στην ευκολότερη συμπλήρωση νέων στόχων και περιορισμών, χωρίς την αλλαγή των κανόνων και κάνει το L- Σύστημα απλούστερο.



Εικόνα 19 : Λειτουργίες που εκτελούνται στην έννοια successor (Πηγή : Parish, Y. I. H., & Müller, P. (2001))

3.3.4 Αυτόματη Μοντελοποίηση

Οι εξελίξεις στα προγράμματα παραγωγής 3D μοντέλων τα τελευταία χρόνια, ήταν ραγδαίες. Ωστόσο η ανάγκη για βελτίωση των προγραμμάτων αυτών είναι συνεχής και έχει τεθεί ως κύριος στόχος, η μείωση της ανθρώπινης αλληλεπίδρασης με τα προγράμματα

αυτά. Τέτοιες μέθοδοι αυτόματης αναδόμησης της γεωμετρίας κτιρίων ενσωματώνουν 2D πληροφορίες του εδάφους με ψηφιακά μοντέλα επιφάνειας. Οι φωτογραμμετρικές μέθοδοι είναι οικονομικές μέθοδοι απόκτησης δεδομένων για αστική μοντελοποίηση γιατί μπορούμε να ανακτήσουμε τη δομή και τις διαστάσεις των κτιρίων. Ωστόσο οι τεχνικές αυτόματης ταύτισης εικόνων που αρχικά είχαν αναπτυχθεί για τη μέτρηση σημείων εδάφους, αποδείχθηκε ότι δεν είναι τόσο αποτελεσματικές για αστικές περιοχές λόγω των ασυνεχειών που παρουσιάζει.

Οι τεχνικές αυτόματης αναδόμησης από αεροφωτογραφίες, έχουν δώσει πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα, ωστόσο χρειάζονται και επιπλέον δεδομένα όπως υψομετρικά μοντέλα, έγχρωμες φωτογραφίες που δεν είναι διαθέσιμα για όλες τις περιοχές. Ακόμα αυτοματοποιημένα συστήματα για την απόκτηση ψηφιακών μοντέλων εδάφους από σαρώσεις laser έχουν αναπτυχθεί αφού τα μοντέλα εδάφους αναπαριστούν τη γεωμετρία του εδάφους απευθείας. Τα πυκνά νέφη σημείων που προσφέρουν οι σύγχρονοι σαρωτές καθώς ο μεγάλος αριθμός σημείων που συλλέγουν ανά λεπτό, έχουν ανοίξει το δρόμο για τη δημιουργία νέων τεχνικών αυτόματης κατάτμησης. Ημιαυτόματες τεχνικές έχουν αναπτυχθεί είτε από ογκομετρικά δεδομένα που έχουν συνδυαστεί είτε από τεχνικές που χτίζουν την τοπολογία της επιφάνειας απευθείας.

Τα μοντέλα που παράγονται από αυτή την τεχνική μπορούν να ενσωματωθούν σε εφαρμογές όπως η πλοήγηση, για χαρτογραφικούς σκοπούς και για σκοπούς οπτικοποίησης.

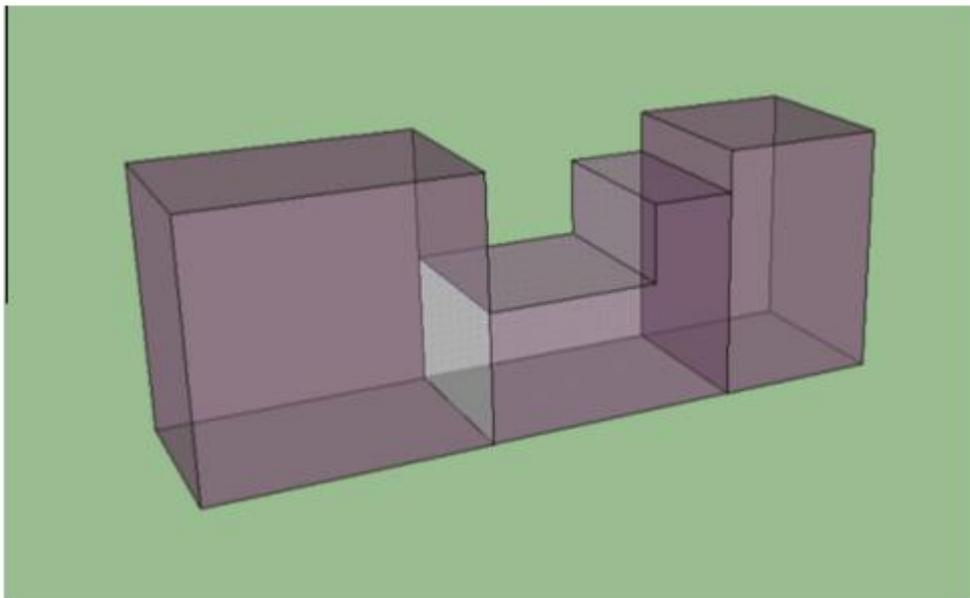
3.4 Παράμετροι στην οπτικοποίηση

Οι παράμετροι του χρώματος, του πάχους και της διαφάνειας για την οπτικοποίηση ενός αντικειμένου σε ένα σύστημα θα πρέπει να τυποποιηθούν για γρήγορη αναγνώριση από το χρήστη ή να οριστούν από τη χρήση για να βελτιώσουν τη χρησιμότητα της οπτικοποίησης. Αυτές οι παράμετροι σύμφωνα με τους (Shojaei et al., 2013) είναι :

1. **Τα επίπεδα λεπτομέρειας (LoDs)** : Είναι μια τεχνική απεικόνισης για την επιτάχυνση της διαδικασίας οπτικής απόδοσης. Σε αυτή την τεχνική, τα κτίρια παρουσιάζονται σε διάφορα επίπεδα λεπτομέρειας όπου χρησιμοποιείται ευρέως για τη δημιουργία 3d μοντέλα πόλεων. Οι Kolbe, Gröger, and Plümer (2005) υιοθέτησαν πέντε επίπεδα λεπτομέρειας για τη βελτίωση της αποδοτικότητας του CityGML στον τομέα της οπτικοποίησης. Η απόδοση ρεαλισμού στα μοντέλα, χρειάζεται την προσθήκη λεπτομερειών στα μοντέλα, που έχει άμεση επίπτωση στο χρόνο και την προσπάθεια για απόδοση απεικόνισης. Γενικά ένα έγκυρο και αποδεκτό επίπεδο αφαίρεσης, είναι αναγκαίο προκειμένου να μειωθούν τα περιττά κόστη και οι προσδοκίες των χρηστών. Για την αναπαράσταση νομικών αντικειμένων σε κτηματολογικές εφαρμογές, δεν είναι αναγκαία η απλοποίηση της γεωμετρίας. Σε επίπεδο προβολής πόλεων για λόγους απεικόνισης δεν θα ήταν σωστή η απεικόνιση των νομικών αντικειμένων για κάθε κτίριο. Είναι απαραίτητο κάθε νομικό αντικείμενο να απεικονίζεται ξεχωριστά για κάθε κτίριο ή για ένα

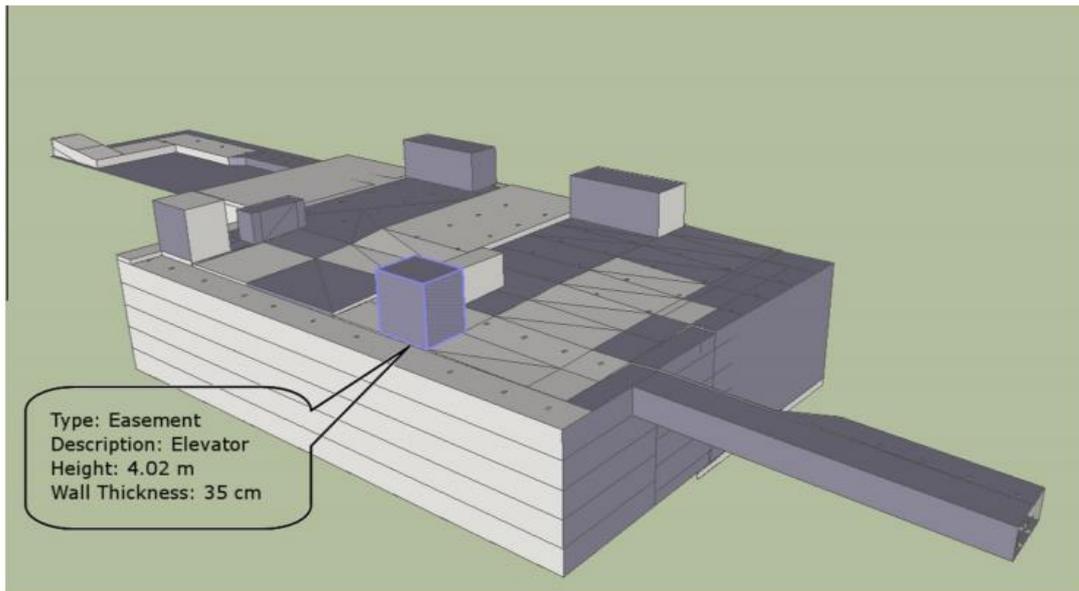
οικοδομικό τετράγωνο και όχι σε μοντέλα πόλεων. Για το λόγο αυτό η παραδοσιακή έννοια των επιπέδων λεπτομέρειας δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε νομικά δεδομένα.

2. **Σύμβολα** : Τα σύμβολα χρησιμοποιούνται στον τομέα της χαρτογραφίας για τη δημιουργία πληροφοριακών χαρτών. Σε κτηματολογικές εφαρμογές τα σύμβολα χρησιμοποιούνται για να δώσουν στον αναγνώστη καλύτερη ερμηνεία. Παραδείγματα συμβόλων είναι τα σημεία ελέγχου, τα ονόματα δρόμων και τα φυσικά χαρακτηριστικά όπως τα ιδιοκτησιακά όρια .
3. **Χρώμα, πάχος και στυλ γραμμής** : Το χρώμα, το πάχος και το στυλ της γραμμής αποτελούν ιδιότητες που βελτιώνουν τα οπτικά εφέ στην τρισδιάστατη απεικόνιση. Ακόμα τα φυσικά και κτηματολογικά αντικείμενα βελτιώνουν την απεικόνιση τους με τις ιδιότητες αυτές.
4. **Σήμανση (Labeling)** : Οι κατηγορίες σήμανσης των αντικειμένων όπως δρόμοι, ποτάμια και κτίρια είναι δύο. Οι δύο αυτές κατηγορίες είναι στατική και δυναμική. Η στατική σήμανση είναι κατάλληλη για στατικές απόψεις όπως οι στατικοί χάρτες ενώ η δυναμική σήμανση είναι κατάλληλη για δυναμικούς χάρτες που υποστηρίζουν διάφορα επίπεδα μεγέθυνσης (zoom), μετακίνησης (pan) και περιστροφής. Μια διαφοροποίηση μεταξύ της δισδιάστατης και της τρισδιάστατης σήμανσης είναι ότι στο δισδιάστατο χώρο, οι ετικέτες προβάλλονται πάνω στα στοιχεία του χάρτη ενώ στην τρισδιάστατη σήμανση περιστρέφονται βάσει της προοπτικής του χρήστη. Σε κτηματολογικές εφαρμογές είναι εύκολα κατανοητό ότι οι δυναμικές και οι τρισδιάστατες σημάνσεις είναι καταλληλότερες για την οπτικοποίηση.
5. **Διαφάνεια αντικειμένου (Transparency)** : Στον κτηματολογικό τομέα η διαφάνεια είναι πολύ χρήσιμη για την απεικόνιση πολύπλοκων νομικών αντικειμένων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 20. Ακόμα ο χρήστης μπορεί να επιλέξει το επίπεδο της διαφάνειας ανάλογα με την εκάστοτε εφαρμογή.



Εικόνα 20 : Το εφέ της διαφάνειας στην οπτικοποίηση

6. **Επεξήγηση (Tooltip) :** Στα συστήματα GIS είναι ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται πολύ συχνά. Συχνά αναφέρεται ως ένα εργαλείο ή μηχανισμός αναγνώρισης που αντιπροσωπεύει το πεδίο των ιδιοτήτων με το οποίο συνδέεται ένα αντικείμενο. Το εργαλείο αυτό μπορεί να είναι χρήσιμο και για κτηματολογικές εφαρμογές, για την παροχή πληροφοριών τόσο για φυσικά όσο για νομικά αντικείμενα στη σκηνή.



Εικόνα 21 : Εργαλείο Tooltip για την απεικόνιση ιδιοτήτων του αντικειμένου

Τέλος υπάρχουν και άλλα χαρακτηριστικά και λειτουργίες οπτικοποίησης όπως η υφή, η σκιά που είναι χρήσιμες σε άλλες εφαρμογές όπως ο αστικός σχεδιασμός και η μοντελοποίηση των πόλεων.

3.5 nD Μοντελοποίηση

Μια χρόνια πρόκληση που αντιμετωπίζει η βιομηχανία των κατασκευών είναι πως θα βελτιώσει την αποτελεσματικότητα και την αποδοτικότητα της διαδικασίας του σχεδιασμού και κατασκευής. Η αντιμετώπιση της πρόκλησης αυτής είναι τα nD μοντέλα. Ένα nD μοντέλο είναι μια προέκταση του πληροφοριακού μοντέλου ενός κτιρίου στο οποίο είναι ενσωματωμένες πολλές διαστάσεις των σχεδιαστικών πληροφοριών που είναι απαραίτητες σε όλο τον κύκλο ζωής ενός κτιρίου. Τα nD μοντέλα δεν είναι σαν τα παραδοσιακά δισδιάστατα ή τρισδιάστατα συστήματα CAD, όπου στο σχεδιασμό χρησιμοποιούν σχήματα όπως ο κύκλος, το τόξο, η γραμμή και τις πληροφορίες σχετικά με το μοντέλο σε διαφορετικούς τύπους αρχείων. Τα nD μοντέλα χρησιμοποιούν οντότητες για να αναπαραστήσουν δομικά στοιχεία όπως ο τοίχος, η πόρτα και τα παράθυρα. Οι οντότητες είναι “έξυπνα” αντικείμενα (intelligent objects) στα οποία καταχωρούνται όλες οι απαραίτητες πληροφορίες για το αντικείμενο που σχεδιάζεται. Στη γεωβάση του μοντέλου δημιουργούνται αυτόματα διάφορες απόψεις του μοντέλου όπως κατόψεις, όψεις, τομές

που με τις παραδοσιακές μεθόδους σχεδίασης δημιουργούνται ξεχωριστά η κάθε μια. Ένα πλεονέκτημα της nd μοντελοποίησης είναι ότι αφού οι διαφορετικές απόψεις του μοντέλου βρίσκονται στην ίδια γεωβάση, κάθε αλλαγή που γίνεται στο μοντέλο θα ανανεωθεί αυτόματα σε όλα τα σχέδια. Τέλος κατά αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται ακρίβεια και οργάνωση σε όλα τα σχέδια αφού ό,τι αλλαγή πραγματοποιείται καταγράφεται.

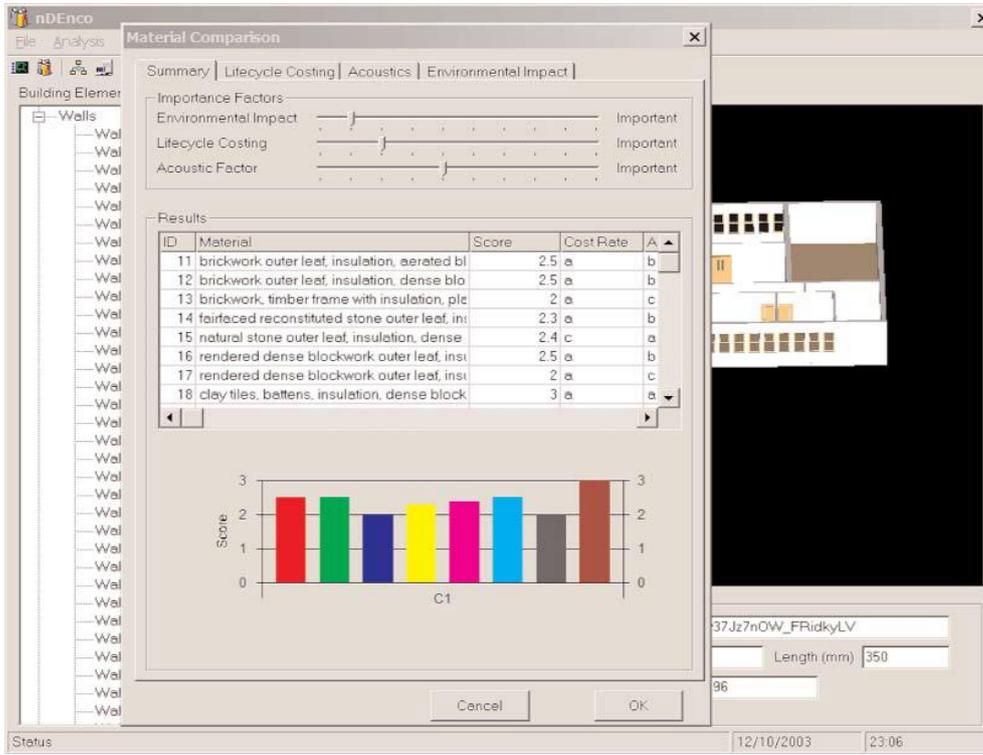
Η nd μοντελοποίηση βασίζεται στην αντίληψη της 4d μοντελοποίησης ενσωματώνοντας περαιτέρω μια νιοστή διάσταση σχεδιασμού σε ένα ολιστικό μοντέλο, με συνέπεια να επιτρέπει στο χρήστη να απεικονίζει και οπτικά να προβάλλει το σχεδιασμό του κτιρίου σε όλο τον κύκλο ζωής του (Lee et al, 2005) . Η nd μοντελοποίηση συνήθως βασίζεται στην τεχνολογία BIM, η οποία είναι μια βάση δεδομένων που περιέχει πληροφορίες σχετικά με το σχεδιασμό, την κατασκευή, τη διαχείριση και τη συντήρηση ενός κτιρίου. Γραφικά και μη γραφικά δεδομένα αποθηκεύονται όπως σχέδια, προδιαγραφές, χρονοδιαγράμματα μπορούν να αποθηκευτούν στη βάση δεδομένων. Οι αλλαγές που πραγματοποιούνται ανανεώνονται αυτόματα στη γεωβάση και πρόσβαση έχουν όλοι όσοι συμμετέχουν στη διαδικασία του σχεδιασμού. Κατά αυτόν τον τρόπο μειώνονται τα προβλήματα επικοινωνίας που επιβραδύνουν την ολοκλήρωση της κατασκευής και αυξάνουν σημαντικά το κόστος.

Για το σχεδιασμό ενός κτιρίου, αναγκαίο είναι ένα πλήθος μηχανικών (αρχιτέκτονες, τοπογράφοι, πολιτικοί) από τους οποίους προκύπτει πλήθος πληροφοριών σχετικά με το κτίριο. Με τόσο όγκο πληροφοριών από διαφορετικά άτομα είναι δύσκολη η οπτικοποίηση του σχεδίου, αλλαγών που μπορεί να γίνουν σε αυτό, καθώς και των συνεπειών που θα έχουν σε χρόνο και σε κόστος στην κατασκευή. Η αλλαγή και η προσαρμογή των σχεδίων στις απαιτήσεις των πελατών είναι μια επίπονη και χρονοβόρα διαδικασία που βοηθάει ωστόσο τους πελάτες στη διαδικασία εξαγωγής αποφάσεων. Στο σχεδιασμό ακόμα λαμβάνονται υπόψιν κοινωνικά, νομοθετικά, νομικά κριτήρια τα οποία πολλές φορές μπορεί να συγκρούονται μεταξύ τους. Τα κριτήρια αυτά έχουν και επίδραση στο χρόνο και στο κόστος της κατασκευής και όταν όλα έχουν συνδυαστεί ο σχεδιασμός είναι επιτυχημένος. Η nd μοντελοποίηση με τη βοήθεια της τεχνολογίας, μας δίνει τη δυνατότητα να αντιμετωπίζουμε το μεγάλο πλήθος πληροφοριών καθώς και το αυξανόμενο ενδιαφέρον στις κατασκευές σε θέματα βιωσιμότητας, ακουστικής, ενεργειακής απόδοσης.

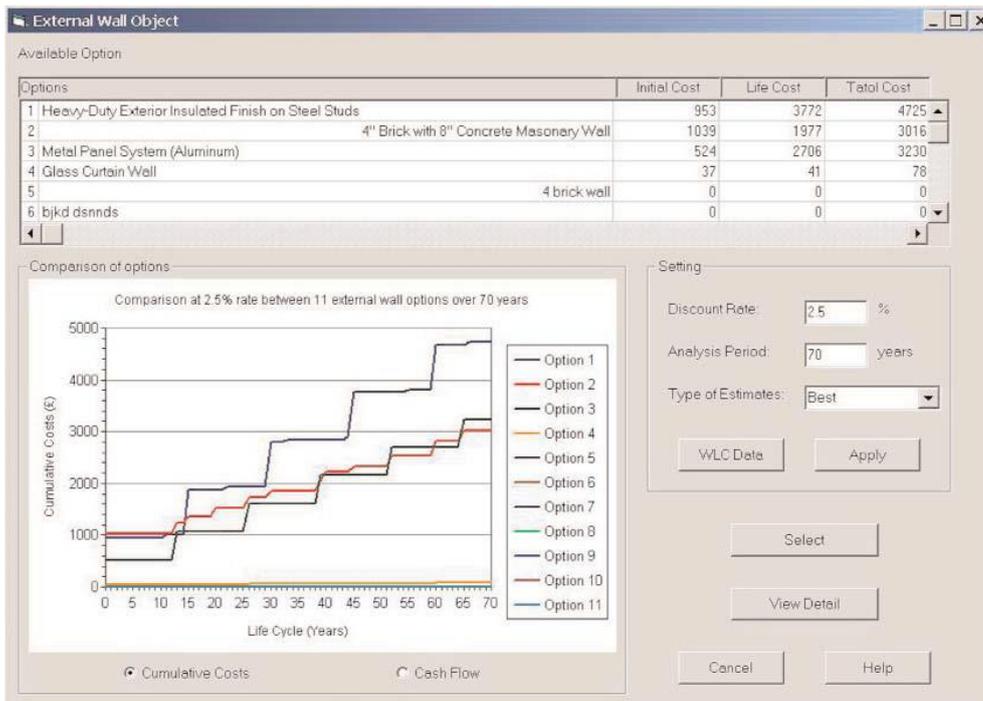
Με την nd μοντελοποίηση μπορούμε να ενσωματώσουμε διάφορες προοπτικές του σχεδιασμού σε ένα σύστημα το οποίο μπορεί να αξιολογήσει και να συγκρίνει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα διαφορετικών σεναρίων σχεδιασμού. Τα εργαλεία nd μοντελοποίησης προσφέρουν :

- **Ανάλυση του σχεδιασμού** συμπεριλαμβάνοντας διάφορους περιορισμούς της nd μοντελοποίησης όπως απαιτήσεις πρόσβασης, ανάγκες βιωσιμότητας. Πληροφορίες σχετικά με οδηγίες νομοθετικού περιεχομένου και οδηγίες σχεδιασμού συνδυάζονται με πληροφορίες για τα φυσικά δεδομένα του κτιρίου για να πραγματοποιηθεί μεμονωμένη ανάλυση.
- **Πολυκριτηριακή ανάλυση** με το συνδυασμό ποιοτικών και ποσοτικών κριτηρίων στην αξιολόγηση. Ποιοτικά κριτήρια είναι κριτήρια από τους κτιριακούς κανονισμούς που δεν μπορούν να ποσοτικοποιηθούν ενώ ποσοτικά κριτήρια οι

γεωμετρικές διαστάσεις, χρηματικές μονάδες κλπ. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται στην αξιολόγηση των κριτηρίων είναι ιεραρχική.



Εικόνα 22 : Ανάλυση παραγόντων σχεδιασμού (περιβαλλοντικών, κόστους, ακουστικών) με τη χρήση nd εργαλείου (Πηγή : www.researchgate.net)



3.6 4D Μοντελοποίηση

Η 4d μοντελοποίηση σχετίζεται με την εισαγωγή πληροφοριών σχετικά με το χρόνο σε διάφορα αντικείμενα ενός μοντέλου. Για υλικά όπως το τσιμέντο σχετίζεται με το χρόνο που χρειάζεται να πάρει στερεή μορφή και να αποκτήσει αντοχή, πληροφορίες σχετικά με το χρόνο κατασκευής σε διάφορα στάδια του έργου, το χρόνο εγκατάστασης αντικειμένων κλπ. Τα 4d μοντέλα μπορούν να βελτιώσουν την αξιοπιστία των χρονοδιαγραμμάτων και να μειώσουν τις ασάφειες στην ερμηνεία, ελαχιστοποιώντας τα προβλήματα στην επικοινωνία. (Koo & Fischer, 2000;Hartmann et al., 2008). Στη διαχείριση μιας κατασκευής, η δυνατότητα συνδυασμού του πληροφοριακού μοντέλου με στοιχεία χρόνου είναι στρατηγικής σημασίας και επιτρέπουν να παίρνονται διορθωτικές αποφάσεις στην ώρα τους. Κατά τη διάρκεια της κατασκευής, η 4d μοντελοποίηση για έλεγχο, προκύπτει με τη χρήση διαφορετικών χρωμάτων για να εκπροσωπήσει την πρόοδο των εργασιών στο πέρασμα του χρόνου και η επιλογή των χρωμάτων είναι σημαντική για τη διαδικασία της κατανόησης. (Chang et al., 2009; Chen et al., 2013).

Σύμφωνα με τον Koo και Fischer (2000), τα 4d μοντέλα είναι στενά χρονικά συνδεδεμένα επιτρέποντας στους χρήστες να δουν την πρόοδο των εργασιών, να έχουν καλύτερη κατανόηση του προγραμματισμού και ανίχνευση σφαλμάτων πριν την εκτέλεση. Άλλα πλεονεκτήματα των 4d μοντέλων είναι η καλύτερη επικοινωνία, καλύτερη διοικητική διαχείριση, η δυνατότητα σύγκρισης των σχεδίων με όσα έχουν κατασκευαστεί και ο έλεγχος προόδου της κατασκευής. Οι Olde Scholtenhuis et al. (2014) αναφέρουν, λαμβάνοντας υπόψιν ότι η διαδικασία συντονισμού επικεντρώνεται στην λειτουργική αλληλεξάρτηση, η πιθανή ανίχνευση συγκρούσεων, οι λεπτομερείς θεωρήσεις και η ανάπτυξη στρατηγικών περιορισμού ενισχύοντας το επίπεδο επιμέλειας, ικανότητας να ανιχνεύει αστοχίες και να υιοθετεί διορθωτικές κινήσεις.

Στη 4d μοντελοποίηση, τα διάφορα χρώματα χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση των διαφορετικών σταδίων της κατασκευής ενώ η επιλογή κατάλληλου χρώματος είναι σημαντική για την ευκολότερη κατανόηση του μοντέλου και για την ανάλυση του μοντέλου. Ωστόσο η επιλογή του χρώματος είναι προσωπική υπόθεση παρόλο που παίζει σημαντικό ρόλο στην ανάλυση και στην οπτικοποίηση του μοντέλου. Συστηματικές μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί από τους Chang et al. (2009) και Chen et al. (2013) για την επιλογή και αξιολόγηση κατάλληλου χρώματος σε 4d μοντέλα. Σύμφωνα με τον Chang et al. (2009), τα θερμά χρώματα είναι διεγερτικά όπως το κόκκινο, προσελκύοντας την προσοχή του θεατή σε κρίσιμες καταστάσεις όπως οι χρονικές καθυστερήσεις.



Εικόνα 24 : 4d μοντέλο κτιρίου για την απεικόνιση των διαφορετικών σταδίων της κατασκευής μέσω του χρώματος (Πηγή : www.sciencedirect.com)

Μια μεγάλη δυσκολία που συναντούμε σε 4d μοντέλα είναι ότι η οπτικοποίηση των εσωτερικών εργασιών-δραστηριοτήτων μπορεί να μην είναι δυνατή, εκτός από τις αναπαραστάσεις δραστηριοτήτων σαν εξωτερικές δραστηριότητες, αφού η δομή και η πρόσοψη περιορίζουν την εφαρμοσιμότητα του μοντέλου. Για την αντιμετώπιση της δυσκολίας αυτής έχουν αναπτυχθεί κάποιοι μηχανισμοί όπως : η διαφάνεια που επιτρέπει την οπτικοποίηση του εσωτερικού, η επίδειξη δύο προσομοιώσεων στην ίδια οθόνη και η δημιουργία “κρυφών” επιπέδων. Οι Korde et al. (2009) σημειώνουν ότι οι διαδραστικές, οπτικές αναπαραστάσεις, διευκολύνουν την ανάλυση και τη διαχείριση των δεδομένων και τη λήψη αποφάσεων. Ωστόσο κάποιοι παράμετροι πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν όπως τα χαρακτηριστικά του μοντέλου, ο τύπος της κατασκευής και οι ιδιαιτερότητες του χρήστη.

Στην Εικόνα 25 μπορούμε να παρατηρήσουμε την πρόοδο των εργασιών ενός κτιρίου διακρίνοντας τις αποκλίσεις που υπάρχουν στο κτίριο, μεταξύ του προσχεδιασμένου και αυτού που έχει υλοποιηθεί, με χρωματική διαφοροποίηση.



Εικόνα 25 : 4d μοντέλο κτιρίου που διακρίνονται οι αποκλίσεις μεταξύ του προσχεδιασμένου και αυτού που έχει υλοποιηθεί (Πηγή : www.sciencedirect.com)

Από έρευνες διαπιστώθηκαν τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν στο σχεδιασμό και στη διαδικασία της κατασκευής τα 4d μοντέλα για τη διεξαγωγή αναλύσεων, την παρακολούθηση της προόδου της κατασκευής και την εύρεση αστοχιών. Ακόμα και με αυτά τα πλεονεκτήματα, τα 4d μοντέλα δεν μπορούν να διαδοθούν στον τομέα των κατασκευών μέχρι να ενσωματωθούν στη διαδικασία του σχεδιασμού και μέχρι να αυτοματοποιηθούν κάποια εργαλεία για την επιτάχυνση της διαδικασίας του σχεδιασμού. Ακόμα αναγκαία είναι η δημιουργία προτύπων για την οπτικοποίηση και αναπαράσταση των στοιχείων μιας κατασκευής. Επιπλέον τα 4d μοντέλα προσφέρουν ευκολότερη ερμηνεία του χρονοδιαγράμματος και εξάγουν την καταλληλότερη ροή των εργασιών, που προσφέρει αλληλουχία μεταξύ των προγραμματισμένων εργασιών. Οι επιπτώσεις των αλλαγών στο σχεδιασμό μπορούν να οπτικοποιηθούν και οι αλλαγές μπορούν να ενσωματωθούν εύκολα στο μοντέλο. Τέλος αναλύσεις σχετικά με το σχεδιασμό μπορούν να διεξαχθούν και να εντοπιστούν αστοχίες της κατασκευής.

3.7 5D Μοντελοποίηση

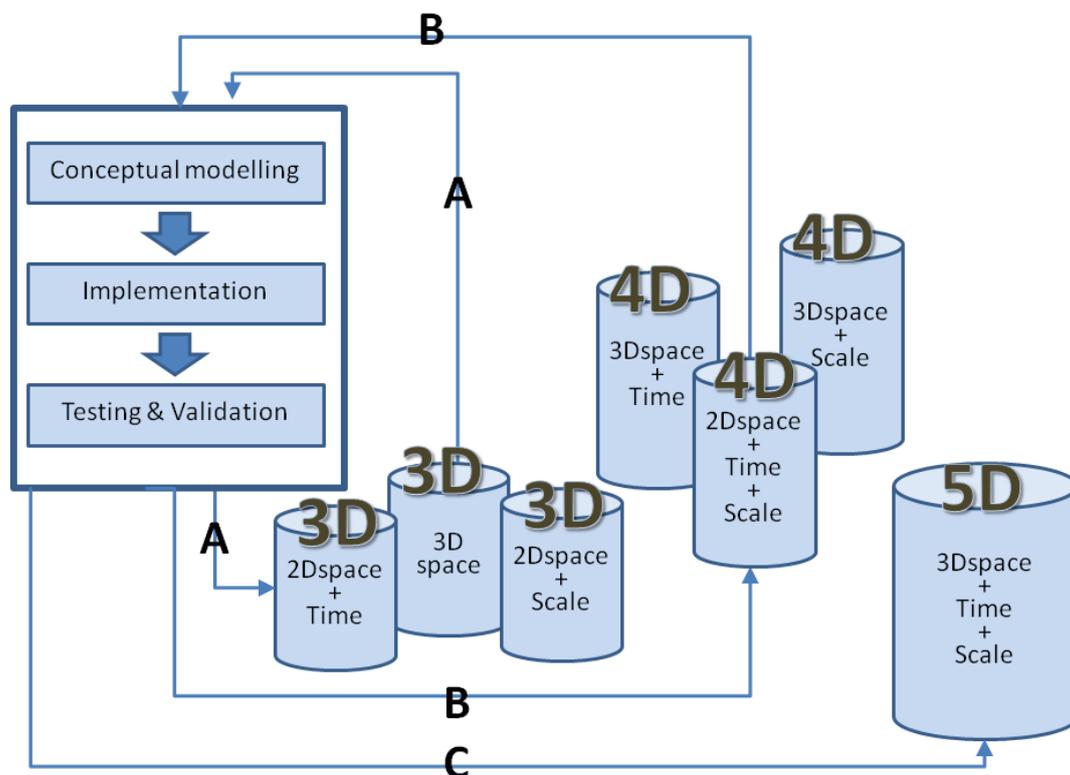
Στην 5d μοντελοποίηση, οι τρεις διαστάσεις χρησιμοποιούνται για γεωμετρική αναπαράσταση, η τέταρτη διάσταση αντιπροσωπεύει το χρόνο και η πέμπτη διάσταση αντιπροσωπεύει την κλίμακα. Για να εξασφαλιστεί η αλληλουχία σε ένα 5d εννοιολογικό μοντέλο αναγκαία είναι μια ενοποιημένη προσέγγιση των δεδομένων που θα εξασφαλίζει τη συνοχή μεταξύ των διαστάσεων του χρόνου και της κλίμακας.

Σύμφωνα με τον Oosterom, 2012 σε αντίθεση με την ξεχωριστή αντιμετώπιση των διαστάσεων του χώρου, του χρόνου και της κλίμακας, η ενοποιημένη προσέγγιση προσφέρει μια ισχυρή και βιώσιμη βάση για τρεις λόγους :

1. Η πλήρης ενσωμάτωση όλων των διαστάσεων, δημιουργεί ένα 5d μοντέλο με τοπολογικές αρχές και 5d τύπους δεδομένων αφού οι σχέσεις μεταξύ του χώρου, του χρόνου και της κλίμακας των δεδομένων έχουν πλήρως οριστεί και δεν χρειάζεται κάποια περίπτωση να αντιμετωπιστεί ως ειδική
2. Το μοντέλο έχει συνοχή σε όλες τις διαστάσεις που βελτιώνει την ποιότητα των δεδομένων
3. Η βέλτιστη και πιο αποτελεσματική αναζήτηση μπορεί να αντιληφθεί, αν ένα 5d μοντέλο δεδομένων χρησιμοποιηθεί με ένα πίνακα περιεχομένων αλλιώς η βάση δεδομένων πρέπει πρώτα να διαλέξει τη διάσταση του χώρου, μετά του χρόνου και μετά της κλίμακας.

Επειδή λίγη έρευνα έχει διεξαχθεί στον τομέα της 5d μοντελοποίησης, αναγκαίο είναι να παραθέσουμε τις μαθηματικές θεωρίες της πολυδιάστατης μοντελοποίησης και τις αρχές

που έχουν εξαχθεί από τη 2d/3d μοντελοποίηση, τη χωροχρονική και την πολυδιάστατη μοντελοποίηση και σταδιακά να διευρύνουμε τα αποτελέσματα στην 5d μοντελοποίηση.



Εικόνα 26 : Μεθοδολογία για την 5d μοντελοποίηση (Πηγή : Stoter et al., 2012)

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 26 έχουμε τρία εναλλακτικά μοντέλα. Στην πρώτη προσέγγιση το 3d μοντέλο αποτελείται από τον 3d χώρο ή τον 2d χώρο και τον χρόνο ή τον 2d χώρο και την κλίμακα. Στην δεύτερη προσέγγιση έχουμε τρία εναλλακτικά 4d μοντέλα, που αποτελούνται είτε από τον 3d χώρο και τον χρόνο, είτε από τον 3d χώρο και την κλίμακα, είτε από 2d χώρο, τον χρόνο και την κλίμακα. Τέλος καταλήγουμε στην τρίτη προσέγγιση που είναι ένα 5d μοντέλο που αποτελείται από τον 3d χώρο, τον χρόνο και την κλίμακα. Οι ενδιάμεσες προσεγγίσεις είναι απαραίτητες για να δημιουργηθούν οι εναλλακτικές προσεγγίσεις για ένα ενοποιημένο 5d μοντέλο και για να αποκτήσουμε την απαραίτητη γνώση για το πως θα αντιμετωπιστούν οι διαφορετικές διαστάσεις στην ενσωμάτωση τόσο στο εννοιολογικό μοντέλο όσο στη βάση δεδομένων. Κάθε προσέγγιση όπως φαίνεται στην Εικόνα 26 ακολουθεί τρία βήματα. Το πρώτο βήματα είναι η εννοιολογική μοντελοποίηση, μετά ακολουθεί η εφαρμογή με προσεγγιστικά δεδομένα και τέλος η δοκιμή και η αξιολόγηση με αληθινά σενάρια. Από την πρώτη προσέγγιση έχουμε εικόνα σχετικά με το πως οι ενσωματωμένες διαστάσεις του χρόνου ή της κλίμακας συμπεριφέρονται όταν εφαρμόζονται μαζί με τις μαθηματικές θεωρίες. Ακόμα τα μοντέλα αυτά είναι εφικτά και είναι λειτουργικά σε διάφορα εμπορικά συστήματα. Τα μοντέλα της δεύτερης προσέγγισης είναι και αυτά εφικτά, προσφέρουν γνώσεις για την πιο περίπλοκη μορφή μοντελοποίησης, αυτή της 5d μοντελοποίησης. Για την αξιολόγηση των μοντέλων αναγκαία είναι η εφαρμογή δοκιμών σε μια σειρά από δεδομένα που περιέχουν

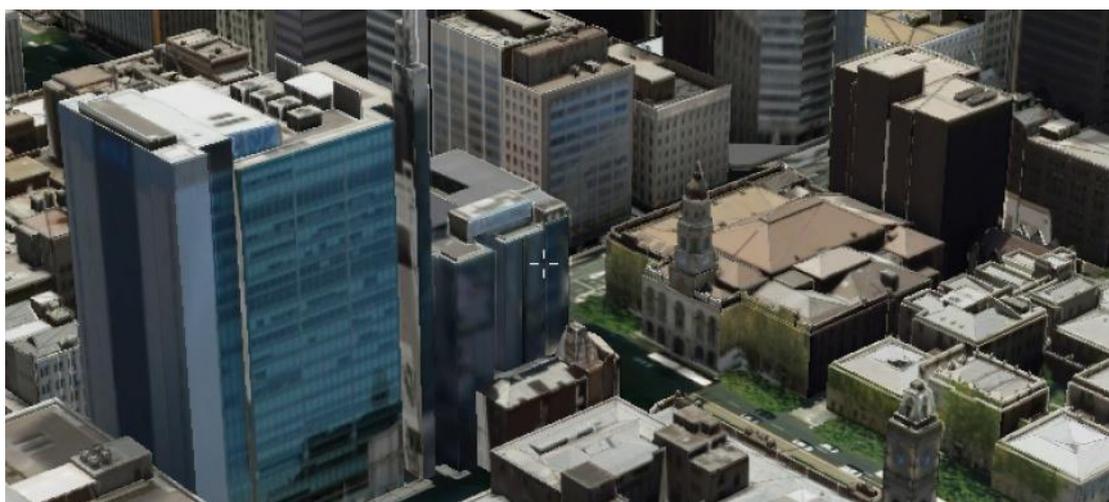
δισδιάστατα και τρισδιάστατα δεδομένα σε διάφορες διαστάσεις που να περιέχουν και πληροφορίες σχετικά με το χρόνο.

Η επανάληψη Α, στηρίζεται σε υπάρχοντα μοντέλα που η λειτουργία τους είναι δοκιμασμένη και έχει ως αποτέλεσμα τρισδιάστατα μοντέλα τα οποία πρέπει να είναι εφικτά. Τα μοντέλα αυτά στηρίζονται σε εμπορικά συστήματα (π.χ Oracle, Esri) και σε χωροχρονικές βάσεις δεδομένων. Από την άλλη η επανάληψη Β αποτελείται από τύπους μοντέλων που δεν έχουν διερευνηθεί εκτενώς σε εφαρμογές αλλά είναι λογικά εφικτές. Τέλος η επανάληψη Γ, θα χρησιμοποιήσει τις γνώσεις από τις δύο προηγούμενες επαναλήψεις (Α,Β), προκειμένου να παράγει τις έννοιες για το 5d μοντέλο δεδομένων, συνδυάζοντας τις έννοιες του χώρου, του χρόνου και της κλίμακας σε 5d μοντέλο.

3.8 3d Μοντελοποίηση πόλεων

Τα 3d μοντέλα πόλεων είναι μια ψηφιακή αναπαράσταση της επιφάνειας της γης και των σχετικών με αυτή αντικειμένων όπως τα κτίρια, η βλάστηση και τα τεχνητά χαρακτηριστικά των αστικών περιοχών. Για τα μοντέλα πόλεων έχουν δοθεί πολλές ονομασίες, όπως “Κυβερνοπόλη”, “Ψηφιακή Πόλη”, “Εικονική Πόλη”. Τα μοντέλα αυτά των πόλεων μπορεί να είναι σε 2,5d και σε 3d μορφή.

Για την παραγωγή των μοντέλων των πόλεων χρησιμοποιούνται τρεις τεχνικές συλλογής δεδομένων. Η πρώτη τεχνική χρησιμοποιεί αεροφωτογραφίες, χάρτες σε διανυσματική μορφή, ψηφιακά μοντέλα εδάφους ενώ η δεύτερη τεχνική χρησιμοποιεί δορυφορικές φωτογραφίες και νέφη σημείων από σαρώσεις laser. Η τρίτη τεχνική χρησιμοποιεί επίγειες φωτογραφίες με τη χρήση φωτογραμμετρικών μεθόδων.



Εικόνα 27 : Παράδειγμα 3d μοντέλου πόλης (Πηγή : www.cityofadelaide.com.au)

Στο παρελθόν τα μοντέλα πόλεων είχαν χρησιμοποιηθεί κυρίως για την οπτικοποίηση ή τη γραφική εξερεύνηση αστικών τοπίων. Τα τελευταία χρόνια όμως, ο αυξανόμενος αριθμός εφαρμογών στον αστικό σχεδιασμό και η ανάπτυξη συστημάτων διαχείρισης γης, απαιτούν

πρόσθετη πληροφορία για τα μοντέλα της πόλης. Παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών παρουσιάζονται παρακάτω:

Ευρύτερος Σχεδιασμός

Τα 3d μοντέλα πόλεων, βοηθούν τους σχεδιαστές σε όλες τις φάσεις του σχεδιασμού στη μοντελοποίηση. Από το πρώτο στάδιο του σχεδιασμού που είναι η δημιουργία του εννοιολογικού σχήματος όπου περιγράφονται οι απαιτήσεις των χρηστών και περιλαμβάνει τύπους οντοτήτων, σχέσεων, χαρακτηριστικών, περιορισμούς και υποθέσεις, μέχρι το στάδιο της εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Ακόμα τα μοντέλα αυτά, συντελούν στη μείωση των σχεδιαστικών λαθών που έχουν ως συνέπεια τη χρονική καθυστέρηση της ολοκλήρωσης του έργου αλλά και επιβάρυνση στο κόστος του έργου. Τέλος ο σχεδιασμός του μοντέλου, γίνεται σε ψηφιακό περιβάλλον και σε 3d μορφή συντελώντας στην καλύτερη και ακριβέστερη οπτική αναπαράσταση του μοντέλου.

Διαχείριση κινδύνων

Τα 3d μοντέλα πόλεων είναι πολύ χρήσιμα γιατί σε αυτά μπορούμε να βασιστούμε και να προσομοιώσουμε ρεαλιστικά κάθε πιθανή καταστροφή. Πιθανές καταστροφές όπως φωτιές, πλημμύρες, εκρήξεις μπορούν να προσομοιωθούν εικονικά, με στόχο οι αρχές να είναι προετοιμασμένες σε τέτοιες περιπτώσεις. Έτσι η αντίδραση των αρχών θα είναι πιο γρήγορη και ο σχεδιασμός ορθότερος.

Πλοήγηση

Η μοντελοποίηση των πόλεων συντελεί στη δημιουργία μιας ρεαλιστικής απεικόνισης των πόλεων και των συγκοινωνιακών υποδομών τους. Για το λόγο αυτό τα μοντέλα των πόλεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ένα εργαλείο έξυπνης μετακίνησης αφού μας δίνουν μια ρεαλιστική απεικόνιση της πραγματικότητας. Ακόμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως ένα εργαλείο για τη δημιουργία σχεδίων εκκένωσης των πόλεων.

Βάση χωρικών δεδομένων

Τα 3d μοντέλα πόλεων είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για τους δήμους και τις περιφέρειες αφού είναι μια χωρική βάση δεδομένων της υποδομής της περιοχής, την οποία μπορούν να την αξιοποιήσουν για τον καλύτερο σχεδιασμό της πόλης. Επίσης είναι μια πολύ χρήσιμη βάση για την ανάπτυξη 3d κτηματολογίου.

Για τα 3d μοντέλα πόλεων υπάρχουν λίγα σημασιολογικά μοντέλα, μοντέλα δηλαδή που να περιέχουν θεματική σημασιολογία των 3d αντικειμένων. Το CityGML περιλαμβάνει θεματική σημασιολογία αλλά και 3d γεωμετρία και τοπολογία. Ο λόγος δημιουργίας του CityGML άλλωστε είναι η ανάγκη προτυποποίησης στην περιγραφή, αποθήκευση και την ανταλλαγή μεταξύ των μοντέλων πόλεων. Άλλα μοντέλα που έχουν δημιουργηθεί και αναγνωριστεί ως πρότυπα είναι το Μοντέλο Δεδομένων Βορείου Αμερικής (North American Data Model) και η Geology Science Markup Language (GeoSciML) για την απεικόνιση γεωλογικών παρατηρήσεων.

Τα μοντέλα πόλεων εξαιτίας του μεγάλου εύρους των εφαρμογών που έχουν, για να πετύχουν μια αποτελεσματική απεικόνιση, αναγκαίο είναι να απεικονίζονται σε διάφορες κλίμακες. Οι διάφορες μορφές οπτικοποίησης που βρίσκουν εφαρμογή τα διάφορα μοντέλα πόλεων είναι :

1. **Οπτικοποίηση σε διάφορα επίπεδα λεπτομέρειας (LoD)** : Το αστικό περιβάλλον είναι αναγκαίο να μοντελοποιείται σε διάφορες κλίμακες (π.χ από μοντέλα εδάφους μέχρι μοντέλα σε κλίμακα λεπτομέρειας κτιρίων).
2. **Οπτικοποίηση των χρονικών μεταβολών** : Με σκοπό την καταγραφή και την οπτικοποίηση των μεταβολών των πόλεων σε διάφορες χρονικές περιόδους, απαραίτητο είναι να δημιουργούνται μοντέλα πόλεων. Τα μοντέλα αυτά είναι 4d μοντέλα γιατί έχουν το χρόνο ως τέταρτη διάσταση (3d χώρος + χρόνος) και βρίσκουν πεδίο εφαρμογής στο σχεδιασμό των πόλεων.
3. **Απευθείας οπτικοποίηση των 3d μοντέλων πόλης** : Επειδή το διαδίκτυο αποτελεί βασική πηγή πληροφοριών είναι αναγκαίο να αναπτυχθούν εφαρμογές για την οπτικοποίηση 3d μοντέλων πόλης. Οι εφαρμογές αυτές παρουσιάζουν 3d σκηνές όπως το Adobe Flash, το Java3D και το Microsoft Silverlight. Υπάρχουν επιπλέον ζητήματα για περαιτέρω έρευνα σχετικά με την οπτικοποίηση των μοντέλων πόλης, όπως είναι η αυτόματη δημιουργία των απεικονίσεων σε διαφορετικές κλίμακες και η δημιουργία 3d σκηνής για πολλαπλές εφαρμογές στο διαδίκτυο.

3.9 Μοντελοποίηση και κτηματολόγιο

Οι εξελίξεις σε θέματα μοντελοποίησης τα τελευταία χρόνια είναι ραγδαίες με συνέπεια να έχουν αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι απεικόνισης του τρισδιάστατου χώρου. Πρόκληση αποτελεί η μετατροπή των διάφορων κτηματολογίων σε 3d κτηματολόγια. Η τεκμηρίωση της πληροφορίας των ιδιοκτησιακών αντικειμένων στις μέρες μας γίνεται βάσει του Θεσμικού Πλαισίου του Εθνικού Κτηματολογίου. Το κτηματολόγιο βασίζεται στις δύο διαστάσεις (2d) για την τεκμηρίωση των κτηματολογικών εγγραφών με συνέπεια να μην μπορεί να απεικονίσει σύνθετες κτηματολογικές εγγραφές. Η δημιουργία σύνθετων υπόγειων και υπέργειων κατασκευών, δικτύων υποδομής, η εντατικοποίηση των χρήσεων γης, η πολυεπίπεδη κατανομή ιδιοκτησιακών και άλλων εμπράγματων δικαιωμάτων από διαφορετικούς δικαιούχους, δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν από τα υπάρχοντα κτηματολογικά συστήματα που στηρίζονται στην δισδιάστατη απεικόνιση. Προκειμένου να αποδοθεί αποτελεσματικά η σύνθετη γεωμετρία των κατασκευών με την πληθώρα δικαιωμάτων και χρήσεων γης που μπορεί πολλές να αλληλεπικαλύπτονται, η δισδιάστατη απεικόνιση δεν αρκεί. Ακόμα οι περιπτώσεις του εθιμικού δικαίου δεν μπορούν να αποδοθούν αποτελεσματικά με τα υπάρχοντα κτηματολόγια.

Σημαντική είναι η εξέλιξη των κτηματολογικών συστημάτων και η ανάπτυξη 3d κτηματολογίου. Το 3D Κτηματολόγιο είναι ένα σύστημα πληροφοριών γης που καταγράφει και απεικονίζει τα δικαιώματα και τους περιορισμούς πάνω στα ακίνητα με βάση το μοναδιαίο τρισδιάστατο χώρο όπου ασκούνται (Δημοπούλου,2015). Σε ένα 3d

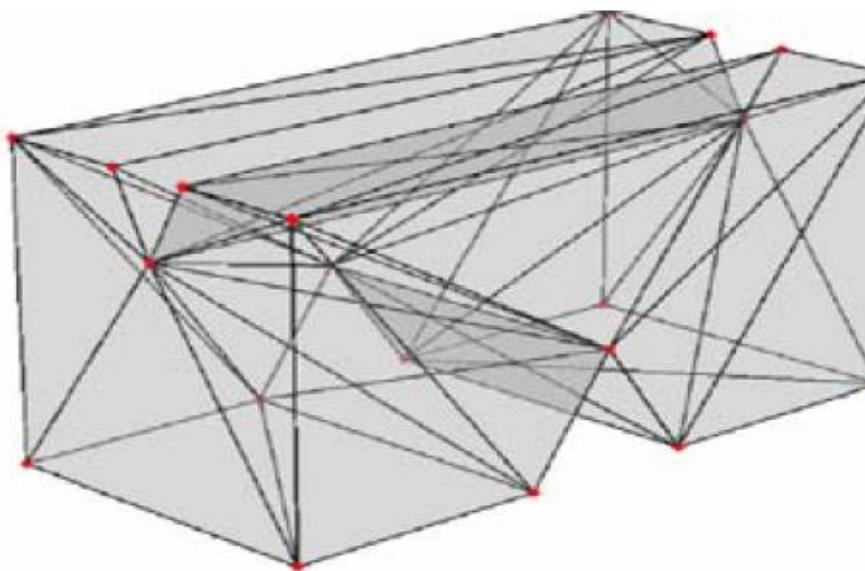
κτηματολόγιο καταγράφονται τα εμπράγματα δικαιώματα και οι περιορισμοί που αναπτύσσονται στο ανθρωπογενές περιβάλλον. Ακόμα και οι μη συμβατικές περιπτώσεις του δομημένου περιβάλλοντος μπορούν να καταγραφούν και να απεικονιστούν, καθιστώντας το κτηματολόγιο ένα εργαλείο για τη βέλτιστη αξιοποίηση του χώρου.

Διάφορα μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την καταγραφή, επεξεργασία και αποθήκευση κτηματολογικών πληροφοριών. Τα μοντέλα αυτά, μπορεί να στηριχθούν σε διάφορα πρότυπα για τη δημιουργία τους και καθορίζεται από τους διαχειριστές των συστημάτων. Βασικό ζήτημα στην ανάπτυξη 3d κτηματολογίων, είναι το είδος των χωρικών πληροφοριών που θα χρησιμοποιηθούν για την καταγραφή του τρισδιάστατου χώρου και τα οφέλη που θα έχουν οι χρήστες από τη χρήση των πληροφοριών σε διάφορες εφαρμογές. (πχ οι πολεοδομικές υπηρεσίες, το κτηματολόγιο, οι δήμοι) .

Παρακάτω παρουσιάζονται τρόποι με τους οποίους μπορεί να οριστεί ένα 3d αντικείμενο ή ένα γεωτεμάχιο, το οποίο μπορεί να παρέχει δικαιοδοσίες με επιλογές για να εξελιχθεί σε ένα 3d κτηματολόγιο βασισμένο σε μεμονωμένες συνθήκες όπως νομικές απαιτήσεις, η υπάρχουσα δομή και ο σκοπός της χρήσης. Επίσης γίνεται αναφορά για την επικύρωση που είναι η διαδικασία αναζήτησης πιθανών σφαλμάτων στα δεδομένα μέσω προκαθορισμένων κανόνων πριν τα δεδομένα εισαχθούν και επεξεργαστούν στο σύστημα.

Αντικείμενα κατασκευασμένα από τετράεδρα

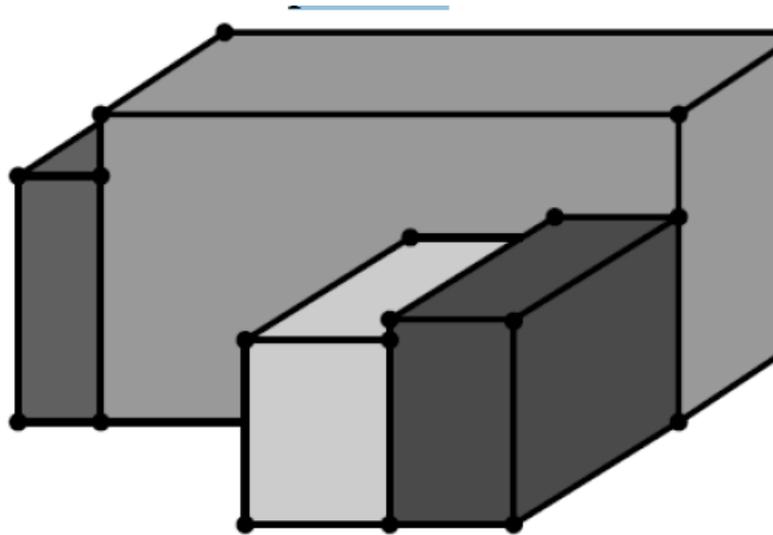
Η μέθοδος δημιουργίας 3d αντικειμένων χρησιμοποιώντας τετράεδρα έχει εφαρμοστεί στο 3d GIS και έχει μελετηθεί διεξοδικά από τους Penninga et al (2006) και Rahman and Pilouk (2007). Για τη δημιουργία ενός 3d κτηματολογίου χρησιμοποιούνται οι ίδιες αρχές, χρησιμοποιώντας τετράεδρα. Η επικύρωση πρέπει να εξασφαλίζει ότι κάθε τετράεδρο είναι ομαλό. Ακόμα τα τετράεδρα δεν πρέπει να αλληλεπικαλύπτονται και κάθε αντικείμενο πρέπει να είναι σαφώς ορισμένο από τα τετράεδρα από τα οποία αποτελείται. Οι σύνθετες εξωτερικές όψεις πρέπει να είναι επίπεδες και δεν πρέπει να υπάρχουν κενά ανάμεσα στα τετράεδρα που συνθέτουν ένα αντικείμενο.



Εικόνα 28 : Ένα αντικείμενο που δημιουργήθηκε χρησιμοποιώντας τετράεδρα (Πηγή : Ledoux 2009)

Αντικείμενα κατασκευασμένα από πιο απλά στερεά

Η μέθοδος σύνθεσης στερεών για τη δημιουργία ενός 3d τετραγώνου εφαρμόζεται για την αναπαράσταση ενός αντικείμενου σε χαμηλό επίπεδο λεπτομέρειας ή για 3d μοντελοποίηση πόλεων σε επίπεδο LoD1 του CityGML. Η ίδια μεθοδολογία μπορεί να εφαρμοστεί για τη δημιουργία 3d κτηματολογικών τεμαχίων.

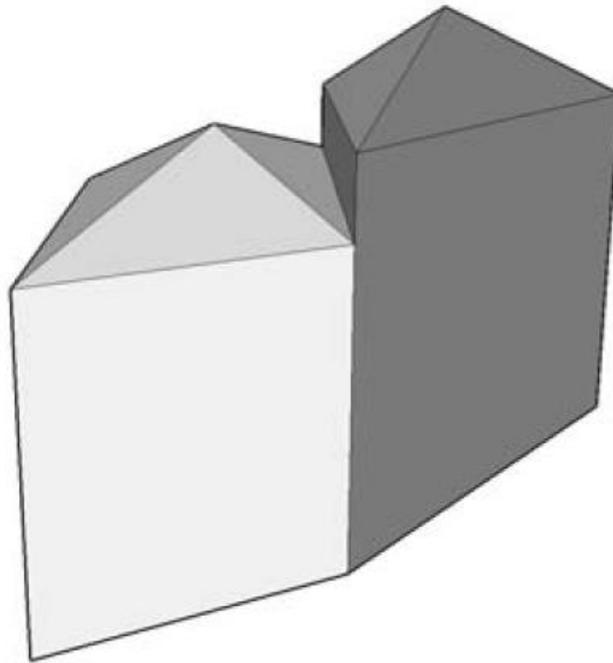


Εικόνα 29: Στερεά που δημιουργούνται από πιο απλά στερεά (Πηγή : Ledoux 2009)

Το πλεονέκτημα των απλούστερων στερεών που παράγονται είναι η απλή επικύρωση των περιορισμών και οι γρήγορες απαντήσεις σε ερωτήματα εμβαδού και όγκου. Περίπλοκα σχήματα μπορούν να δημιουργηθούν με την προσθήκη όγκων στα αντικείμενα ή την αφαίρεση όγκων από τα αντικείμενα, καθιστώντας τη μέθοδο αυτή ιδανική όταν υπάρχουν περιορισμοί στα ύψη. Όταν δημιουργούνται σύνθετες μορφές όγκων με την αφαίρεση επιφάνειας από τα αντικείμενα, πρέπει να διασφαλιστεί ότι οι επιφάνειες είναι ομοεπίπεδες. Κενά ή τομές μπορεί να προκύψουν μετά την προσθήκη ή την αφαίρεση όγκων όπως και σε συνεχόμενα αγροτεμάχια, με συνέπεια να είναι απαραίτητος ο έλεγχος τους.

Κανονικά Πολύτοπα

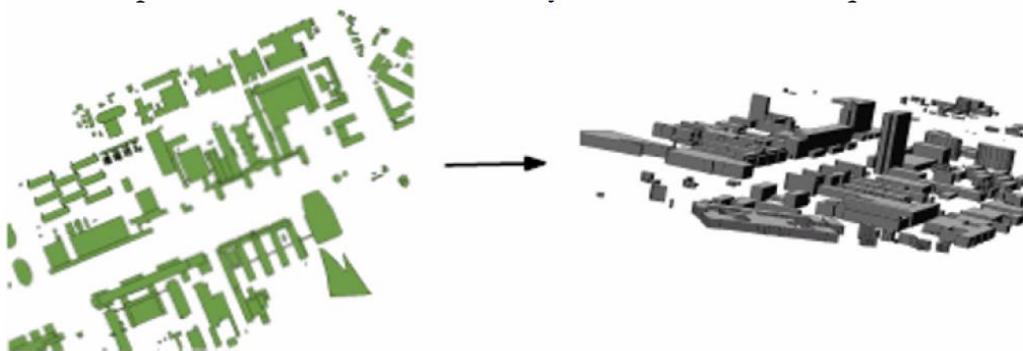
Ένα συγκεκριμένο παράδειγμα κατασκευής αντικειμένων από στερεά είναι τα “Regular Polytope” ή Κανονικά Πολύτοπα (Thompson and Van Oosterom 2007). Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί σαν απλό στερεό μια καμπύλη περιοχή του χώρου, που ορίζεται ως η διασταύρωση των υποχώρων. Κάθε κανονικό πολύτοπο ορίζεται ως η ένωση οποιουδήποτε αριθμού καμπύλων περιοχών (Εικόνα 30). Χαρακτηριστικό της μεθόδου αυτής είναι ότι ο συνδυασμός των υποχώρων και των καμπύλων περιοχών είναι έγκυρος, απλοποιώντας τη διαδικασία της επικύρωσης. Η θέση και το μέγεθος των αντικειμένων αναγκαίο είναι να είναι λογικές και να εφαρμόζονται οι περιορισμοί συνέχειας των αντικειμένων.



Εικόνα 30 : Παράδειγμα κανονικού πολύτοπου (Πηγή : Ledoux 2009)

Αντικείμενα που κατασκευάζονται μέσω της εξώθησης

Η τεχνική της εξώθησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία 3d αντικειμένων σε πολλά λογισμικά. Είναι μια πολύ χρήσιμη πρακτική 3d μοντελοποίησης στην οποία μεταβλητές όπως τα μεμονωμένα ύψη κτιρίων, σταθερά ύψη για τη δημιουργία αντικειμένων ίδιου ύψους και το επίπεδο του εδάφους μπορούν να συμπεριληφθούν για τη δημιουργία του 3d μοντέλου. Είναι μια μέθοδος δημιουργίας 3d κτηματολογικών μοντέλων σε περιπτώσεις που δεν είναι πολύ περίπλοκες, όπου δεν είναι αναγκαία η αναλυτική περιγραφή των εγκαταστάσεων. Η μέθοδος της εξώθησης είναι σχετικά απλή στη δημιουργία λογισμικού, ωστόσο επειδή τα πολύεδρα που δημιουργούνται δεν είναι τοπολογικά κωδικοποιημένα οι έλεγχοι περιορίζονται σε 2d επίπεδο και η εξαγωγή 3d δεδομένων δεν είναι εφικτή άμα δεν δημιουργηθεί μια στήλη με υψομετρικό πεδίο. Είναι μια απλή μέθοδος οπτικοποίησης κτηματολογικών δεδομένων, η επικύρωση όμως περιορίζεται στη γεωμετρία των 2d γεωτεμαχίων και τα υψομετρικά χαρακτηριστικά των εξωθημένων αντικειμένων. Τέλος είναι δύσκολη η ενσωμάτωση 3d όγκων με 3d επίπεδα.



Εικόνα 31 : Μοντελοποίηση πόλεων με τη μέθοδο της εξώθησης (Πηγή: (Ledoux 2009))

3.10 Διεθνή πρότυπα που έχουν αναπτυχθεί

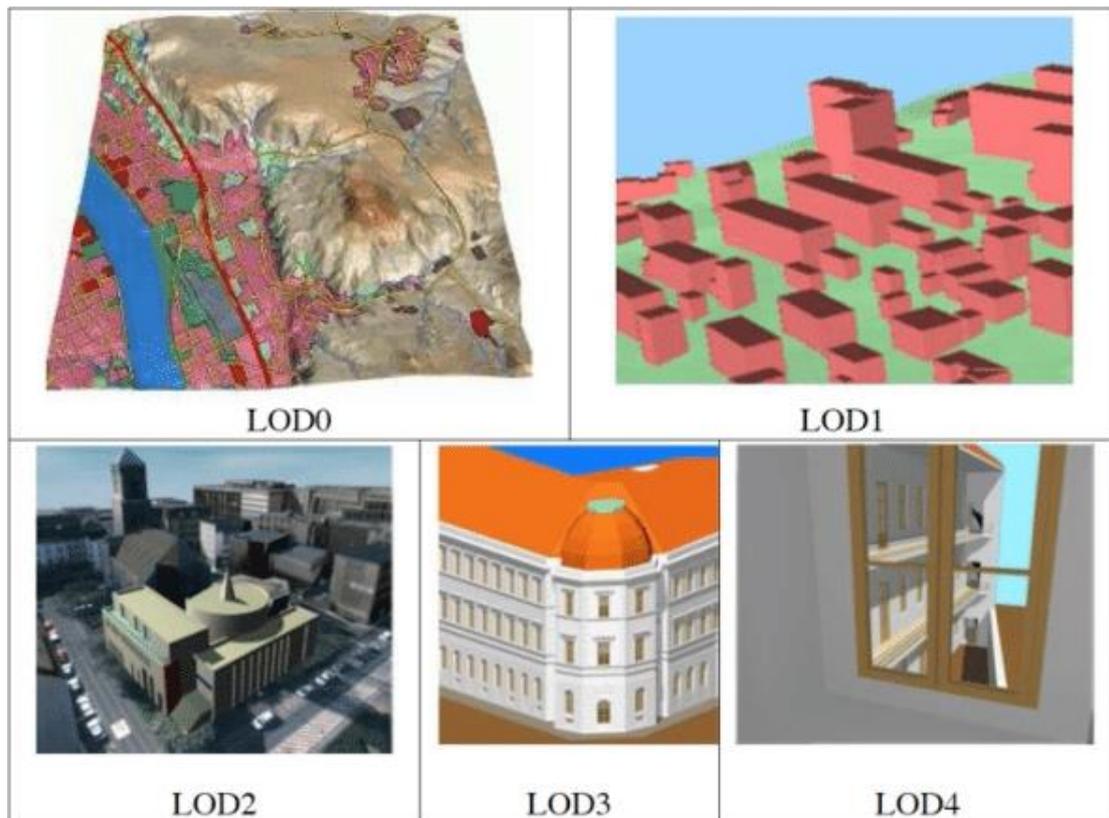
Ένας σημαντικός στόχος που έχει αναπτυχθεί από την επιστημονική κοινότητα είναι η ανάπτυξη συστημάτων για την προτυποποίηση των μοντέλων, για την ευκολότερη αποθήκευση και ανταλλαγή πληροφοριών των μοντέλων. Η δημιουργία των προτύπων παρέχει ένα κοινό πλαίσιο αναπαράστασης και ανταλλαγής χωρικής πληροφορίας και η διαχείριση των δομών ενός μοντέλου είναι ευκολότερη. Στο πλαίσιο αυτό, παρουσιάζονται πρότυπα που έχουν αναπτυχθεί όπως είναι το CityGML, το IndoorGML, το IFC και το LADM.

3.10.1 CityGML

Το CityGML είναι ένα πρότυπο για την αποθήκευση και την ανταλλαγή πληροφοριών μοντέλων πόλεων, το οποίο μας δίνει τη δυνατότητα αποθήκευσης γεωμετρικής, τοπολογικής και σημασιολογικής πληροφορίας μοντέλων πόλεων. Η πρώτη έκδοση του CityGML κυκλοφόρησε το 2008, η δεύτερη (CityGML 2.0.0) το 2011, ενώ η τρίτη έκδοση (CityGML 3.0) αναμένεται να κυκλοφορήσει το 2019. Το μοντέλο δεδομένων του CityGML έχει εφαρμοστεί σε γλώσσα Geography Markup Language 3 (GML3), του οργανισμού Open Geospatial Consortium (OGC) και βασίζεται σε ISO TC211.

Το CityGML υποστηρίζει 5 διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας – Levels of Detail (LoD). Ένα αντικείμενο, μπορεί να απεικονίζεται σε διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας την ίδια στιγμή, συντελώντας στην καλύτερη οπτικοποίηση του αντικειμένου και διευκολύνοντας την διαδικασία ανάλυσης. Επιπλέον δεδομένα για το ίδιο αντικείμενο από διαφορετικές πηγές δεδομένων, αποθηκευμένα στο πρότυπο του CityGML , μπορούν να ενσωματωθούν σε κοινό πρότυπο. Δεδομένα σε διαφορετικά LOD για το ίδιο αντικείμενο επίσης, μπορούν να συνδυαστούν και να ενσωματωθούν.

Τα επίπεδα λεπτομέρειας του CityGML είναι 5, ξεκινώντας από LoD0 και φτάνοντας σε LoD4 όπως φαίνεται στην εικόνα 32, τα οποία συνδυάζουν χωρική και σημασιολογική πληροφορία. Το LoD0 είναι ένα χωρικό μοντέλο, σε αντίθεση με το LoD4 που είναι ένα λεπτομερές μοντέλο το οποίο περιέχει εσωτερικά χαρακτηριστικά των κτιρίων. Το LoD0 είναι ένα 2,5D μοντέλο εδάφους, στο οποίο μπορεί να ενσωματωθεί ένας χάρτης ή μια αεροφωτογραφία. Τα αντικείμενα που μπορεί να απεικονίσει είναι αποκλειστικά επιφανειακά. Το LoD1 είναι ένα μοντέλο τύπου block. Τα κτίρια στο μοντέλο αυτό δεν έχουν υφή και οροφές. Από την άλλη, τα μοντέλα σε επίπεδο λεπτομέρειας LoD2, έχουν υφή και οροφές. Το LoD3, είναι ένα λεπτομερές αρχιτεκτονικό μοντέλο το οποίο έχει μπαλκόνια, εσοχές, προεξοχές, τοίχους και στέγες. Το LoD4, που είναι το ανώτερο επίπεδο λεπτομέρειας, δημιουργείται προσθέτοντας στοιχεία όπως δωμάτια, εσωτερικές πόρτες, παράθυρα, έπιπλα στο μοντέλο επιπέδου LoD3.



Εικόνα 32 : Τα 5 επίπεδα λεπτομέρειας του CityGML (Πηγή : www.researchgate.net)

Το κάθε επίπεδο λεπτομέρειας έχει διαφορετική ακρίβεια σε σχέση με το άλλο και τα αντικείμενα, συγκεκριμένες διαστάσεις για να διακρίνονται. Στο LoD1 η οριζοντιογραφική και υψομετρική ακρίβεια είναι 4 m ενώ τα αντικείμενα πρέπει να έχουν διαστάσεις 6m X 6m για να είναι εμφανή. Στο LoD2 διαφέρει η οριζοντιογραφική από την υψομετρική ακρίβεια. Η οριζοντιογραφική ακρίβεια είναι 2m ενώ η υψομετρική είναι 1 m και οι διαστάσεις των αντικειμένων για να είναι εμφανή είναι 4m X 4m. Και οι δύο ακρίβειες σε LoD3 είναι 0,5m ενώ το ελάχιστο ίχνος των αντικειμένων είναι 2m X 2m. Τέλος στο ανώτερο επίπεδο LoD4, η οριζοντιογραφική και υψομετρική ακρίβεια είναι 0,2m ή καλύτερη.

Η ένταξη ενός 3D μοντέλου σε ένα από τα 5 επίπεδα λεπτομέρειας, είναι ένα μέτρο αξιολόγησης της ακρίβειας του. Έτσι όσα μοντέλα είναι ενταγμένα σε LoD, μπορούν να συγκριθούν μεταξύ τους, γεγονός που διευκολύνει τη διαδικασία της αξιολόγησης των μοντέλων. Τα επίπεδα στο CityGML παρουσιάζουν μια συγκεκριμένη ανάλυση των πραγματικών αντικειμένων τα οποία αφορούν σε μία δεδομένη εφαρμογή. (Δημοπούλου,2015). Τέλος τα LoD στο CityGML, έχουν ως σκοπό τους την ακρίβεια των αντικειμένων, αφού διαφορετικές εφαρμογές απαιτούν διαφορετικές ακρίβειες, άρα και διαφορετικά LoD.

3.10.2 IndoorGML

Το IndoorGML είναι ένα πρότυπο του οργανισμού OGC, για ένα ανοιχτό μοντέλο δεδομένων, σε XML δομή που αποθηκεύει χωρική πληροφορία για εσωτερικούς χώρους. Στόχος της δημιουργίας του προτύπου, είναι να παρέχει ένα κοινό πλαίσιο αναπαράστασης και ανταλλαγής χωρικής πληροφορίας εσωτερικών χώρων. Με το IndoorGML απεικονίζονται, αποθηκεύονται και διαχειριζόμαστε τις δομές του εσωτερικού περιβάλλοντος σε μορφή διαγράμματος, καθώς γεωμετρία με σημασιολογική πληροφορία. Ακόμα το IndoorGML δεν είναι στενά συνδεδεμένο με κάποιο σημασιολογικό μοντέλο, όπως το BIM, αλλά χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με αυτά.

Ο εσωτερικός χώρος σε σχέση με τον εξωτερικό χώρο, διαφέρουν σε πολλούς τομείς. Οι απαιτήσεις του κάθε χώρου είναι διαφορετικές, για αυτό οι προδιαγραφές των χωρικών πληροφοριών θα πρέπει να αναθεωρηθούν για να συναντήσουν τις απαιτήσεις του εσωτερικού χώρου. Οι απαιτήσεις των χωρικών πληροφοριών του εσωτερικού χώρου εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το είδος της εφαρμογής που μας έχει ανατεθεί. Οι εφαρμογές χωρικού ενδιαφέροντος για εσωτερικούς χώρους, χωρίζονται σε δύο κατηγορίες

1. Τη διαχείριση των μερών ενός κτιρίου και των εσωτερικών εγκαταστάσεων του
2. Τη χρήση των εσωτερικών χώρων

Η πρώτη κατηγορία εστιάζει στην κατασκευή ενός κτιρίου και τη διαχείριση του σε όλο τον κύκλο ζωής του. Δηλαδή σε στοιχεία όπως οι τοίχοι και οι οροφές, σε αντίθεση με τη δεύτερη κατηγορία που επικεντρώνεται στον εντοπισμό και τη χρήση των στοιχείων αυτών του εσωτερικού χώρου. Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι υπηρεσίες όπως η εσωτερική πλοήγηση, υπηρεσίες βασισμένες στην τοποθεσία και οι υπηρεσίες τοποθέτησης ετικέτας. Η πρώτη έκδοση του IndoorGML είναι βασισμένη στις απαιτήσεις της εσωτερικής πλοήγησης λόγω της ισχυρής προτυποποίησης του εσωτερικού χώρου.

Στόχος δημιουργίας του προτύπου είναι ο ορισμός ενός πλαισίου χωρικών πληροφοριών που θα έχει τη δυνατότητα να εντοπίζει κινούμενα ή σταθερά αντικείμενα του εσωτερικού χώρου και θα προσφέρει χωρικές πληροφορίες σχετικά με τη θέση τους. Το IndoorGML είναι σχεδιασμένο να προσφέρει τις παρακάτω δυνατότητες :

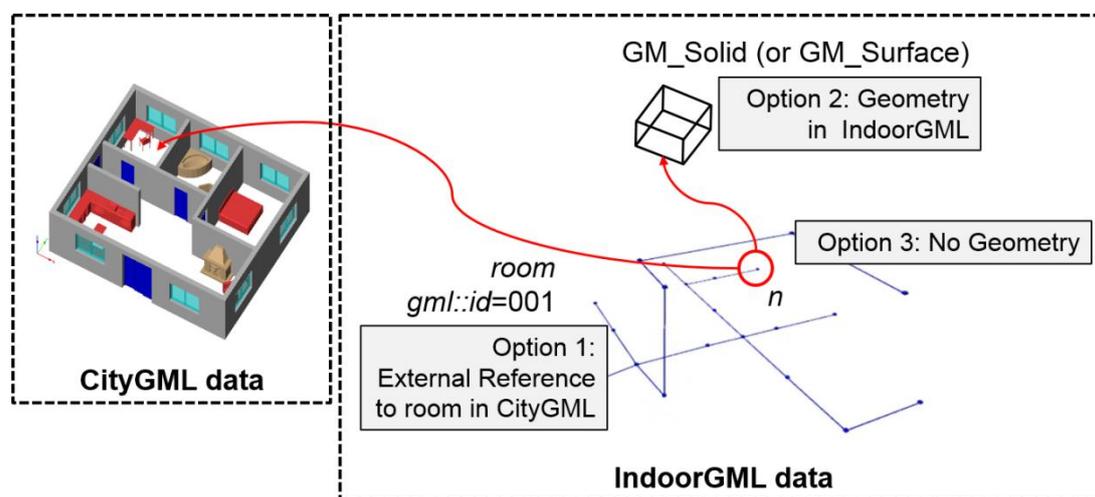
1. Να αναπαριστά ιδιότητες του εσωτερικού χώρου
2. Να προσφέρει χωρικές αναφορές σε χαρακτηριστικά του εσωτερικού χώρου

Η δόμηση του εσωτερικού χώρου είναι περίπλοκη γιατί αποτελείται από ορισμένους περιορισμούς όπως διάδρομοι, σκάλες, πόρτες κλπ. Η μοντελοποίηση και προτυποποίηση των χωρικών πληροφοριών του εσωτερικού χώρου, εξαιτίας των περιορισμών αυτών που παρουσιάζει, δημιουργεί την ανάγκη σωστής αναπαράστασης των περιορισμών αυτών. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικές γενικές ιδέες του IndoorGML :

Κυτταρικός Χώρος : ο εσωτερικός χώρος σαν μια σειρά από κύτταρα, τα οποία έχουν οριστεί ως την πιο μικρή οργανωτική ή δομική μορφή του εσωτερικού χώρου. (Wordnet, Princeton University, 2010) Κάθε κυτταρική δομή έχει κάποιες ιδιότητες. Κάθε κύτταρο έχει κάποιο αναγνωριστικό, όπως ένας αριθμός, έχει κοινά όρια με άλλα κύτταρα αλλά δεν πρέπει να αλληλεπικαλύπτεται με κάποιο άλλο κύτταρο και η θέση του μπορεί να οριστεί από συντεταγμένες (x,y,z) για περισσότερη ακρίβεια.

Σημασιολογική αναπαράσταση : Η σημασιολογία στο CityGML είναι πολύ σημαντική γιατί χρησιμοποιείται για την κατηγοριοποίηση, τον προσδιορισμό των κυττάρων και για τη σύνδεση των κυττάρων. Για την πλοήγηση τα κύτταρα με σημασιολογική πληροφορία είναι πολύ σημαντικά. Η κατηγοριοποίηση του χώρου που γίνεται είναι σε πλοηγήσιμα και μη κύτταρα. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα δωμάτια, οι πόρτες, οι διάδρομοι ενώ στη δεύτερη οι τοίχοι και τα εμπόδια.

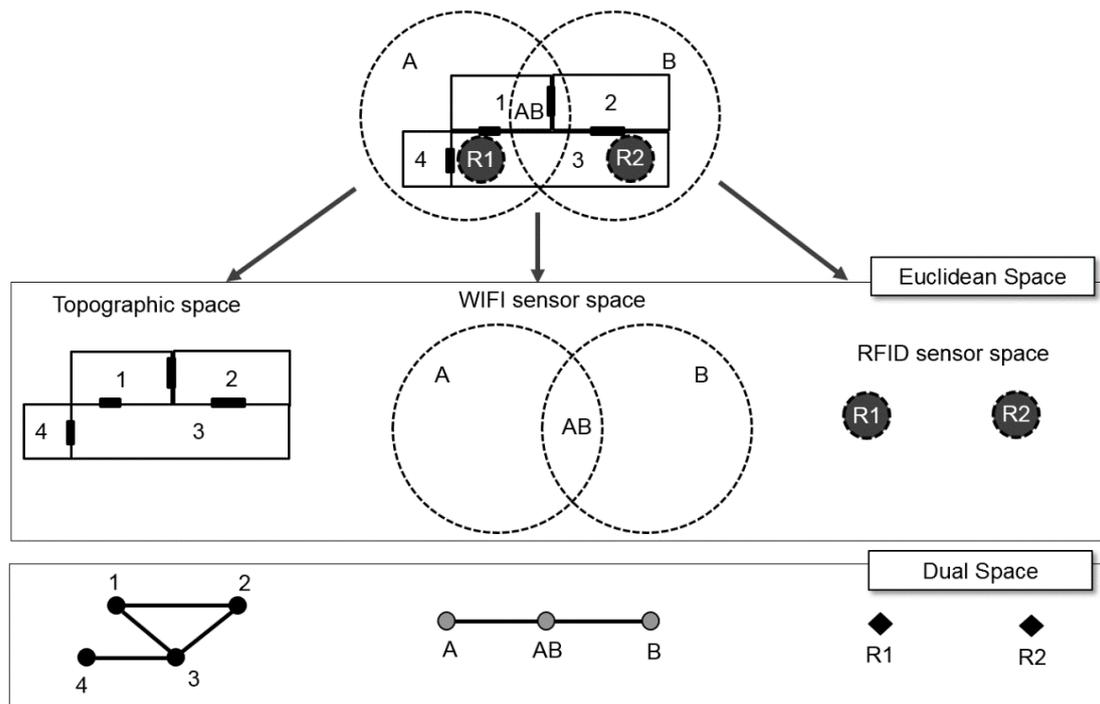
Γεωμετρική αναπαράσταση : Η γεωμετρική αναπαράσταση 2D και 3D αντικειμένων δεν είναι στο επίκεντρο του IndoorGML. Προαιρετικά η γεωμετρία των αντικειμένων, μπορεί να οριστεί με 3 τρόπους, όπως φαίνεται στην Εικόνα 33. Ο πρώτος τρόπος είναι με παραπομπή που περιέχει σύνδεσμο όπου ορίζεται η γεωμετρία του αντικειμένου σε κάποιο άλλο πρότυπο, όπως το CityGML. Ο δεύτερος τρόπος είναι να υπάρχει στα αρχεία του IndoorGML γεωμετρική αναπαράσταση του κυττάρου και ο τρίτος τρόπος είναι να μην υπάρχει καθόλου γεωμετρία.



Εικόνα 33 : Αναπαράσταση της γεωμετρίας στο IndoorGML (Πηγή : <http://www.indoorgml.net>)

Τοπολογική Αναπαράσταση : Η τοπολογία είναι βασικό στοιχείο της κυτταρικής δομής και κατ επέκταση του IndoorGML. Το γράφημα Node-Relation Graph (NRG), απεικονίζει τοπολογικές σχέσεις ανάμεσα σε 3D αντικείμενα σε εσωτερικό περιβάλλον, όπως για παράδειγμα τα δωμάτια σε ένα κτίριο. Αντιπροσωπεύει γειτνίαση και σχέσεις συνδεσιμότητας, χωρίς γεωμετρικές ιδιότητες.

Πολυστρωματική Απεικόνιση : Ένας χώρος στο CityGML, μπορεί να αντιπροσωπεύεται από διαφορετικά επίπεδα απεικόνισης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 34.

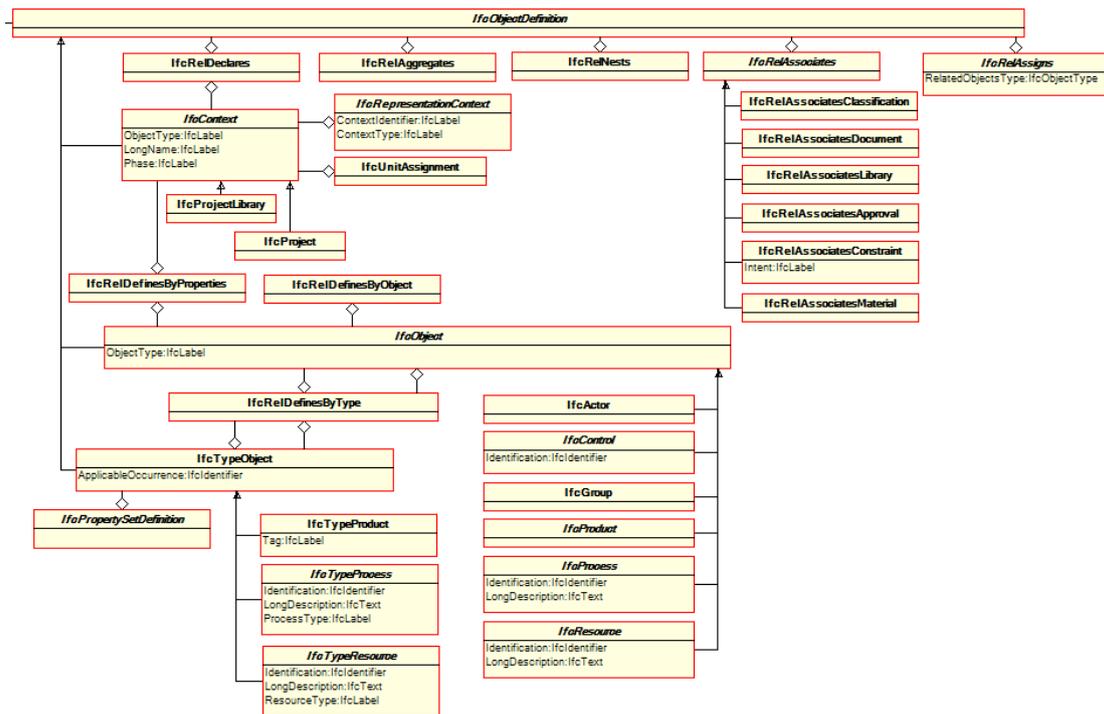


Εικόνα 34 : Πολυστρωματική απεικόνιση στο IndoorGML (Πηγή : <http://www.indoorgml.net>)

3.10.3 Industry Foundation Classes (IFC)

Το Industry Foundation Classes (IFC) είναι ένα πρότυπο ISO, το οποίο έχει αναπτυχθεί από την International Alliance for Interoperability (IAI), με σκοπό να διασφαλίσει διαλειτουργικότητα στον τομέα της αρχιτεκτονικής, μηχανικής, κατασκευής (AEC). Το IFC συνήθως χρησιμοποιείται μαζί με τη χρήση μοντελοποίησης με τη μέθοδο BIM και είναι ένα πρότυπο για openBIM. Ένα IFC μοντέλο αναπαριστά μέσω ειδικών διαγραμμάτων κλάσεων, τα χωρικά αντικείμενα καθώς και τις σχέσεις τους. Το IFC ορίζει δομικά στοιχεία (δοκοί, τοίχοι) που αντιπροσωπεύουν τμήματα κτιρίων ή και ολόκληρα κτίρια και τις χωρικές τους σχέσεις προσφέροντας ένα λεπτομερές σημασιολογικό μοντέλο. Ακόμα προσφέρει τρισδιάστατη αναπαράσταση των κτιρίων αυτών. Διάφορες εφαρμογές χρησιμοποιούν το IFC για μοντελοποίηση κτιρίων και για ανταλλαγή πληροφοριών για μέρη του κτιρίου.

Ένα schema IFC είναι ένα διάγραμμα οντοτήτων συσχετίσεων, το οποίο περιέχει πολλές οντότητες δομημένες ιεραρχικά και μια περιγραφή του διαγράμματος οντοτήτων συσχετίσεων, με ορισμένους περιορισμούς που μας επιτρέπει τη δημιουργία εκτελέσιμων κωδικών. Οι κώδικες αυτοί χρησιμοποιούνται όταν ανταλλάσσονται πληροφορίες μεταξύ των διάφορων εφαρμογών. Ένα schema IFC αποτελείται από τρία βασικά στοιχεία : Entities, Attributes, Properties.



Εικόνα 35 : Ένα IFC schema (Πηγή : <http://www.buildingsmart-tech.org>)

Η γεωμετρία του IFC ορίζεται ως ένα πλέγμα τριγώνων. Εάν μια κατασκευή χρειάζεται να δομηθεί με συγκεκριμένες διαστάσεις όπως στα κατασκευαστικά σχέδια, το IFC παρέχει οικοδομικά τετράγωνα καθώς και γενικούς ορισμούς μοντελοποίησης στερεών με προέλευση από κατασκευαστικά λογισμικά. Κάθε τυχαία καμπυλωτή επιφάνεια μπορεί να οριστεί χρησιμοποιώντας Non-Uniform Rational B-Spline Surfaces (NURBS), Constructive Solid Modeling (CSG) και παραμετρικούς ορισμούς για την περιγραφή δομικών στοιχείων όπως τοίχοι, κολώνες, δοκοί.

Το IFC επικεντρώνεται στην απεικόνιση των κτιρίων που σχεδιάζονται και κατασκευάζονται, ωστόσο στην αρμοδιότητα του συμπεριλαμβάνονται και οι πληροφορίες σχετικά με τη διαχείριση του κτιρίου όπως το κόστος, τα χρονικά προγράμματα, οι αρμοδιότητες της δουλειάς. Η λογική του IAI περιλαμβάνει τον ολοκληρωμένο σχεδιασμό, κατασκευή και λειτουργία ενός κτιρίου σε όλη τη διάρκεια ζωής του και κατακερματισμό πληροφοριών με κανόνες.

3.10.4 Land Administration Domain Model (LADM)

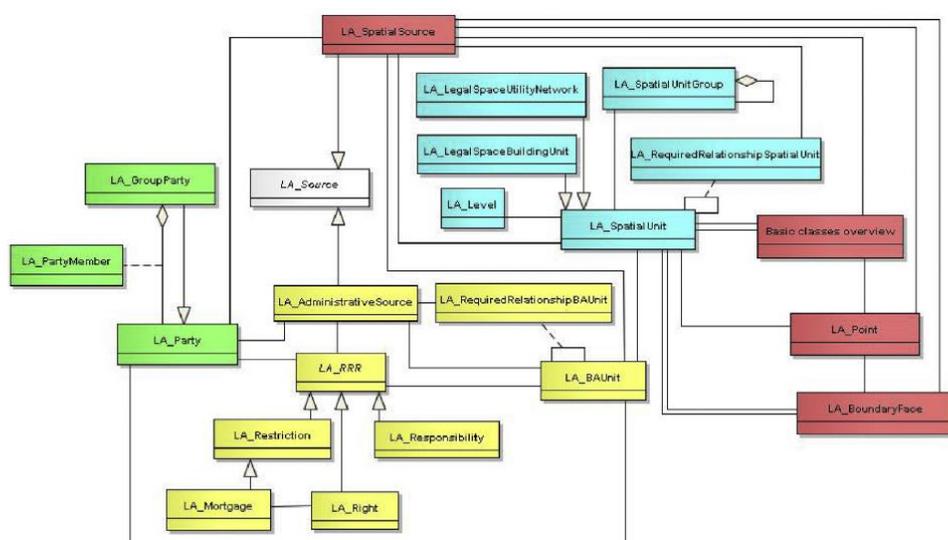
Διεθνώς, η ζήτηση για ένα κοινώς αποδεκτό πρότυπο για τη διαχείριση της γης ξεκίνησε στις αρχές του 2000, εξαιτίας της ανάγκης για ενσωμάτωση των κοινωνικών αναγκών στις πολιτικές γης αλλά και των τεχνολογικών δυνατοτήτων. Το μοντέλο δεδομένων είναι αναγκαίο να λειτουργεί ως ο πυρήνας κάθε κτηματολογικού συστήματος. Το πρότυπο αυτό να είναι ευέλικτο, να έχει ευρεία εφαρμογών και να λειτουργεί σαν μια βάση συλλογής

διεθνούς γνώσης στο θέμα αυτό. Το LADM έχει χαρακτηριστεί ως διεθνές πρότυπο από το Διεθνή Οργανισμό Προτύπων (ISO) με ISOTC211.

Η ανάπτυξη του LADM έχει γίνει με βάση τις ανάγκες των χρηστών για κοινές οντότητες, επιτρέποντας αποτελεσματική επικοινωνία μεταξύ των εμπλεκόμενων ανθρώπων. Βασίζεται σε Αρχιτεκτονική Βάσει Μοντέλου (Model Driven Architecture) και επιτρέπει την επικοινωνία των εμπλεκόμενων φορέων τόσο μέσα σε μια χώρα όσο και μεταξύ διαφορετικών χωρών βάσει κοινού λεξιλογίου. Το πρότυπο του LADM πρέπει να είναι όσο πιο απλό γίνεται, για να είναι χρήσιμο στην πράξη και προσαρμόσιμο στις εκάστοτε περιπτώσεις. Ακόμα η τεχνολογία που χρησιμοποιεί, πρέπει να είναι ευέλικτη για να συναντήσει τις μελλοντικές ανάγκες του συστήματος για ανάπτυξη και αλλαγή. Το πρότυπο του LADM επικεντρώνεται στη διαχείριση των δικαιωμάτων, των περιορισμών και των υποχρεώσεων (Rights, Restrictions and Responsibilities, RRRs) που αφορούν τη γη, καθώς τα γεωμετρικά (γεωχωρικά) χαρακτηριστικά τους.

Το LADM είναι ένα εννοιολογικό μοντέλο, γραμμένο σε γλώσσα UML και είναι βασισμένο σε 4 βασικές οντότητες/κλάσεις, όπως φαίνεται στην εικόνα 35. Οι κλάσεις αυτές είναι :

1. Class LA_Party, με τα συμβαλλόμενα μέρη
2. Class LA_RRR, με τα δικαιώματα, τους περιορισμούς και τις υποχρεώσεις
3. Class LA_BAUnit, με τις βασικές διοικητικές μονάδες
4. Class LA_SpatialUnit, με τις χωρικές μονάδες.



Εικόνα 36 : Διάγραμμα UML και κλάσεις του LADM (Πηγή : Peter van Oosterom,2014)

Το LADM είναι οργανωμένο σε κάποιες βασικές κλάσεις, όπως έχουμε ήδη αναφέρει. Για τη δημιουργία του μοντέλου το πιο πιθανό είναι ότι θα δημιουργηθούν και άλλες κλάσεις. Εκτός από της δυνατότητας να αναπαραστή και να αποθηκεύει το μοντέλο σε περιεκτικά μέρη, ένα άλλο πλεονέκτημα της χρήσης κλάσεων είναι ότι μας δίνεται η δυνατότητα ανάπτυξης και διατήρησης των κλάσεων ανεξάρτητα το ένα από το άλλο.

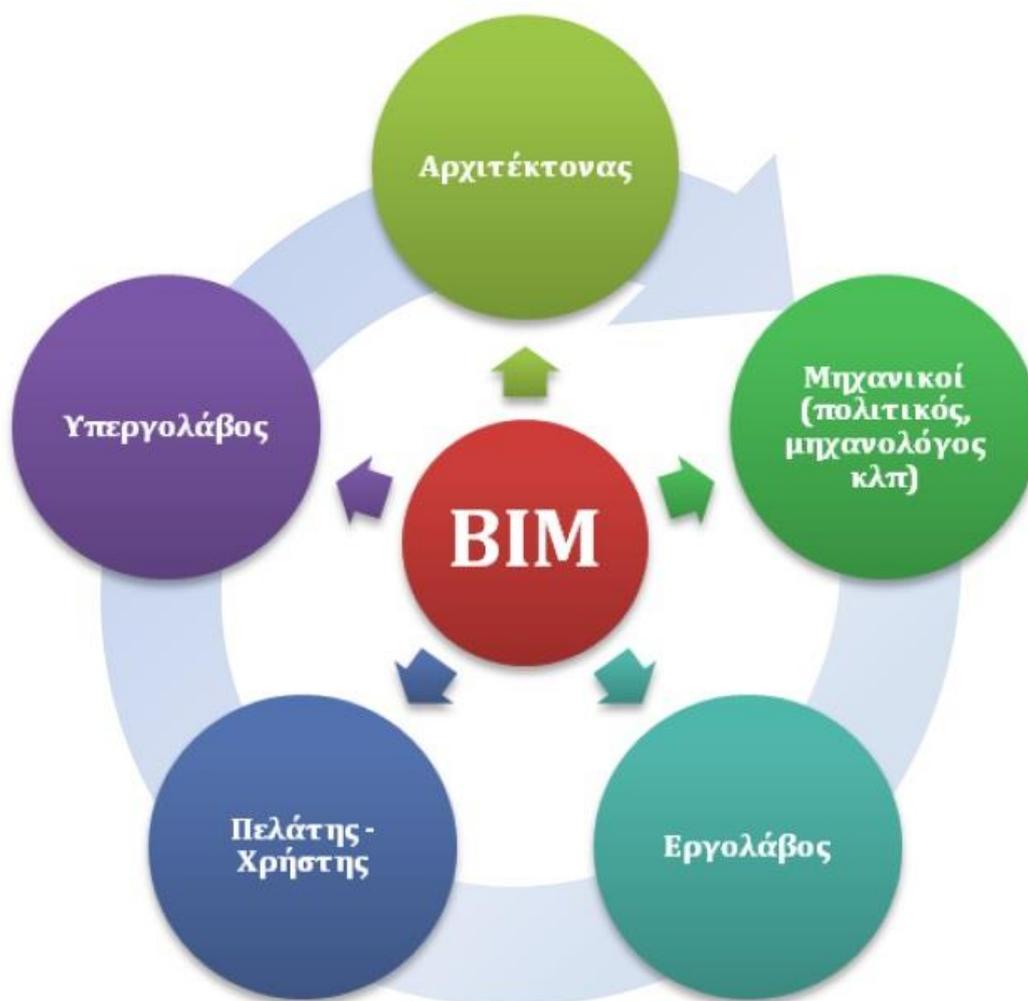
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ BIM

4.1 Ορισμοί BIM

Για την καλύτερη κατανόηση της έννοιας της μοντελοποίησης με χρήση της τεχνολογίας BIM, αναγκαίο είναι να εκθέσουμε κάποιους ορισμούς που έχουν δοθεί για την έννοια αυτή. Συχνά η έννοια της μοντελοποίησης της κτιριακής πληροφορίας συναντάται με τον αγγλικό όρο BIM (Building Information Model). Για τον όρο BIM δεν υπάρχει κάποιος κοινά αποδεκτός ορισμός από τον κατασκευαστικό κλάδο και κατά καιρούς έχουν δοθεί διάφοροι ορισμοί για τον όρο BIM. Οι ορισμοί αυτοί έχουν διατυπωθεί από ειδικούς που έχουν ασχοληθεί με το BIM και από οργανισμούς, σύμφωνα με τον τρόπο που έχουν ασχοληθεί με την τεχνολογία BIM.

- BIM προσομοιάζει την κατασκευαστική μελέτη σε ψηφιακό περιβάλλον. Με την τεχνολογία BIM ένα ακριβές εικονικό μοντέλο του κτιρίου, γνωστό ως Μοντέλο Κτιριακής Πληροφορίας, δημιουργείται ψηφιακά. Όταν ολοκληρωθεί το πληροφοριακό μοντέλο, περιέχει ακριβή γεωμετρία και συναφή δεδομένα που μπορούν να υποστηρίξουν το σχεδιασμό, τις προμήθειες, τις κατασκευαστικές δραστηριότητες για να αντιληφθούμε το κτίριο. (Eastman et al. 2008)
- BIM διαχειρίζεται και χρησιμοποιεί συνολικά πληροφορίες σε όλα τα βήματα του κύκλου ζωής μιας κατασκευής, από το σχεδιασμό μέχρι το τέλος της κατασκευής, ανταλλάσσοντας και μοιράζοντας πληροφορίες σχετικά με το έργο, με διαδικασίες που επικεντρώνονται στη διαλειτουργικότητα των πληροφοριών. (Cheol and Shik, 2007)
- BIM περιέχει γεωμετρία, χωρικές πληροφορίες, γεωγραφικές πληροφορίες, ποσότητες και ιδιότητες υλικών του κτιρίου, εκτιμήσεις κόστους, καταγραφές υλικών και χρονοδιαγράμματα. Το μοντέλο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καταδείξει τον κύκλο ζωής του κτιρίου. (Bazjanac 2006)
- Ο κλάδος των αρχιτεκτόνων, των μηχανικών και των κατασκευαστών (AEC industry) έχει αναζητήσει από καιρό τεχνικές για να μειώσει το κόστος ενός έργου, να αυξήσει την παραγωγικότητα και την ποιότητα και να μειώσει το χρόνο παράδοσης του έργου. Το BIM παρέχει τη δυνατότητα να επιτευχθούν αυτοί οι στόχοι. (Azhar, Nadeem et al. 2008)
- Σύμφωνα με το Εθνικό Ίδρυμα Κτιριακών Πληροφοριών των ΗΠΑ BIM ορίζεται ως : Μια ψηφιακή αναπαράσταση των φυσικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών μιας κτιριακής εγκατάστασης. Το BIM είναι μια κοινή πηγή πληροφοριών για μια κτιριακή εγκατάσταση και μια αξιόπιστη βάση για τη λήψη αποφάσεων κατά τη διάρκεια ζωής της, από τη στιγμή που συλλαμβάνεται σαν ιδέα, έως τη στιγμή της κατεδάφισης.
- Σύμφωνα με την Autodesk είναι : μια έξυπνη 3d μοντελοστρεφής διαδικασία που παρέχει στους αρχιτέκτονες, τους μηχανικούς και σε όσους ασχολούνται με τον κατασκευαστικό κλάδο τη γνώση και τα εργαλεία για πιο αποτελεσματικό σχεδιασμό, κατασκευή και διαχείριση κτιρίων και υποδομών.

Συνοπτικά με το BIM ξεφεύγουμε από την παραδοσιακή 2D σχεδίαση και μπορούμε να δημιουργούμε ψηφιακές τρισδιάστατες αναπαραστάσεις μοντέλων κτιρίων. Τα μοντέλα αυτά έχουν τοπολογικές σχέσεις μεταξύ τους, σταθερή γεωμετρία και συγκεκριμένα χαρακτηριστικά (π.χ μήκος). Επομένως τα μοντέλα BIM, είναι σαν μια βάση δεδομένων που περιέχει πληροφορίες για το κτίριο. Σε αυτή τη βάση δεδομένων οι πληροφορίες μπορούν αλλάξουν και να ενημερωθούν. Πρόσβαση έχουν όλοι όσοι εμπλέκονται στη διαδικασία σχεδιασμού και κατασκευής ενός κτιρίου, συμβάλλοντας στον αποτελεσματικότερο και αποδοτικότερο σχεδιασμό και στη γρηγορότερη κατασκευή του κτιρίου. Έτσι όχι μόνο μηχανικοί και σχεδιαστές μπορούν να χρησιμοποιήσουν την τεχνολογία BIM αλλά και ιδιοκτήτες, εργολάβοι, κατασκευαστές, πελάτες, υπεύθυνοι συντήρησης κλπ. Συνοπτικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι το BIM είναι μια πλατφόρμα διεπιστημονικής συνεργασίας και επικοινωνίας μεταξύ των εμπλεκόμενων στη διαδικασία του σχεδιασμού, επιτρέποντας τους να συμμετέχουν ενεργά στο σχεδιασμό ενός έργου.

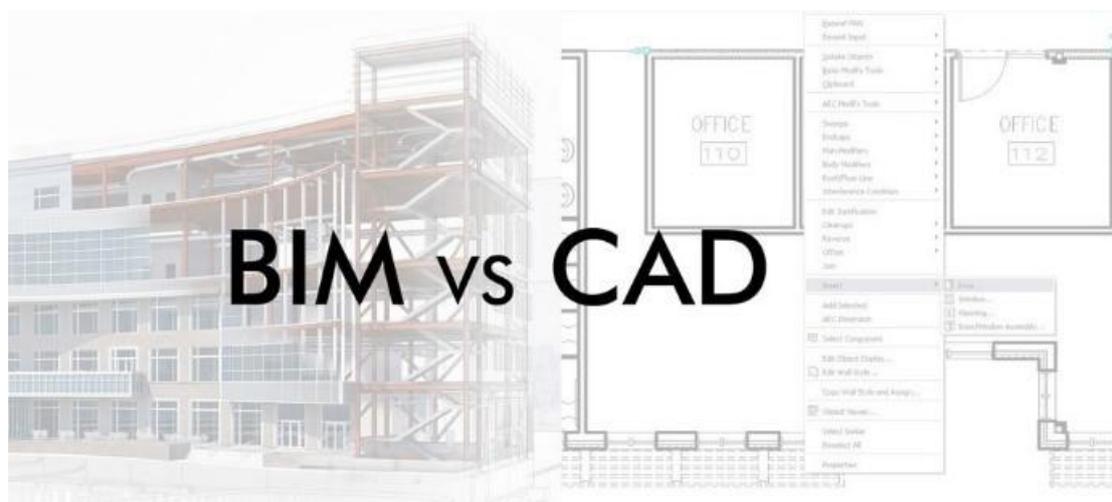


Εικόνα 37 : Ομάδες ανθρώπων που έχουν πρόσβαση σε ένα μοντέλο BIM (Πηγή : www.b2green.gr)

4.2 Σύγκριση CAD με BIM

Στις αρχές του 1970, ξεκίνησε ο σχεδιασμός με εργαλεία CAD στον κατασκευαστικό τομέα. Η γεωμετρία στις εφαρμογές CAD απεικονίζεται σε δυο διαστάσεις, χρησιμοποιώντας απλά σχήματα όπως τόξα, γραμμές, κύκλοι για τη δημιουργία σχεδίων σε ψηφιακό περιβάλλον. Η σχεδίαση σε περιβάλλον CAD, μιμείται σε ένα βαθμό την παραδοσιακή σχεδίαση στο χέρι γιατί τα δισδιάστατα αντικείμενα που σχεδιάζονται, δημιουργούνται το ένα ανεξάρτητα από το άλλο. Τα νεότερα προγράμματα CAD που δημιουργήθηκαν υποστηρίζουν την τρισδιάστατη σχεδίαση και μπορούν να αποδώσουν τη γεωμετρία ενός αντικειμένου σε ψηφιακό περιβάλλον και στις τρεις διαστάσεις. Τα μοντέλα BIM αποτελούν την εξέλιξη των συστημάτων CAD και πρόκειται για μια τρισδιάστατη αναπαράσταση του αντικειμένου που μοντελοποιείται που περιέχει και σημασιολογική πληροφορία. Τα μοντέλα BIM περιλαμβάνουν γεωμετρική, τοπολογική και σημασιολογική πληροφορία.

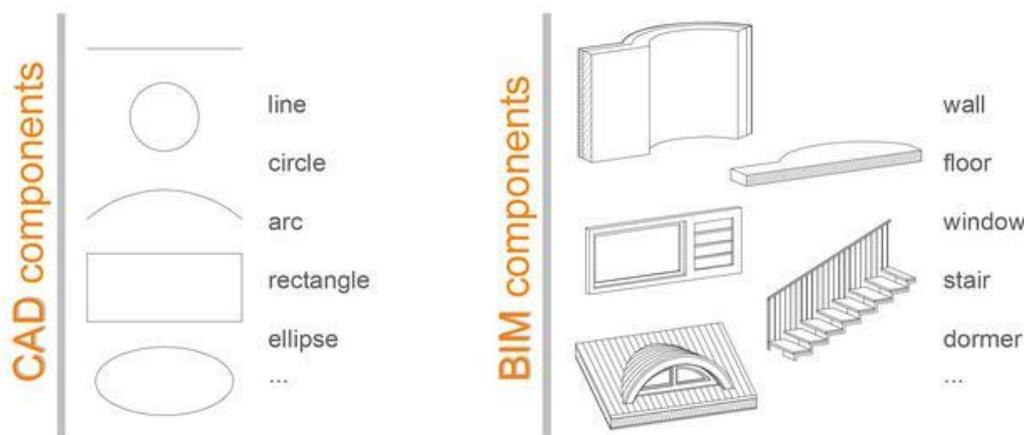
Αρχικά η βασικότερη διαφορά μεταξύ BIM και CAD είναι ότι ένα πρόγραμμα CAD χρησιμοποιεί περισσότερα του ενός σχέδια για την περιγραφή ενός κτιρίου και τις περισσότερες φορές είναι 2D CAD ενώ ένα μοντέλο BIM, συγκεντρώνει όλες τις πληροφορίες στο μοντέλο. (Εικόνα 38)



Εικόνα 38 : Σύγκριση μοντέλου BIM με 2d σχέδια CAD (Πηγή : www.intramattng.com)

Για παράδειγμα ένας τοίχος σε ένα πρόγραμμα CAD, βλέπουμε ότι οπτικά αναπαριστάται από δυο γραμμές παράλληλες, ωστόσο όταν τον επιλέξουμε παρατηρούμε ότι είναι μια γραμμή μόνο. Ακόμα στο πεδίο Properties σε ένα πρόγραμμα CAD μπορούμε να επιλέξουμε μόνο το είδος της γραμμής. Από την άλλη σε ένα πρόγραμμα BIM όταν επιλέγεται ένας τοίχος παρατηρούμε ότι ένα πραγματικό στοιχείο τοίχου επιλέγεται και στο πεδίο Properties υπάρχουν πολλοί παράμετροι που μπορούν να επιλεγθούν για να ορίσουν τον τοίχο. Η τεχνολογία BIM χρησιμοποιεί στοιχεία (elements) όπως τοίχους, πόρτες, παράθυρα για να αναπαραστήσει τα δομικά στοιχεία του πραγματικού κόσμου. Τα στοιχεία αυτά είναι τρισδιάστατα και έχουν ενσωματωμένες παραμέτρους για να αναπαραστούν με ακρίβεια τα αντικείμενα του πραγματικού κόσμου. Οι παράμετροι αυτοί, μπορούν να απεικονιστούν σε ειδικούς πίνακες (Schedules) που έχουν τα προγράμματα BIM και

προσφέρουν μια ανάλυση της εικόνας της κατασκευής. Τα προγράμματα CAD χρησιμοποιούν γραμμές και σχήματα όπως ο κύκλος, η έλλειψη, το ορθογώνιο για τη δημιουργία σχεδίων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 39.



Εικόνα 39 : Οντότητες που χρησιμοποιούν τα συστήματα CAD και BIM (Πηγή : www.cadtobim.com)

Όταν χρησιμοποιούμε προγράμματα CAD για το σχεδιασμό κατασκευών, επικεντρωνόμαστε στη δημιουργία σχεδίων, σε αντίθεση με το BIM που επικεντρωνόμαστε στη δημιουργία μοντέλων και μετά σχεδίων (όψεις, τομές, κατόψεις) που μπορούν να εξαχθούν από το μοντέλο. Κατά αυτόν τον τρόπο εξοικονομείται χρόνος γιατί τίποτα δεν σχεδιάζεται δυο φορές. Με τα προγράμματα CAD σχεδιάζονται ξεχωριστά κατόψεις, όψεις, τομές ενώ στα προγράμματα BIM, ό,τι σχεδιάζουμε μπορούμε να το δούμε σε ότι απεικόνιση θέλουμε, χωρίς να χρειάζεται να το σχεδιάσουμε ξανά.

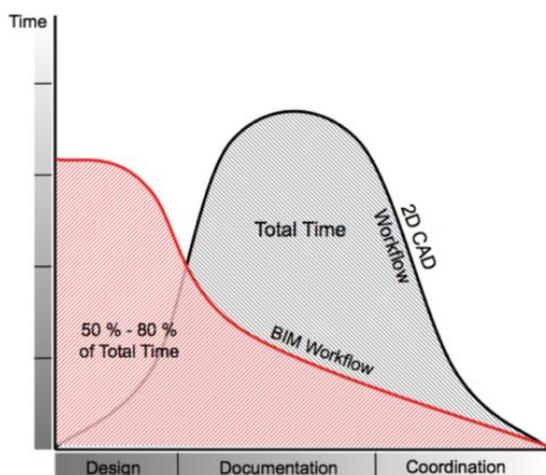
Ακόμα στα συστήματα CAD δημιουργούνται θεματικά επίπεδα (layers), δίνοντας μας τη δυνατότητα πολυστρωματικής σχεδίασης, δηλαδή της ομαδοποίησης ομοειδών στοιχείων. Για παράδειγμα οι γραμμές που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία τοίχων, αποδίδονται στο ίδιο layer ενώ τα όρια πεζοδρομίου αποδίδονται σε διαφορετικό layer. Με την τεχνολογία BIM δημιουργούνται οντότητες που αποτελούνται από τοίχους, πόρτες, παράθυρα κ.λπ.

Στα μοντέλα BIM ένας τοίχος αντιπροσωπεύεται από την οντότητα "Wall", η οποία έχει κάποια περιγραφικά χαρακτηριστικά όπως το πάχος του τοίχου, το ύψος του, αν είναι εσωτερικός ή εξωτερικός, από τι υλικό έχει φτιαχτεί. Ακόμα επιλέγοντας τον, μπορούμε να δούμε τις πληροφορίες αυτές. Σε ένα σχέδιο CAD ένας τοίχος αντιπροσωπεύεται από δυο γραμμές μόνο.

Ένα μοντέλο BIM έχει πολλές εφαρμογές και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλο τον κύκλο ζωής μιας κατασκευής. Για παράδειγμα ένα μοντέλο BIM μπορεί να χρησιμοποιηθεί για λόγους επικύρωσης ενός μοντέλου, για την εκτίμηση κόστους μιας κατασκευής, για τον

προγραμματισμό της κατασκευής και τη διαχείριση της κατασκευής κατά την λειτουργία της.

Τέλος όπως φαίνεται στην Εικόνα 40, ο κυριότερος όγκος των εργασιών στις εφαρμογές BIM έχει μετατοπιστεί στο αρχικό στάδιο, στο στάδιο του σχεδιασμού ενώ πολύ λίγος χρόνος αφιερώνεται για την καταγραφή των δεδομένων και το συντονισμό. Το ακριβώς αντίθετο γίνεται στις εφαρμογές CAD, όπου αφιερώνεται πολύ περισσότερος χρόνος για την καταγραφή των δεδομένων και το συντονισμό των εργασιών και λιγότερος στο στάδιο του σχεδιασμού.



Εικόνα 40 : Σύγκριση της ροής των εργασιών 2D CAD και BIM σχεδίασης (Πηγή : www.seerab.com)

4.2 Διαστάσεις BIM

Στα μοντέλα BIM, μπορούμε να δώσουμε κάποιες επιπλέον διαστάσεις στο μοντέλο που μας οδηγεί στην καλύτερη κατανόηση των απαιτήσεων και των αναγκών σε χρόνο και κόστος που χρειάζεται για να ολοκληρωθεί ένα έργο. Ωστόσο επειδή το BIM σχετίζεται με όλη τη διάρκεια ζωής ενός έργου και όχι μόνο το στάδιο του σχεδιασμού και της κατασκευής, μπορούν να ενσωματωθούν περιβαλλοντικές διαστάσεις και η διάσταση της διαχρονικής διαχείρισης του έργου. Έτσι για τη δημιουργία 4d BIMs περιλαμβάνεται ο χρόνος ως τέταρτη διάσταση και για τη δημιουργία 5d BIMs περιλαμβάνεται το κόστος ως πέμπτη διάσταση. Κατά αυτόν τον τρόπο περιλαμβάνονται εκτός από τις τρεις διαστάσεις του χώρου και άλλα θεματικά χαρακτηριστικά μιας κτιριακής δομής, όπως το κόστος και ο χρόνος σε ένα ενιαίο μοντέλο. Τα τελευταία χρόνια, υπάρχουν αναφορές για 6d BIMs που αντιπροσωπεύουν ζητήματα περιβαλλοντικά και βιωσιμότητας. Ακόμα 7d BIMs, που αντιπροσωπεύουν τη διαχρονική διαχείριση του κτιρίου.



Εικόνα 41 : Οι διαστάσεις της τεχνολογίας BIM (Πηγή: Biblus,2018)

3D BIM

Το 3d BIM είναι ένα ψηφιακό μοντέλο ενός κτιρίου, με ακριβή γεωμετρία που στοχεύει στον καλύτερο σχεδιασμό, κατασκευή και λειτουργία ενός κτιρίου. Πρόσβαση σε αυτό μπορούν να έχουν σχεδιαστές, μηχανικοί, κατασκευαστές, ιδιοκτήτες και τα δεδομένα του ανανεώνονται σε όλη τη διάρκεια ζωής του κτιρίου, από το σχεδιασμό του έως την κατεδάφισή του. Με το 3d BIM εξασφαλίζεται η διαλειτουργικότητα των πληροφοριών, αφού όλοι οι παραπάνω μπορούν να έχουν πρόσβαση σε αυτό και να αλληλεπιδράσουν. Τέλος οδηγούμαστε σε καλύτερο σχεδιασμό, οικονομικότερες κατασκευές και σε χρονικά εμπρόθεσμες κατασκευές.

4D BIM

Το 4d BIM, είναι ένα δυναμικό μοντέλο, που προσθέτει μια παραπάνω διάσταση στο 3d μοντέλο, αυτή του χρόνου. Γνωρίζοντας κάθε στάδιο της κατασκευής πόσο θα διαρκέσει, συντελεί στον καλύτερο χρονικό προγραμματισμό συνολικά του έργου. Ακόμα γνωρίζοντας

το χρονοδιάγραμμα του έργου, μπορούμε να οπτικοποιήσουμε κάθε στάδιο του έργου μέχρι την ολοκλήρωση του και τη σταδιακή εξέλιξη του έργου.

Η δημιουργία ενός τέτοιου μοντέλου οδηγεί στο βέλτιστο προγραμματισμό του έργου και στη βέλτιστη οργάνωση των επιμέρους εργασιών του έργου. Επιπλέον εξασφαλίζεται ασφάλεια των εργαζόμενων στο έργο, τηρείται η ακολουθία των εργασιών και αποφεύγεται η σπατάλη εργατοωρών λόγω έλλειψης συντονισμού. Ακόμα η προσθήκη χρονικού προγραμματισμού στο έργο, βοηθάει στον εντοπισμό κάποιων παραβλέψεων-λαθών σε πρώιμο στάδιο του έργου, που θα οδηγούσαν σε χάσιμο χρόνου και καθυστέρηση της ολοκλήρωσης του έργου. Τέλος κατά αυτό τον τρόπο γίνεται πιο εύκολη η αξιολόγηση της πορείας ενός έργου.

5D BIM

Το 5d BIM χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των ποσοτήτων των συστατικών που θα χρησιμοποιηθούν σε ένα έργο και χρησιμοποιώντας τις τιμές κόστους κάθε συστατικού, μπορούμε να εξάγουμε ένα συνολικό προϋπολογισμό για το έργο.

Ένα βασικό πλεονέκτημα ενός τέτοιου μοντέλου, είναι ότι μπορούμε να δούμε σε 3d μορφή το μοντέλο αλλά και να γνωρίζουμε ταυτοχρόνως το κόστος του. Επίσης όταν γίνεται μια αλλαγή σε κάποιο υλικό στο μοντέλο, αυτόματα το κόστος ανανεώνεται και επανεκτιμάται. Ακόμα οπτικοποιείται η πρόοδος του έργου σε σχέση με το χρόνο και το κόστος. Τέλος εφόσον υπάρχει προϋπολογισμός του κόστους ενός έργου, σε περίπτωση που κάποιος πελάτης θέλει μια οικονομικότερη λύση, η ομάδα σχεδιασμού με τη χρήση άλλων οικονομικότερων υλικών, μπορεί να σχεδιάσει μια πιο συμφέρουσα οικονομικά λύση για το έργο.

6D BIM

Το 6d BIM σχετίζεται με την εκτίμηση της βιωσιμότητας. Σύμφωνα με (Biblus,2018) η βιωσιμότητα μπορεί να εξεταστεί κάτω από τρεις οπτικές :

- Περιβαλλοντική, εκφρασμένη με την αναπαραγωγή και διατήρηση των φυσικών αποθεμάτων.
- Οικονομική, σχετιζόμενη με το εισόδημα και να αποφέρει δύναμη.
- Κοινωνική σχετιζόμενη με την ποιότητα ζωής του ανθρώπου.

7D BIM

Το 7d BIM σχετίζεται με όλο τον κύκλο ζωής ενός έργου και ειδικότερα οδηγεί στην πραγματοποίηση σωστών αποφάσεων σε ζητήματα σχετικά με το κόστος και τη βιωσιμότητα του έργου. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του έργου επιλέγονται με βάση το χρόνο ζωής του έργου και όχι μόνο βάση του κόστους. Ακόμα με αυτό το είδος μοντέλου, εξάγονται κόστη συντήρησης για την κατασκευή, που είναι πολύ σημαντικό για τον ιδιοκτήτη, αφού γνωρίζει εκ των προτέρων το κόστος συντήρησης της κατασκευής. Το μοντέλο αυτό συνεχώς ανανεώνεται κατά τη διάρκεια χρήσης μια κατασκευής, καταγράφοντας τις επισκευές και τις αντικαταστάσεις της κατασκευής.

4.3 Επίπεδα BIM

Υπάρχουν 4 επίπεδα BIM και τα βασικά κριτήρια κατάταξης ενός BIM σε ένα από αυτά τα 4 επίπεδα, είναι :

1. Το επίπεδο της συνεργασίας μεταξύ των εμπλεκόμενων σε ένα BIM
2. Οι διαστάσεις του BIM



Εικόνα 42 : Τα 4 επίπεδα του BIM (Πηγή : NIBT,2018)

Level 0 BIM

Το επίπεδο αυτό, υποδηλώνει την έλλειψη BIM και την έλλειψη συνεργασίας μεταξύ των εμπλεκόμενων σε αυτό. Τα σχέδια είναι σε 2d μορφή και διανέμονται και εκτυπώνονται σε χαρτί.

Level 1 BIM

Στο επίπεδο αυτό τα δεδομένα μπορεί να βρίσκονται τόσο σε 2d μορφή όσο και σε 3d μορφή. Στην 3d μορφή βρίσκονται τα δεδομένα για το σχεδιασμό και τη δημιουργία του μοντέλου και στη 2d μορφή για την έγκριση από τις θεσμοθετημένες αρχές. Τα δεδομένα εκδίδονται σε κοινά πρότυπα για όλους και υπάρχει μερική συνεργασία μεταξύ των μηχανικών.

Level 2 BIM

Στο επίπεδο αυτό, οι μηχανικοί δουλεύουν σε μοντέλα 3d μορφής, τα οποία μπορεί να είναι περισσότερα από ένα. Πρόσβαση στις πληροφορίες των μοντέλων αυτών, μπορούν να έχουν όλα τα μέλη της κατασκευαστικής ομάδας, αφού οι πληροφορίες εκδίδονται σε κοινό πρότυπο και εμπλουτίζουν ένα ενιαίο μοντέλο BIM, στο οποίο μπορεί κάθε μέλος της κατασκευαστικής ομάδας να κάνει αλλαγές.

Level 3 BIM

Στο επίπεδο αυτό χρησιμοποιείται ένα κοινό για όλους μοντέλο και επιτυγχάνεται συνεργασία σε όλα τα στάδια ζωής ενός κτιρίου από το σχεδιασμό μέχρι το στάδιο της λειτουργία του. Τα δεδομένα κοινοποιούνται και συλλέγονται σε κοινή πηγή δεδομένων, στην οποία έχουν όλοι πρόσβαση και δυνατότητα αμφισβήτησης. Αυτό το είδος BIM είναι γνωστό ως << Open BIM >> εξαιτίας της ολοκληρωμένης θεώρησης που μας δίνεται για τις πληροφορίες του κτιρίου από το μοντέλο.

4.4 Επίπεδα Ανάπτυξης Σχεδιασμού (LOD) στο BIM

Το ακρωνύμιο LOD (Level of Development), δηλαδή Επίπεδα Ανάπτυξης Σχεδιασμού συχνά μπορεί να συγχυθούν με τα επίπεδα λεπτομέρειας (Level of Detail). Τα επίπεδα λεπτομέρειας μας δείχνουν το βαθμό λεπτομέρειας ενός μοντέλου ενώ τα επίπεδα ανάπτυξης μας δείχνουν σε ποιο στάδιο του σχεδιασμού είναι ένα μοντέλο BIM. Κάθε επίπεδο ανάπτυξης αντιστοιχεί και σε ένα στάδιο ενός έργου. Το LOD 100 αντιστοιχεί στην αρχική ιδέα (Concept Design), το LOD 200 αντιστοιχεί στην ανάπτυξη σχεδιασμού και τη σχηματική απεικόνιση (Schematic Design), το LOD 300 αντιστοιχεί στο λεπτομερή σχεδιασμό (Detailed Design), το LOD 400 αντιστοιχεί στην κατασκευαστική απεικόνιση (Fabrication and Assembly) και το LOD 500 αντιστοιχεί στο έργο ολοκληρωμένο (As built).

Level of Development	
LOD 100	Concept Design
LOD 200	Schematic Design
LOD 300	Detailed Design
LOD 400	Fabrication & Assembly
LOD 500	As-Built

Πίνακας 1 : Επίπεδα ανάπτυξης σχεδιασμού

Τα επίπεδα ανάπτυξης σχεδιασμού είναι 5, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 43 :

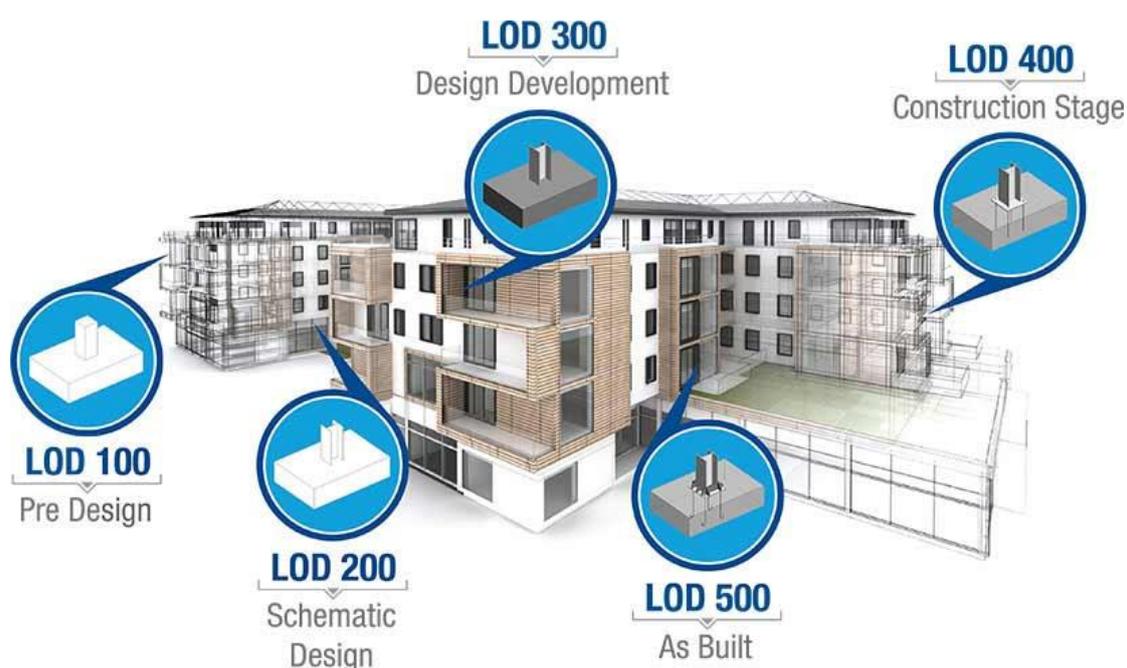
LOD 100 : Στο επίπεδο αυτό έχουμε γραφική αναπαράσταση του μοντέλου με ένα σύμβολο ή με μια άλλη γενική αναπαράσταση. Πληροφορίες σχετικά με το μοντέλο μπορεί να προέρχονται κάποιο άλλο μοντέλο που έχει δημιουργηθεί, όπως το κόστος ανά τμ. Στο επίπεδο αυτό, δεν ικανοποιούνται οι απαιτήσεις LOD 200.

LOD 200 : Στο επίπεδο αυτό έχουμε γραφική αναπαράσταση του μοντέλου ως ένα γενικό σύστημα, αντικείμενο ή σύνθεση. Το μοντέλο χαρακτηρίζεται από προσεγγιστικές ποσότητες όπως το μέγεθος, το σχήμα, η τοποθεσία, ο προσανατολισμός ενώ μπορεί να περιλαμβάνονται και μη γραφικές πληροφορίες.

LOD 300 : Στο επίπεδο αυτό έχουμε γραφική αναπαράσταση του μοντέλου ως ένα συγκεκριμένο σύστημα αντικείμενο ή σύνθεση. Το μοντέλο χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένες ποσότητες (μέγεθος, σχήμα, τοποθεσία, προσανατολισμός) και περιλαμβάνονται και μη γραφικές πληροφορίες.

LOD 400 : Στο επίπεδο αυτό το μοντέλο έχει όλα τα χαρακτηριστικά ενός μοντέλου LOD 300. Επιπρόσθετα έχει λεπτομερείς κατασκευαστικές πληροφορίες και πληροφορίες συναρμολόγησης και εγκατάστασης.

LOD 500 : Το μοντέλο απεικονίζεται όπως είναι στην πραγματικότητα όσον αφορά το μέγεθος, το σχήμα, την τοποθεσία, την ποσότητα και τον προσανατολισμό. Ακόμα περιλαμβάνονται και μη γραφικές πληροφορίες.



Εικόνα 43 : Επίπεδα ανάπτυξης σχεδιασμού στο BIM (Πηγή : www.truecadd.com)

4.5 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Μοντελοποίησης της Κτιριακής Πληροφορίας

Όπως έχουμε ήδη επισημάνει τα πλεονεκτήματα της μοντελοποίησης της κτιριακής πληροφορίας ανακύπτουν σε όλα τα στάδια ζωής ενός κτιρίου, από το σχεδιασμό έως την κατεδάφιση.

Στο στάδιο του σχεδιασμού, ένα από τα κυριότερα οφέλη που ανακύπτουν είναι ότι ο σχεδιαστής ξεφεύγει από τις παραδοσιακές δισδιάστατες (2d) μεθόδους σχεδίασης και πλέον έχει τη δυνατότητα να σχεδιάζει τρισδιάστατα μοντέλα. Τα τρισδιάστατα αυτά μοντέλα περιέχουν ακριβή γεωμετρική αναπαράσταση των μερών του κτιρίου ενώ υπάρχει δυνατότητα γεωαναφοράς του μοντέλου, προσθέτοντας κατά αυτόν τον τρόπο και τοπολογική πληροφορία στο μοντέλο. Ένα από τα βασικότερα πλεονεκτήματα που δεν θα μπορούσαμε να αναφέρουμε είναι η δυνατότητα τροποποίησης και άμεσης ανανέωσης των σχεδίων, που διευκολύνει τις διαδικασίες του σχεδιασμού. Ακόμα ο σχεδιαστής μπορεί να προσαρμόσει το επίπεδο λεπτομέρειας του μοντέλου ανάλογα με τις απαιτήσεις ακρίβειας του έργου ή ακόμα να παράγει μοντέλα σε διαφορετικά επίπεδα ακρίβειας. Επιπλέον ο μηχανικός έχει καλύτερη οπτική αντίληψη των όσων σχεδιάζει αφού σχεδιάζει σε τρεις διαστάσεις, που έχει ως αποτέλεσμα την επιτάχυνση της διαδικασίας του σχεδιασμού και οδηγεί σε καλύτερο τελικό αποτέλεσμα. Ακόμα η τεχνολογία BIM οδηγεί σε γρηγορότερη παράδοση του έργου αφού επιταχύνεται η διαδικασία του σχεδιασμού. Τα μοντέλα BIM μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με εργαλεία για ενεργειακή μελέτη, αναλύσεις φωτός, ηλιακές μελέτες κλπ, συντελώντας στη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού και στην επίτευξη "πράσινων στόχων". Τέλος όλα τα σχέδια μπορούν να συγκεντρωθούν στη βάση δεδομένων του λογισμικού και μπορεί να γίνει υπολογισμός του συνολικού κόστους της κατασκευής.

Στο στάδιο της κατασκευής, το σημαντικότερο πλεονέκτημα είναι ότι το BIM διευκολύνει τη συνεργασία των εμπλεκόμενων στη διαδικασία αυτή (μηχανικών, κατασκευαστών). Η μοντελοποίηση της κατασκευής διευκολύνει τις δοκιμές στατικότητας του μοντέλου, εμφανίζοντας μας που υπάρχουν ασυνέπειες στο μοντέλο. Επιπλέον επιταχύνεται το στάδιο της κατασκευής αφού πιθανές αστοχίες του μοντέλου, έχουν ήδη ανιχνευθεί, εξοικονομώντας έτσι χρόνο και χρήμα. Ακόμα για την επίλυση των αστοχιών χρησιμοποιούνται μοντέλα BIM, που οδηγούν σε ασφαλέστερες και αποδοτικότερες κατασκευές, καθώς τα μοντέλα προσομοιώνουν τις επιπτώσεις των προβλημάτων και οδηγούν στην ασφαλέστερη λύση. Μειώνεται το ρίσκο αφού έχει ελεγχθεί η στατικότητα της κατασκευής με προσομοιώσεις του μοντέλου. Επίσης αποφεύγονται κατασκευαστικά σφάλματα που θα εμφανίζονταν κατά τη διαδικασία της κατασκευής, με διαδικασίες ελέγχου που μπορεί να τρέξει το λογισμικό του προγράμματος.

Στο στάδιο που έχει ολοκληρωθεί η κατασκευή, ένα μοντέλο BIM συντελεί στην ευκολότερη συντήρηση της αφού όταν κάτι χρήζει επιδιόρθωσης, ο ιδιοκτήτης μπορεί να ανατρέξει στο μοντέλο και να δει την πιθανή αιτία του προβλήματος και να την επιδιορθώσει. Ακόμα συντελεί στην εύρεση της οικονομικότερης λύσης, εξοικονομώντας χρήματα και χρόνο. Παρέχει τη δυνατότητα όσες αλλαγές πραγματοποιούνται στο κτίριο να καταγράφονται και έτσι δεν χάνονται πληροφορίες για αλλαγές σχετικά με το κτίριο. Επιπλέον οδηγούν σε ασφαλέστερα κτίρια αφού σε μοντέλα BIM μπορούμε να βασιστούμε για τη δημιουργία σχεδίων εκκένωσης κτιρίων. Τέλος συντελούν στην καλύτερη διαχείριση και συντήρηση του κτιρίου.

Αν και τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας αυτής είναι πολλά, υπάρχουν όμως και κάποια μειονεκτήματα. Στα μοντέλα BIM, όπως έχουμε ήδη αναφέρει πολλοί χρήστες έχουν πρόσβαση με συνέπεια να δημιουργούνται ζητήματα ως προς τα πνευματικά δικαιώματα

των μοντέλων αυτών. Επιπλέον ένα άλλο ζήτημα είναι ότι επειδή ένα μοντέλο BIM είναι προϊόν συλλογικής διεργασίας, δεν είναι ξεκάθαρο ποιος είναι υπεύθυνος για την ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Ο όγκος των αρχείων ακόμα είναι μεγάλος εξαιτίας της πολυεπίπεδης πληροφορίας των μοντέλων με συνέπεια να είναι δύσκολη η διαχείριση των αρχείων. Τέλος αντικείμενα που παρουσιάζουν πολύπλοκη γεωμετρία, όπως τα μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς, είναι δύσκολο να αποδοθούν με ακρίβεια με τα υπάρχοντα λογισμικά BIM.

4.6 Ζητήματα σχετικά με τη μεθοδολογία BIM

Τα ζητήματα σχετικά με τη μεθοδολογία BIM μπορούν να χωριστούν σε δυο ευρύς κατηγορίες, νομικά (ή σχετικά με συμβόλαια) και τεχνικά. (Azhar, 2011)

Νομικά δεν είναι ξεκάθαρο σε ποιον ανήκουν τα δεδομένα ενός μοντέλου BIM και είναι αναγκαίο να προστατευθούν βάσει των νόμων περί πνευματικής ιδιοκτησίας. Άλλωστε δεν μπορούμε να απαντήσουμε με βεβαιότητα σε ποιον ανήκουν τα δεδομένα BIM, αν ανήκουν στους μηχανικούς του έργου ή στον ιδιοκτήτη. Αυτό συμβαίνει γιατί οι ιδιοκτήτες πληρώνουν για το σχεδιασμό του μοντέλου και κατά την γνώμη τους θα πρέπει να κατέχουν και τα πνευματικά δικαιώματα των δεδομένων. Ωστόσο οι μηχανικοί προσφέρουν δικές τους γνώσεις που συντελούν στο σχεδιασμό του μοντέλου και θα πρέπει να προστατευθούν νομικά. Κάθε περίπτωση είναι μοναδική και για να προσδιορίσουμε ποιανού είναι πνευματική ιδιοκτησία τα δεδομένα, πρέπει να λάβουμε υπόψιν τις ανάγκες αυτών που συμμετέχουν στο σχεδιασμό. Για να αποφύγουμε τις διαμάχες σχετικά με τα πνευματικά δικαιώματα, η καλύτερη λύση είναι ο ορισμός τους στα συμβόλαια εγγράφων πνευματικής ιδιοκτησίας και ευθυνών (Rosenberg, 2007). Επίσης ζήτημα προκύπτει επειδή συνήθως τα δεδομένα για το σχεδιασμό του μοντέλου, παρέχονται από μια πληθώρα ατόμων (σχεδιαστές, μηχανικοί, αρχιτέκτονες) και δεν είναι ξεκάθαρο το ποιος είναι υπεύθυνος για τη ροή των δεδομένων και ποιος είναι υπεύθυνος για την ακρίβεια του τελικού αποτελέσματος. Επίσης δεν είναι κάποιος ξεκάθαρος υπεύθυνος σε περίπτωση που στο μοντέλο προκύψουν αστοχίες και για να εγγυηθεί την ακρίβεια του μοντέλου που συνεπάγεται μεγάλο ρίσκο. Επιπλέον υπάρχει ανάγκη για ενημέρωση των δεδομένων του BIM, ζήτημα που χρειάζεται σωστή αξιολόγηση των δεδομένων από κάποιον γνώστη, προκειμένου να εξασφαλιστεί η ακρίβεια των δεδομένων. Το γεγονός αυτό είναι χρονοβόρο κατά τη διαδικασία του σχεδιασμού, αντισταθμίζεται όμως από τα κέρδη σε αποτελεσματικότητα και σε χρόνο κατά τη διαδικασία της κατασκευής. Το τελικό μοντέλο του BIM μπορεί να είναι σύνθεση περισσότερων του ενός μηχανικών με συνέπεια ένα λάθος στη σχεδιαστική διαδικασία, να μην είναι ξεκάθαρο ποιανού είναι ευθύνη. Έτσι εάν προκύψουν διαφωνίες μεταξύ του πελάτη και της σχεδιαστικής ομάδας σε ζητήματα λανθασμένου σχεδιασμού θα είναι δύσκολο να αποδειχθεί ποιος είναι υπεύθυνος, εξαιτίας του ενοποιημένου σχεδιασμού που προσφέρει η τεχνολογία BIM. Συνεπώς πριν η τεχνολογία BIM, μπορεί να χρησιμοποιηθεί πλήρως, όχι μόνο οι κίνδυνοι από τη χρήση της πρέπει να αναγνωριστούν και να κατανεμηθούν στους υπεύθυνους αλλά και το κόστος εφαρμογής τους πρέπει να πληρωθεί επίσης (Thompson and Miner 2007).

Τεχνικά ζητήματα προκύπτουν όταν στη μοντελοποίηση εισάγονται οι διαστάσεις του χρόνου και του κόστους, όπου είναι επιτακτική η διασύνδεση μεταξύ των προγραμμάτων. Όταν δεν χρησιμοποιείται το ίδιο λογισμικό από όσους συμμετέχουν στη διαδικασία της μοντελοποίησης, είναι δύσκολη η ενοποίηση των χρονοδιαγραμμάτων και η εκτίμηση του συνολικού κόστους για όλο το project. Όταν τα δεδομένα δεν είναι συμβατά ή έχουν υπολογιστεί σε διαφορετικό υπολογιστικό πρόγραμμα, πρέπει να επαναυπολογιστούν στο σωστό πρόγραμμα και να ενσωματωθούν στο συνολικό χρονοδιάγραμμα και στη συνολική εκτίμηση του κόστους του project. Η διαδικασία αυτή εμπεριέχει κίνδυνο λάθους, που έχει ως συνέπεια στο συνολικό project σε κόστος και σε χρόνο. Μέχρι στιγμής τα εργαλεία για τη διαχείριση ενός project, όπως αυτά για τον υπολογισμό του χρονοδιαγράμματος και τους κόστους έχουν αναπτυχθεί χωρίς να είναι συμβατά και με άλλα προγράμματα. Η ευθύνη για την ακρίβεια και το συντονισμό του κόστους και των δεδομένων του χρονοδιαγράμματος, πρέπει να ορίζονται στη σύμβαση, σύμφωνα με τους Thompson and Miner, 2007. Έτσι δεν θα προκύπτουν ζητήματα ευθυνών σε περίπτωση λαθών στο σχεδιασμό.

4.7 Μελλοντικές Προκλήσεις για τη μεθοδολογία BIM

Όπως αναφέραμε και παραπάνω τα πλεονεκτήματα της μεθοδολογίας BIM είναι πολλά. Ωστόσο η υιοθέτηση του BIM είναι πιο αργή από ότι αναμενόταν (Azhar, Hein et al 2008). Αυτό οφείλεται κυρίως σε δυο λόγους, τεχνικούς και διοικητικούς.

Οι τεχνικοί λόγοι μπορούν να ταξινομηθούν ευρέως σε τρεις κατηγορίες (Bersteinand Pittman, 2005) :

1. Στην ανάγκη για καλά ορισμένα μεταβατικά κατασκευαστικά μοντέλα, για να απαλειφθούν τα προβλήματα διαλειτουργικότητας των δεδομένων.
2. Στην ανάγκη για συμβατά ψηφιακά δεδομένα μοντέλων.
3. Στην ανάγκη για σωστά αναπτυγμένες και εύχρηστες μεθόδους για τη σκόπιμη ανταλλαγή και ενσωμάτωση σημαντικών πληροφοριών για τα συστατικά μέρη του BIM.

Τα θέματα διαχείρισης εμπίπτουν στα πεδία εφαρμογής και χρήσης του BIM. Υπάρχει ανάγκη προτυποποίησης του BIM για την ευκολότερη εφαρμογή του από τους σχεδιαστές και τη χρήση του, όχι μόνο από τους σχεδιαστές αλλά και από τους κατασκευαστές, ιδιοκτήτες κλπ. Επίσης ένα άλλο θέμα που προκύπτει είναι, ποιος θα αναπτύσσει και θα διαχειρίζεται το BIM (οι ιδιοκτήτες, οι κατασκευαστές, οι μηχανικοί) κατά τη διάρκεια ζωής του κτιρίου και ποιος θα επιβαρύνεται το κόστος ανάπτυξής του.

Επιπλέον οι εταιρείες που αναπτύσσουν λογισμικά για BIM, θα πρέπει να συντάξουν αναλυτικές οδηγίες σχετικά με τη χρήση και τις εφαρμογές του BIM, για να διευκολυνθούν οι χρήστες του. Τα προγράμματα BIM πρέπει να είναι απλά στη χρήση τους προκειμένου να μειωθεί ο απαιτούμενος χρόνος εκπαίδευσης. Ακόμα η βιομηχανία πρέπει να αναπτύξει

αποδεκτές μεθόδους και πολιτικές που να προωθούν τη χρήση του BIM και να εξουσιάζουν τα θέματα ιδιοκτησίας και διαχείρισης κινδύνου. (Post, 2009)

Όσοι αναλαμβάνουν την συντήρηση των κτιρίων, πρέπει να εμπλέκονται και στα αρχικά στάδια του BIM που είναι η σχεδιαστική διαδικασία των κτιρίων και όχι αφότου έχει κατασκευαστεί το κτίριο, για να επηρεάσουν με τις γνώσεις και την εμπειρία τους το σχεδιασμό των κτιρίων. Τέλος πρόκληση αποτελεί σε ποιο στάδιο του BIM μπορούν να εμπλακούν αγοραστές, ενοικιαστές, μεσιτικά γραφεία και κατά πόσο μπορούν να επηρεάσουν τη διαδικασία του BIM, εφόσον έχουμε εικόνα του κτιρίου.

4.8 Εφαρμογές BIM

Η τεχνολογία BIM βρίσκει εφαρμογή σε πολλούς τομείς στον κατασκευαστικό κλάδο, σε όλο τον κύκλο ζωής μιας κατασκευής. Σύμφωνα με τον Arayıcı (2015) τα κατασκευαστικά έργα περνούν μέσα από τρεις κύριες φάσεις κατά τη διάρκεια της ζωής τους. Οι φάσεις αυτές είναι :

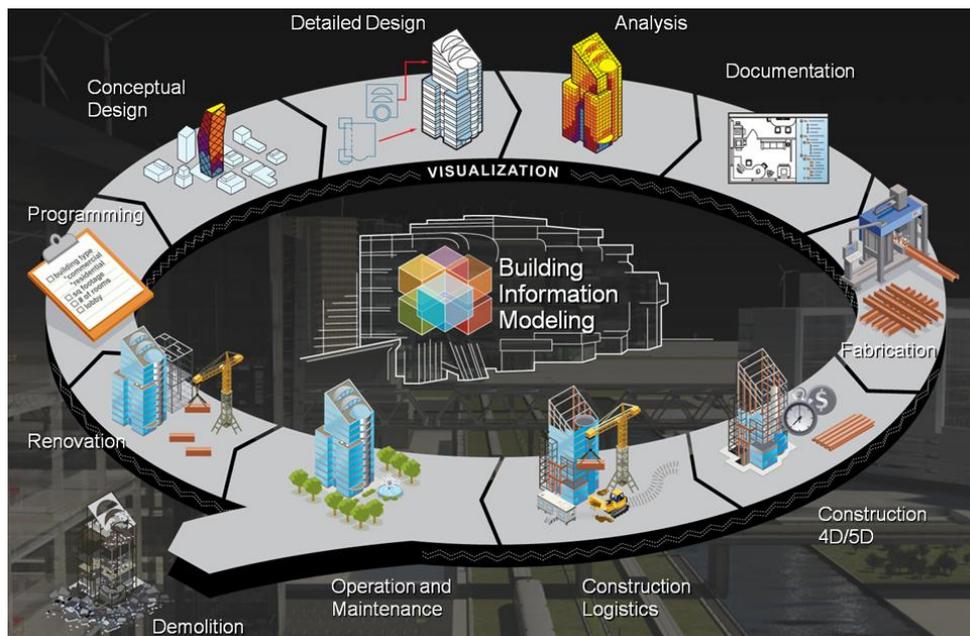
1. Φάση Σχεδιασμού (Design Phase)
2. Φάση Κατασκευής (Construction Phase)
3. Φάση Λειτουργίας (Operation Phase)

Κατά τη φάση του σχεδιασμού η βασικότερη ίσως εφαρμογή είναι η μοντελοποίηση της κατασκευής και ο σχεδιασμός της. Κατά τη φάση της κατασκευής, η τεχνολογία BIM είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στο συντονισμό των φάσεων της κατασκευής, του προσωπικού και των υλικών. Κατά τη φάση της λειτουργίας είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για καλύτερη και αποτελεσματικότερη διαχείριση της κατασκευής. Αναλυτικότερα με την τεχνολογία BIM έχουμε τις παρακάτω δυνατότητες :

- **Οπτικοποίηση (Visualization)** : Με την τεχνολογία BIM, ένα ακριβές εικονικό μοντέλο του κτιρίου δημιουργείται στο οποίο αποθηκεύεται γεωμετρική και σημασιολογική πληροφορία.
- **Δομικός σχεδιασμός (structural planning)** : Με τα μοντέλα BIM μπορεί να αναπαραχθεί ο δομικός σχεδιασμός των κτιρίων και να γίνει δομικός έλεγχος των κτιρίων, συμβάλλοντας στη δημιουργία ασφαλέστερων κατασκευών.
- **Σχέδια κατασκευής (Fabrication Drawings)** : Εύκολη δημιουργία σχεδίων τα οποία χαρακτηρίζονται από μεγάλη και άμεση ανανέωση. Ακόμα η τεχνολογία BIM δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες της αποθήκευσης σχεδίων, πληροφοριών στα οποία έχουν πρόσβαση, όσοι συμμετέχουν στη διαδικασία του σχεδιασμού (μηχανικοί, ιδιοκτήτες, εργολάβοι, μεσίτες).
- **Εκτίμηση κόστους (Cost estimating)** : μέσω λειτουργιών που παρέχει το λογισμικό του προγράμματος, υπάρχει η δυνατότητα κοστολόγησης της

κατασκευής. Οι ποσότητες των υλικών μπορούν να εξαχθούν από το μοντέλο που σχεδιάζεται και να επικαιροποιηθούν όταν γίνει κάποια τροποποίηση στο μοντέλο.

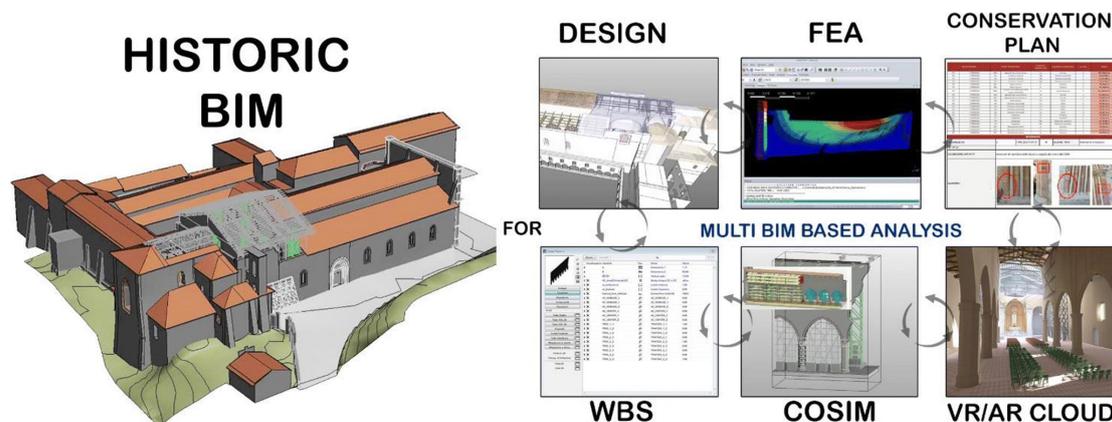
- **Καλύτερος Προγραμματισμός (Programming)** : Ένα μοντέλο BIM μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το συντονισμό των παραγγελιών των υλικών, της χρονικής διάρκειας των κατασκευών και των χρόνων παράδοσης των οικοδομικών υλικών.
- **Ανίχνευση συγκρούσεων και παρεμβολών (Conflict, interference, and collision detection)** : Τα μοντέλα BIM δημιουργούνται υπό κλίμακα στο 3d χώρο και μπορούν να ελεγχθούν για παραλείψεις και λάθη στο σχεδιασμό. Όλα τα συστήματα ελέγχονται για παρεμβολές (π.χ επαληθεύεται ότι οι σωληνώσεις δεν διασταυρώνονται με δοκούς, αγωγούς ή τοίχους).
- **Διαχείριση Κατασκευών (Facility Management)** : Τα μοντέλα BIM είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για το σχεδιασμό του χώρου, για ανακαινίσεις, για εργασίες συντήρησης και για τη διαχείριση των κτιρίων.
- **Σχέδια εκκένωσης (Evacuation plans)** : Τα μοντέλα BIM μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία σχεδίων εκκένωσης κτιρίων σε έκτακτες καταστάσεις όπως ένας σεισμός ή μια πυρκαγιά.
- **Βιωσιμότητα (Sustainability)** : Με την τεχνολογία BIM σε έξι διαστάσεις, έχουμε τη δυνατότητα πραγματοποίησης ενεργειακών αναλύσεων. Από τα πρώιμα στάδια του σχεδιασμού μπορούμε να κάνουμε ενεργειακές εκτιμήσεις των κατασκευών που μας οδηγούν σε πιο βιώσιμα αποτελέσματα.
- **Επικύρωση (Validation)** : Τα μοντέλα BIM έχουν εργαλεία τα οποία ελέγχουν τα μοντέλα σύμφωνα με κανόνες. Κατά τη διαδικασία αυτή ελέγχεται εάν έχουν εκπληρωθεί όλες οι απαιτήσεις και αν έχουν εμφανιστεί λάθη στο BIM μοντέλο.



Εικόνα 44 : Εφαρμογή της τεχνολογίας BIM σε όλο τον κύκλο ζωής ενός κτιρίου (Πηγή : www.b2green.gr)

4.9 BIM και Πολιτιστική Κληρονομιά - HBIM

Παρόλο που η τεχνολογία BIM χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό, κατασκευή και διαχείριση των κτιρίων, λίγη έρευνα έχει πραγματοποιηθεί για την εφαρμογή της τεχνολογίας BIM στη διαχείριση κτιρίων πολιτιστικής κληρονομιάς. Η 3d αναπαράσταση κτιρίων πολιτιστικής κληρονομιάς είναι μια περίπλοκη διαδικασία που συνήθως απαιτεί μια υβριδική μορφή οπτικοποίησης με δεδομένα που προέρχονται από διαφορετικές μεθόδους αποτύπωσης όπως τοπογραφικά δεδομένα, σχέδια CAD, φωτογραφίες, φωτογραμμετρικά δεδομένα, δεδομένα από laser scanner. Την τελευταία δεκαετία έχει γίνει εκτεταμένη έρευνα για την ανάπτυξη μεθοδολογιών για τη δημιουργία υψηλής πιστότητας 3d μοντέλων υφιστάμενων κτιρίων πολιτιστικής κληρονομιάς. Στόχος είναι τα μοντέλα αυτά να είναι υψηλής ακρίβειας και οπτικά πιστά. Τα τελευταία χρόνια όμως, η καταγραφή κτιρίων πολιτιστικής κληρονομιάς, έχει πάρει μια στροφή προς τα “έξυπνα δεδομένα” αφού σχετίζονται με την πολιτιστική ανάλυση και την τη διατήρηση των υφιστάμενων κτιρίων (Pauwels et al 2008; Attar et al. 2010). Η στροφή αυτή έχει γίνει για δυο λόγους. Ο πρώτος λόγος είναι η αναγνώριση του BIM ως μια τεχνολογία που μπορεί να διαχειριστεί το κτίριο σε όλη τη διάρκεια ζωής του και ο δεύτερος λόγος είναι η συμβολή του στη συγκέντρωση περίπλοκων σχέσεων μεταξύ των αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς.



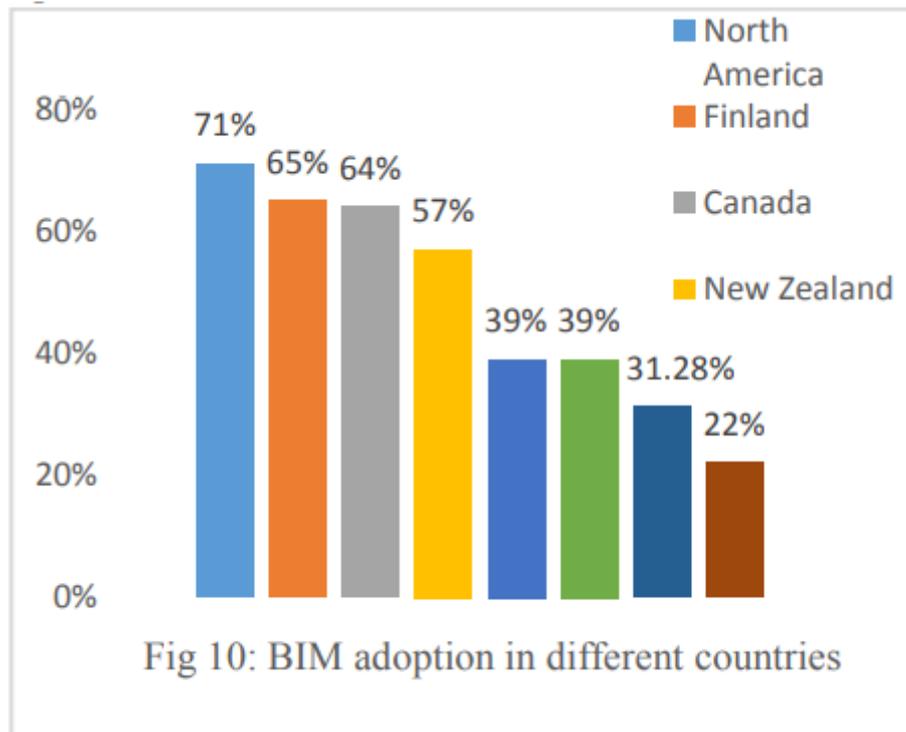
Εικόνα 45 : Παράδειγμα HBIM (Πηγή : <https://link.springer.com>)

Από έρευνες που έχουν διεξαχθεί σε κτίρια πολιτιστικής κληρονομιάς το συμπέρασμα ήταν ότι η τεχνολογία BIM συμβάλλει στην καταγραφή και διατήρηση των κτιρίων πολιτιστικής κληρονομιάς. Ακόμα συμβάλλει στην καλύτερη διατήρηση του κτιρίου σε όλη τη διάρκεια ζωής του και στη λειτουργικότητα του. Τέλος είναι μια πηγή πληροφοριών για τα υλικά και τις μεθόδους κατασκευής κτιρίων πολιτιστικής κληρονομιάς.

4.10 Έρευνες που έχουν διεξαχθεί για την τεχνολογία BIM

Έρευνα από τον Shaikh (2016)

Από έρευνα που διεξήχθη από τον Shaikh (2016), σχετικά με την επίγνωση και υιοθέτηση της τεχνολογίας BIM σε διάφορες χώρες του κόσμου τα δεδομένα που συλλέχτηκαν, αναλύθηκαν και συγκεντρώθηκαν στο διάγραμμα παρακάτω. Τα δεδομένα αυτά συλλέχτηκαν από διάφορες έρευνες που έχουν διεξαχθεί από διάφορους ερευνητές και δείχνουν πως από όλες τις χώρες που διεξήχθη η έρευνα, η Βόρεια Αμερική είναι η χώρα με το μεγαλύτερο ποσοστό υιοθέτησης, με ποσοστό της τάξης του 71%. Η Ινδία είναι η χώρα με το μικρότερο ποσοστό υιοθέτησης, μόλις 22%.



Εικόνα 46 : Υιοθέτηση της τεχνολογίας BIM σε διάφορες χώρες (Πηγή : Shaikh (2016))

Έρευνα από McGrawHill Construction (2008)

Από έρευνα που διεξήχθη από την McGrawHill Construction (2008), σχετικά με τη χρήση της τεχνολογίας BIM στον κατασκευαστικό τομέα το 2008 και τις προβλέψεις για το 2009, διεξήχθη μια έρευνα σε μορφή ερωτηματολογίου στην οποία συμμετείχαν 82 αρχιτέκτονες, 101 μηχανικοί, 80 εργολάβοι, 39 ιδιοκτήτες στις ΗΠΑ. Τα ευρήματα της έρευνας είναι τα ακόλουθα :

- Οι αρχιτέκτονες ήταν οι πιο συχνόι χρήστες της τεχνολογίας BIM. Το 43% των αρχιτεκτόνων χρησιμοποιούν σε περισσότερο από το 60% των εργασιών τους . Οι εργολάβοι ήταν η ομάδα που χρησιμοποιούσε λιγότερο το BIM. Μόλις το 45% των εργολάβων χρησιμοποιούσε την τεχνολογία BIM σε λιγότερο από το 15% των εργασιών τους ενώ το 23% το χρησιμοποιούσε σε περισσότερο από το 60% των εργασιών του.
- Το 82% των ερωτηθέντων πιστεύει πως η τεχνολογία BIM έχει θετική επίδραση στην παραγωγικότητα της εργασίας τους.

- Το 79% των χρηστών BIM υπέδειξαν ότι η χρήση BIM βελτίωσε το αποτέλεσμα της δουλειάς τους, τα προβλήματα συντονισμού μειώθηκαν και οι απαιτήσεις για πληροφορίες ήταν λιγότερες.
- Το 66% των ερωτηθέντων πιστεύουν πως με τη χρήση BIM αύξησαν τις πιθανότητες τους να κερδίσουν μια δουλειά.
- Τα δύο τρίτα των χρηστών ανέφεραν πως η τεχνολογία BIM είχε μια μέτρια επίδραση στις εξωτερικές πρακτικές των εργασιών τους.
- Το 62% των χρηστών BIM σκόπευαν να χρησιμοποιήσουν την τεχνολογία αυτή σε περισσότερο από 30% των εργασιών τους το 2009.

Το συμπέρασμα της έρευνας, ήταν ότι οι δυνατότητες που προσφέρει η τεχνολογία BIM πριν την κατασκευή, θα χρησιμοποιηθούν ευρέως για να μειώσουν το κόστος και να βελτιώσουν την ποιότητα της εργασίας στο πεδίο. Σαν σύνολο, προβλέπουν πως θα επεκταθεί στις επιχειρήσεις και στον κατασκευαστικό τομέα.

Έρευνα από Kunz and Gilligan (2007)

Οι Kunz and Gilligan (2007) διεξήγαγαν μια έρευνα σε μορφή ερωτηματολογίου για να καθορίσουν την αξία από τη χρήση της τεχνολογίας BIM και τους παράγοντες που οδηγούν στην επιτυχία. Τα ευρήματα της έρευνας είναι τα ακόλουθα :

- Η τεχνολογία BIM χρησιμοποιείται σε όλα τα στάδια του σχεδιασμού και της κατασκευής και χρησιμοποιείται σε όλες τις ΗΠΑ.
- Οι κυριότερες εφαρμογές ήταν ο εννοιολογικός σχεδιασμός, η καταγραφή της προόδου των κατασκευών και ο σχεδιασμός της κατασκευής πριν ξεκινήσει η διαδικασία της κατασκευής.
- Η χρήση BIM μείωσε τον συνολικό ρίσκο της κατασκευής.
- Την περίοδο που πραγματοποιήθηκε η έρευνα, οι περισσότερες εταιρείες χρησιμοποιούσαν το BIM για 3d και 4d ανίχνευση συγκρούσεων, για σκοπούς οπτικοποίησης και σχεδιασμού.
- Η χρήση BIM οδήγησε στην αύξηση της παραγωγικότητας, στην καλύτερη επικοινωνία των συνεργατών και σε λιγότερα απρόοπτα.
- Παρατηρήθηκε έλλειψη ικανών χρηστών της τεχνολογίας BIM και αναμένεται η αύξηση της ζήτησης ικανών χρηστών.

Τα συμπεράσματα της έρευνας ήταν ότι η κατασκευαστική βιομηχανία βασίζεται ακόμα στις παραδοσιακές μεθόδους και τεχνικές σχεδιασμού. Οι επαγγελματίες του τομέα των κατασκευών συνειδητοποιούν την αξία του BIM για αποτελεσματικό και έξυπνο σχεδιασμό. Τα αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν ότι οι χρήστες BIM θέλουν μια εφαρμογή που όχι μόνο αξιοποιεί τις δυνατότητες καταγραφής και οπτικοποίησης ενός συστήματος CAD αλλά υποστηρίζει και λειτουργίες πολυδιάστατου σχεδιασμού και διαχείρισης. Η τεχνολογία BIM είναι σε στάδιο ανάπτυξης και συνεχίζει να εξελίσσεται σύμφωνα με τις ανάγκες των χρηστών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

5.1 Αντικείμενο Μοντελοποίησης - Λαμπαδάριο Κτίριο

Ο χώρος που επιλέξαμε για να μοντελοποιηθεί και να δημιουργηθεί το 3d μοντέλο του εσωτερικού του κτιρίου, βρίσκεται στο Λαμπαδάριο Κτίριο της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών (ΣΑΤΜ). Το κτίριο αυτό, φέρει το όνομα του από τον Καθηγητή Δημήτρη Λαμπαδάριο, ο οποίος ήταν για πολλά χρόνια καθηγητής και Κοσμήτορας της Σχολής, ενώ επιτέλεσε και Πρύτανης του ΕΜΠ (1928-1933). Ακόμα ήταν από τους βασικούς εμπνευστές της ίδρυσης της Σχολής Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών που μέχρι το 1917 δεν υπήρχε. Ειδικότερα θα επικεντρωθούμε στη δημιουργία 3D μοντέλου, του εσωτερικού του εργαστηρίου Φωτογραμμετρίας-Κτηματολογίου που βρίσκεται στον πρώτο όροφο του Λαμπαδαρίου Κτιρίου, της Σχολής Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών. Ο χώρος αυτός, αποτελείται από τα γραφεία των καθηγητών των τομέων Φωτογραμμετρίας και Κτηματολογίου, από ένα χώρο Βιβλιοθήκης, από το χώρο του εργαστηρίου Φωτογραμμετρίας και από βοηθητικούς χώρους (αποθήκη, διάδρομοι, τουαλέτες).



Εικόνα 47 : Εξωτερική άποψη του Λαμπαδαρίου Κτιρίου (Πηγή : <http://www.survey.ntua.gr>)

Το κτίριο αυτό φέρει το όνομα του από τον Καθηγητή Δημήτρη Λαμπαδάριο και όπως αναφέρεται στην ιστοσελίδα της ΣΑΤΜ :

Η Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών (ΣΑΤΜ) ιδρύθηκε το 1917 με την επωνυμία «Ανωτάτη Σχολή Τοπογράφων Μηχανικών». Το 1930 η φοίτηση, που μέχρι τότε ήταν 3ετής,

έγινε 4ετής και η σχολή ονομάστηκε «Ανωτάτη Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών». Κύριος εμπνευστής της ιδέας της Σχολής Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών καθώς και των αλλαγών του 1930 ήταν ο Καθηγητής Δημήτριος Λαμπαδάριος, Ακαδημαϊκός και Πρύτανης του ΕΜΠ (1928-1933), βασικός Καθηγητής και Κοσμήτορας της Σχολής για πολλά χρόνια. Το όνομά του φέρει και το αρχικό κτίριο της Σχολής στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου.

Το κτίριο αυτό κατασκευάστηκε όταν δημιουργήθηκε η Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου. Η Πολυτεχνειούπολη έχει έκταση περίπου 1000 στρέμματα. Η μελέτη για την Πολυτεχνειούπολη άρχισε το 1969, αλλά μετά τη δικτατορία, οι δημοκρατικές κυβερνήσεις έδωσαν εντολή να αναμορφωθούν ορθολογιστικά οι αρχικές αρχιτεκτονικές και οικονομικές προβλέψεις. Το γεγονός αυτό είχε ως συνέπεια ο προϋπολογισμός του έργου το 1976 να είναι 4 δισεκατομμύρια δραχμές, για να τελειώσουν όλα τα έργα σε 8 χρόνια. (Πηγή: <https://archive.ert.gr,2009>).

Η επιλογή για τη μοντελοποίηση του εσωτερικού χώρου αυτού του κτιρίου έγινε αρχικά λόγω της πρόσβασης που έχουμε σε όλα τα γραφεία που βρίσκονται στον όροφο αυτό, που έχει ως συνέπεια την ομαλή διεξαγωγή των μετρήσεων. Επιπλέον ο χώρος αυτός της σχολής, δεν είναι τόσο πολυσύχναστος όσο άλλοι χώροι της ΣΑΤΜ και μπορεί να απομονωθεί για μικρό χρονικό διάστημα για την πραγματοποίηση των μετρήσεων, αφού χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο από μέλη του διδακτικού προσωπικού της σχολής. Το γεγονός αυτό διευκολύνει όχι μόνο την ανεμπόδιστη πραγματοποίηση των μετρήσεων, αλλά και τη διαδικασία της επεξεργασίας, αφού έχουμε λιγότερο θόρυβο να αφαιρέσουμε από το τρισδιάστατο μοντέλο. Ακόμα εξασφαλίζεται η ασφάλεια του οργάνου και μειώνεται ο κίνδυνος πρόκλησης ζημιάς σε αυτό, από απροσεξία κάποιου περαστικού.

5.2 Οργάνωση των εργασιών

Για την επίτευξη των καλύτερων αποτελεσμάτων στη διαδικασία δημιουργίας του 3d μοντέλου του κτιρίου και την αποφυγή απροόπτων κατά τη διαδικασία των μετρήσεων, αναγκαίο ήταν να διαχωρίσουμε τη διαδικασία των μετρήσεων σε επιμέρους στάδια. Το πρώτο στάδιο, που είναι και το σημαντικότερο, είναι η αναγνώριση της περιοχής διότι καθορίζει τα όργανα που θα χρησιμοποιηθούν για τις μετρήσεις και άρα τη μέθοδο μοντελοποίησης που θα χρησιμοποιηθεί. Έπεται το στάδιο της επεξεργασίας των μετρήσεων με τη μέθοδο που επιλεχθεί και τελευταίο είναι το στάδιο της απόδοσης.

5.2.1 Αναγνώριση της περιοχής

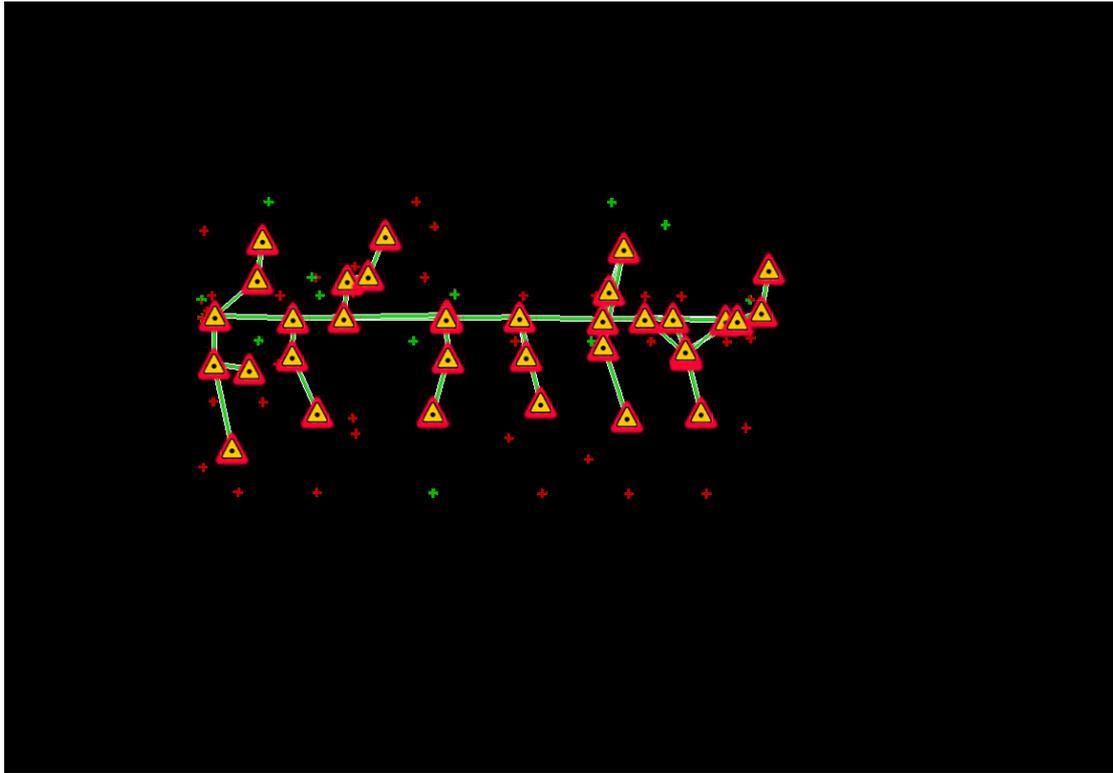
Κάθε χώρος που αποτυπώνεται κρύβει κάποιες ιδιαιτερότητες. Ένας εξωτερικός χώρος επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες και από το περιβάλλον που το περιβάλλει, ενώ ένας εσωτερικός χώρος από τη σκίαση και το φωτισμό. Στην περίπτωση του Λαμπαδαρίου

Κτιρίου, ο χώρος έκρυβε και μια άλλη ιδιαιτερότητα, ότι τις περισσότερες ώρες έχει ανθρώπους που εμποδίζουν τη διαδικασία των μετρήσεων και δημιουργούν θόρυβο στο νέφος σημείων. Για το λόγο αυτό οι μετρήσεις έπρεπε να γίνουν κάποια ώρα της ημέρας που δεν παρατηρείται έντονη ανθρώπινη δραστηριότητα, για τους λόγους που αναφέραμε παραπάνω, αλλά και για την προστασία του εξοπλισμού από την απροσεξία των ανθρώπων. Επιπλέον μια άλλη ιδιαιτερότητα του χώρου είναι ότι υπάρχει ένας μεγάλος διάδρομος που δυσχεραίνει το “registration” των σαρώσεων μεταξύ τους, λόγω της ομοιομορφίας του χώρου. Ακόμα ιδιαίτερη προσοχή θέλει η κατανομή των στάσεων σάρωσης, προκειμένου οι στάσεις μεταξύ τους να έχουν επαρκές επικαλυπτόμενο για να έχουμε ικανοποιητικά αποτελέσματα στη διαδικασία του “registration” και να μην υπάρχουν κενές περιοχές στις σαρώσεις.

Επειδή ο χώρος που θα αποτυπωνόταν, αποτελείται από ένα μεγάλο διάδρομο, όπου υπάρχει ομοιομορφία σημείων και από χώρους γραφείων όπου οι σαρώσεις στους χώρους αυτούς έχουν μικρό επικαλυπτόμενο με τις προηγούμενες, έχει ως συνέπεια την παρεμπόδιση της διαδικασίας του “registration”. Για το λόγο αυτό, κρίθηκε αναγκαίο να τοποθετηθούν στόχοι στο χώρο των μετρήσεων, για να έχουμε καλύτερα αποτελέσματα στη διαδικασία συνένωσης των νεφών, αφού οι στόχοι αναγνωρίζονται από το σαρωτή laser και χρησιμοποιούνται ως αναφορά από το λογισμικό κατά τη διαδικασία του “registration”. Οι στόχοι τοποθετήθηκαν σε κατάλληλα σημεία έτσι ώστε από κάθε στάση του laser scanner, να υπάρχει ορατότητα τριών τουλάχιστον στόχων. Συνήθως επιδιώκουμε κάθε σάρωση να έχει ορατότητα 3-5 στόχων. Τέλος οι περισσότερες στάσεις είχαν ορατότητα περισσότερων των 3 στόχων .

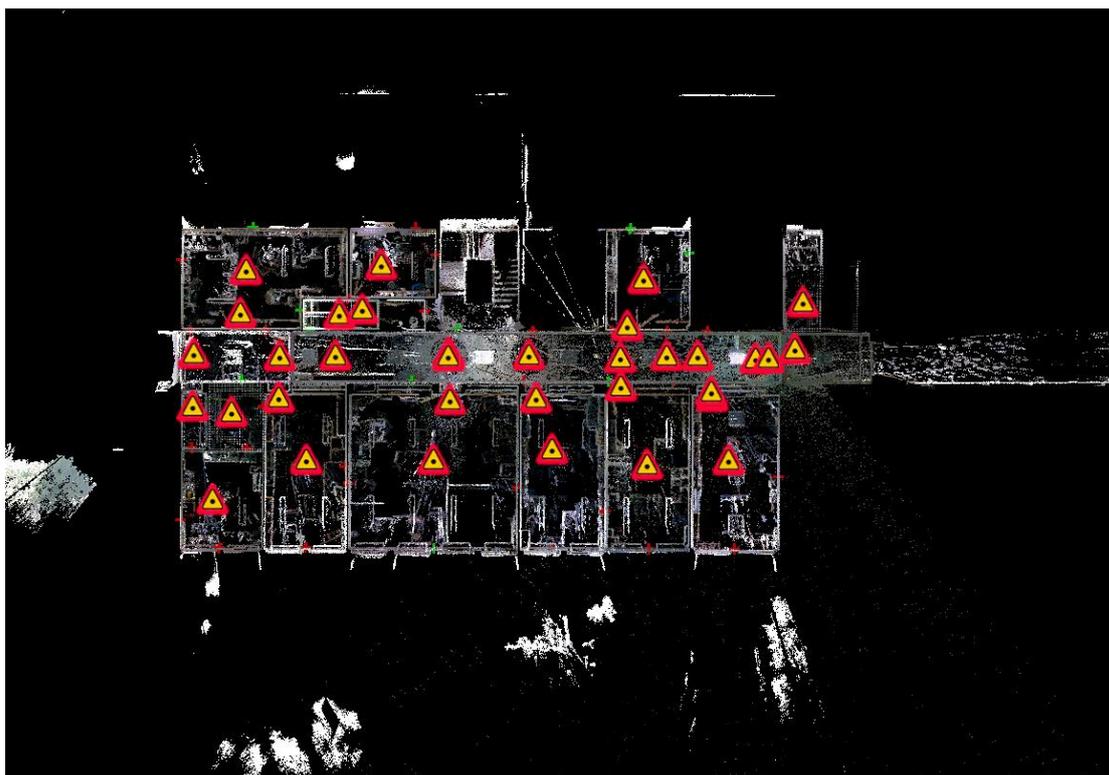
5.2.2 Μετρήσεις

Σε αντίθεση με τις κλασσικές μεθόδους αποτύπωσης, ο σαρωτής δεν τοποθετείται σε συγκεκριμένο σημείο και δεν υπάρχει ανάγκη προσδιορισμού των συντεταγμένων του σημείου στάσης. Στις κλασσικές μεθόδους αποτύπωσης, το σημείο στάσης συσχετίζεται με τα σημεία που αποτυπώνονται και μας δίνονται οι συντεταγμένες τους. Με τη μέθοδο της σάρωσης, τα σημεία δεν συσχετίζονται με τη θέση του σαρωτή αλλά το καθένα συσχετίζεται με τα γειτονικά του σημεία. Για τη διαδικασία των μετρήσεων κρίθηκε απαραίτητο να τοποθετηθούν στόχοι στο χώρο, οι οποίοι αναγνωρίζονται από το σαρωτή laser και χρησιμοποιούνται ως αναφορά από το λογισμικό κατά τη διαδικασία του “registration”. Σε κάθε χώρο γραφείου τοποθετήθηκαν 2 στόχοι ενώ στόχοι τοποθετήθηκαν και κατά μήκος του διαδρόμου. Στην Εικόνα 48 φαίνονται οι στόχοι που αναγνωρίστηκαν από το laser scanner στο χώρο που σαρώθηκε με σταυρό ενώ διακρίνονται και οι στάσεις όπου τοποθετήθηκε το laser scanner με τρίγωνο.



Εικόνα 48: Σκαρίφημα της θέσης των στόχων που τοποθετήθηκαν και των στάσεων του laser scanner, στο πρόγραμμα REGISTER360

Μεριμνήσαμε οι στόχοι, όσο το δυνατόν είναι εφικτό, να βρίσκονται σε διαφορετικά ύψη και διαδοχικοί στόχοι να μην βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους. Αφού ολοκληρώσαμε την τοποθέτηση όλων των στόχων, οι στόχοι αριθμήθηκαν προκειμένου να διευκολυνθούμε όταν μετρηθούν γεωδαιτικά με total station. Σειρά είχαν οι σαρώσεις με το laser scanner. Σημαντική είναι η σωστή κατανομή των στάσεων έτσι ώστε να μην υπάρχουν προβλήματα κενών κατά την επεξεργασία αλλά και για να γλυτώσουμε χρόνο σάρωσης. Σε κάθε γραφείο έγιναν δύο σαρώσεις με το laser scanner, μια σάρωση κοντά στην πόρτα του κάθε γραφείου και μια στο κέντρο κάθε γραφείου. Η σάρωση στην πόρτα ήταν απαραίτητη γιατί δίχως αυτήν δεν θα μπορούσαν να συνδεθούν οι σαρώσεις μέσα στα γραφεία με τις σαρώσεις του διαδρόμου, αφού το επικαλυπτόμενο είναι πολύ μικρό. Κατά αυτόν τον τρόπο το επικαλυπτόμενο μεγαλώνει και είναι δυνατή η σωστή σύνδεση των δύο σαρώσεων. Ακόμα οι σαρώσεις στο διάδρομο ήταν σε κοντινές αποστάσεις μεταξύ τους, για να υπάρχει αρκετό επικαλυπτόμενο μεταξύ των δυο σαρώσεων και λόγω της δυσκολίας στη διαδικασία συνένωσης δύο διαδοχικών σαρώσεων στους διαδρόμους. Αυτό συμβαίνει γιατί τα σημεία στους διαδρόμους έχουν το ίδιο μοτίβο και δεν έχουν κάποια ξεχωριστά σημεία για να διευκολυνθεί η διαδικασία της συνένωσης των νεφών. Τέλος αφού τελείωσε η διαδικασία των σαρώσεων, επιλεγμένοι στόχοι μετρήθηκαν γεωδαιτικά με total station γιατί οι στόχοι αυτοί λειτουργούν σαν σημεία ελέγχου. Έτσι σε περίπτωση που το μοντέλο στο στάδιο της επεξεργασίας ήταν λανθασμένο, θα μπορούσαμε να το γεωαναφέρουμε και να το μετακινήσουμε στις σωστές συντεταγμένες.



Εικόνα 49 : Σκαρίφημα των στάσεων του laser scanner και του νέφους σημείων που δημιουργήθηκε

5.2.3 Επεξεργασία Μετρήσεων

Η επεξεργασία των μετρήσεων έγινε με δύο προγράμματα, το Cyclone REGISTER360 και το Autodesk ReCap. Αρχικά μεταφέραμε τις μετρήσεις από το laser scanner στον υπολογιστή. Έπειτα πραγματοποιήθηκε το “registration” των σαρώσεων στο πρόγραμμα Cyclone REGISTER360. Το πρόγραμμα αυτό, παρέχει στους χρήστες τη δυνατότητα να κάνει αυτόματα το “registration” των σαρώσεων, όταν υπάρχει αρκετή επικάλυψη μεταξύ δυο σαρώσεων χωρίς την παρέμβαση του χρήστη. Ωστόσο επιλέξαμε το πρόγραμμα να μην κάνει αυτόματα το “registration” των σαρώσεων και για αυτό το “registration” των σαρώσεων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του εργαλείου “manual registration”, όπου μας δίνεται η δυνατότητα ουσιαστικά να κρατάμε τη μία σάρωση σταθερή και να κουνάμε την άλλη μέχρι να ταυτιστεί με αυτή που έχουμε σταθερή. Αφού οι δύο σαρώσεις συνενωθούν, δημιουργείται ένα σύνδεσμος (bundle) μεταξύ των δύο αυτών σαρώσεων και πλέον οι δυο αυτές σαρώσεις μετακινούνται μαζί. Αφού το συνολικό “registration” βγει ανάμεσα σε ανεκτά όρια και το οποίο καθορίζει την ακρίβεια των δεδομένων, εξάγουμε το project σε κατάλληλη μορφή αρχείου για να μπορέσουμε να εισάγουμε το νέφος σημείων στο πρόγραμμα Autodesk ReCap. Οι δείκτες “Overlap” και “Strength” μας δείχνουν την ποιότητα του registration.

Overlap: Το ποσοστό των σημείων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο σκανάρισμα που αλληλεπικαλύπτονται με σημεία που έχουν ήδη εγγραφεί.

Strength : Η ποιότητα των ορατών σημείων που χρησιμοποιούνται στην εγγραφή.

Επιπλέον το χρώμα που έχουν οι σύνδεσμοι (bundles) που δημιουργούνται μεταξύ των σαρώσεων μετά τη συνένωση τους, μας δείχνει και το σφάλμα τους, όπως φαίνεται στην Εικόνα 50.



Εικόνα 50 : Πως ορίζεται το σφάλμα των συνδέσμων στο Register360 μέσω των χρωμάτων (Πηγή : <https://lasers.leica-geosystems.com>)

Στο πρόγραμμα Autodesk ReCap εισάγαμε το project μας για να απαλειφθεί ο θόρυβος και για να διαγράψουμε όσα σημεία δεν μας χρειάζονταν. Τέτοια σημεία είναι οι μορφές ανθρώπων που βρίσκονταν στο χώρο τη στιγμή της σάρωσης και σημεία εκτός του χώρου που σαρώθηκαν και δεν μας χρειάζονται.

5.3 Συλλογή τρισδιάστατων δεδομένων με τη χρήση laser scanner

Πριν ξεκινήσει η διαδικασία των σαρώσεων, έγινε αναγνώριση του χώρου που θα σαρώναμε με το laser scanner (Εικόνα 51), προκειμένου να διαπιστώσουμε τις ιδιαιτερότητες του χώρου και να αποφευχθούν λάθη κατά τη διαδικασία της σάρωσης του χώρου. Ο χώρος αυτός αποτελείται από ένα μεγάλο διάδρομο, δυο σκοτεινούς μικρούς διαδρόμους, 10 γραφεία και 1 μπάνιο.



Εικόνα 51 : Μέρος του χώρου που θα σαρωθεί

Ο μεγάλος αυτός σε μήκος διάδρομος δημιουργεί προβλήματα κατά τη διαδικασία της συνένωσης των νεφών γιατί δεν υπάρχουν πολλά χαρακτηριστικά σημεία στην επιφάνεια του. Για το λόγο αυτό επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε στόχους, όπου σχηματίζουν ένα σχήμα τύπου Χ, όπου υπάρχει ένα ευδιάκριτο σημείο στο κέντρο του στόχου (Εικόνα 52).



Εικόνα 52 : Ο τύπος του στόχου που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια των σαρώσεων

Μερμνήσαμε από κάθε στάση σάρωσης να διακρίνονται τουλάχιστον 3 στόχοι. Οι στόχοι αυτοί έπρεπε να είναι σε διαφορετικά ύψη και να μην είναι συνευθειακοί. Έπειτα οι στόχοι αριθμήθηκαν ενώ συνολικά χρησιμοποιήσαμε 48 στόχους. Μια άλλη ιδιαιτερότητα του χώρου ήταν ότι τα παράθυρα των γραφείων κάλυπταν μεγάλη επιφάνεια, με συνέπεια σημεία που βρίσκονται εκτός του χώρου που σαρώνεται, να καταγράφονται από το σαρωτή, δημιουργώντας θόρυβο. Για το λόγο αυτό οι σαρώσεις σε όποια γραφεία μπορούσαν να κατέβουν τα στόρια, έγιναν με κατεβασμένα στόρια για να μειώσουμε τη δημιουργία θορύβου. Επιπλέον σε κάθε γραφείο έγιναν δυο σαρώσεις, μια κοντά στην πόρτα και μια στο κέντρο του δωματίου προκειμένου να υπάρχει αρκετό επικαλυπτόμενο για να γίνει η συνένωση των νεφών. Όλες οι σαρώσεις έγιναν με “scan density” medium, εκτός από δυο σαρώσεις στο κέντρο περίπου του διαδρόμου της περιοχής σάρωσης που έγιναν με “high”, προκειμένου ο σαρωτής να σαρώσει τους περισσότερους στόχους που είχαν τοποθετηθεί στο διάδρομο. Προκειμένου να σαρωθεί ολόκληρος ο χώρος που θα αποτυπωνόταν, χρειάστηκε να πραγματοποιηθούν συνολικά 34 σαρώσεις.

5.3.1 Κατέβασμα σαρώσεων από τον BLK360

Επειδή ο καθαρισμός των νεφών των σημείων και το registration, θα γίνονταν σε δυο διαφορετικά προγράμματα, αναγκαίο ήταν οι σαρώσεις να κατέβουν σε αυτά τα δύο προγράμματα ξεχωριστά.

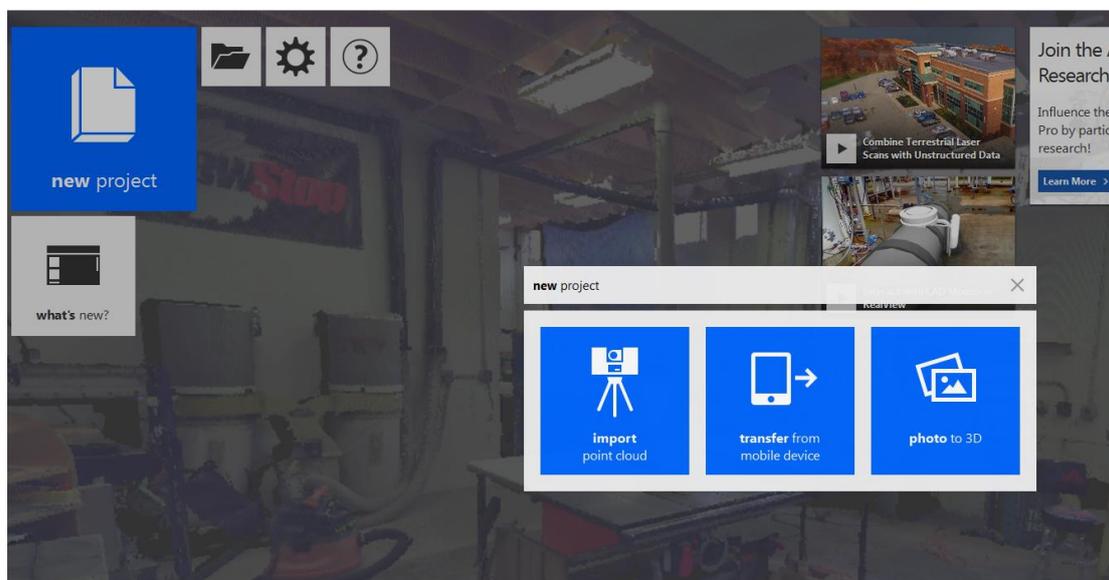
Αρχικά οι σαρώσεις εισήχθησαν στο πρόγραμμα Cyclone REGISTER 360, όπου θα γινόταν το registration των σαρώσεων. Δημιουργήθηκε ένα νέο project στο πρόγραμμα και συνδέσαμε μέσω wifi το σαρωτή με τον υπολογιστή μας. Έπειτα πατήσαμε την επιλογή “Import BLK360”, επιλέξαμε τις σαρώσεις μας και έπειτα “add to project”. Έχοντας το “Auto Target” επιλεγμένο, επιλέξαμε την επιλογή “Import” και έτσι ξεκίνησε η διαδικασία φόρτωσης όλων των σημείων στο πρόγραμμα. Η διαδικασία αυτή διήρκησε αρκετό χρόνο εξαιτίας του όγκου των δεδομένων των σαρώσεων. Στην Εικόνα 53 φαίνονται τα αρχεία των σαρώσεων που δημιουργήθηκαν.

BLK360_3503444_Setup1.blk	11/13/2018 12:31 ...	Αρχείο BLK	252,518 KB
BLK360_3503444_Setup2.blk	11/13/2018 12:33 ...	Αρχείο BLK	246,467 KB
BLK360_3503444_Setup3.blk	11/13/2018 12:34 ...	Αρχείο BLK	275,823 KB
BLK360_3503444_Setup4.blk	11/13/2018 12:35 ...	Αρχείο BLK	254,359 KB
BLK360_3503444_Setup5.blk	11/13/2018 12:36 ...	Αρχείο BLK	251,487 KB
BLK360_3503444_Setup6.blk	11/13/2018 12:37 ...	Αρχείο BLK	265,920 KB
BLK360_3503444_Setup7.blk	11/13/2018 12:38 ...	Αρχείο BLK	256,354 KB
BLK360_3503444_Setup8.blk	11/13/2018 12:39 ...	Αρχείο BLK	245,440 KB
BLK360_3503444_Setup9.blk	11/13/2018 12:40 ...	Αρχείο BLK	263,090 KB
BLK360_3503444_Setup10.blk	11/13/2018 12:41 ...	Αρχείο BLK	256,670 KB
BLK360_3503444_Setup11.blk	11/13/2018 12:42 ...	Αρχείο BLK	257,133 KB
BLK360_3503444_Setup12.blk	11/13/2018 12:43 ...	Αρχείο BLK	250,879 KB
BLK360_3503444_Setup13.blk	11/13/2018 12:45 ...	Αρχείο BLK	241,034 KB
BLK360_3503444_Setup14.blk	11/13/2018 12:46 ...	Αρχείο BLK	249,970 KB
BLK360_3503444_Setup15.blk	11/13/2018 12:47 ...	Αρχείο BLK	248,090 KB
BLK360_3503444_Setup16.blk	11/13/2018 12:50 ...	Αρχείο BLK	484,404 KB
BLK360_3503444_Setup17.blk	11/13/2018 12:51 ...	Αρχείο BLK	258,966 KB
BLK360_3503444_Setup18.blk	11/13/2018 12:52 ...	Αρχείο BLK	276,647 KB
BLK360_3503444_Setup20.blk	11/13/2018 12:55 ...	Αρχείο BLK	455,749 KB
BLK360_3503444_Setup21.blk	11/13/2018 12:58 ...	Αρχείο BLK	496,820 KB
BLK360_3503444_Setup23.blk	11/13/2018 12:59 ...	Αρχείο BLK	249,092 KB
BLK360_3503444_Setup24.blk	11/13/2018 1:00 PM	Αρχείο BLK	246,956 KB
BLK360_3503444_Setup25.blk	11/13/2018 1:02 PM	Αρχείο BLK	247,217 KB
BLK360_3503444_Setup26.blk	11/13/2018 1:03 PM	Αρχείο BLK	242,656 KB
BLK360_3503444_Setup27.blk	11/13/2018 1:04 PM	Αρχείο BLK	248,902 KB
BLK360_3503444_Setup28.blk	11/13/2018 1:05 PM	Αρχείο BLK	257,009 KB
BLK360_3503444_Setup29.blk	11/13/2018 1:06 PM	Αρχείο BLK	224,692 KB
BLK360_3503444_Setup30.blk	11/13/2018 1:07 PM	Αρχείο BLK	249,001 KB
BLK360_3503444_Setup31.blk	11/13/2018 1:08 PM	Αρχείο BLK	249,898 KB
BLK360_3503444_Setup32.blk	11/13/2018 1:09 PM	Αρχείο BLK	232,620 KB
BLK360_3503444_Setup33.blk	11/13/2018 1:10 PM	Αρχείο BLK	244,856 KB
BLK360_3503444_Setup34.blk	11/13/2018 1:11 PM	Αρχείο BLK	242,945 KB
BLK360_3503444_Setup35.blk	11/13/2018 1:13 PM	Αρχείο BLK	243,954 KB
BLK360_3503444_Setup36.blk	11/13/2018 1:14 PM	Αρχείο BLK	253,783 KB
BLK360_3503444_Setup37.blk	11/13/2018 1:15 PM	Αρχείο BLK	250,716 KB
BLK360_3503444_Setup38.blk	11/13/2018 1:16 PM	Αρχείο BLK	280,941 KB
BLK360_3503444_Setup39.blk	11/13/2018 1:17 PM	Αρχείο BLK	262,976 KB

Εικόνα 53 : Τα αρχεία των σαρώσεων που δημιουργήθηκαν

Για να κατεβάσουμε τα δεδομένα των σαρώσεων στον υπολογιστή μας, στο πρόγραμμα ReCap, αναγκαίο ήταν να συνδεθεί ο υπολογιστής μας μέσω καλωδίου με το i pad που χρησιμοποιήσαμε κατά τη διάρκεια των σαρώσεων. Έχοντας ανοιχτό το πρόγραμμα ReCap και στον υπολογιστή και στο i pad, μπορούμε να ξεκινήσουμε τη διαδικασία φόρτωσης των σαρώσεων. Δημιουργούμε νέο project στον υπολογιστή και επιλέγουμε την επιλογή transfer from mobile device (Εικόνα 54), όπου θα σκαναριστούν όλα τα αρχεία σαρώσεων

που υπάρχουν στο i rad. Αφού επιλέξουμε το αρχείο σαρώσεων που θέλουμε, επιλέγουμε που θέλουμε να αποθηκευτούν και ξεκινάει η διαδικασία κατεβάσματος των δεδομένων. Η διαδικασία αυτή διαρκεί αρκετά λεπτά, όπως και στο πρόγραμμα REGISTER360. Αφού ολοκληρωθεί η μεταφορά των δεδομένων, μπορούμε δούμε τις σαρώσεις μας στο πρόγραμμα αυτό, να ξεκινήσουμε τη διαδικασία του registration και να επεξεργαστούμε τα δεδομένα των σαρώσεων.



Εικόνα 54 : Στάδιο της διαδικασίας μεταφοράς των δεδομένων στο πρόγραμμα ReCap

Οι τύποι των αρχείων που δημιουργήθηκαν για κάθε σάρωση μέσω του προγράμματος ReCap, φαίνονται στην Εικόνα 55.

📁 sourcedata	11/15/2018 10:05 ...	Φάκελος αρχείων	
📁 Temporary Cache Files	1/22/2019 8:13 PM	Φάκελος αρχείων	
📄 polytexneio manos 1.diff	11/13/2018 12:54 ...	Αρχείο DIFF	79,734 KB
📄 polytexneio manos 1.llt	11/13/2018 12:54 ...	Αρχείο LLT	512 KB
📄 polytexneio manos 1.rcc	11/13/2018 12:54 ...	Αρχείο RCC	45,644 KB
📄 polytexneio manos 1.rch	11/13/2018 12:54 ...	Αρχείο RCH	12,641 KB
📄 polytexneio manos 1	11/13/2018 1:11 PM	Autodesk ReCap S...	197,752 KB
📄 polytexneio manos 1.thumbnail	11/13/2018 12:54 ...	Αρχείο THUMBN...	317 KB
📄 polytexneio manos 1_inter18_0.temp16	11/13/2018 12:54 ...	Αρχείο TEMP16	1 KB
📄 polytexneio manos 1_inter29_0.temp27	11/13/2018 12:54 ...	Αρχείο TEMP27	1 KB

Εικόνα 55 : Τύποι αρχείων σαρώσεων που δημιουργήθηκαν στο πρόγραμμα ReCap

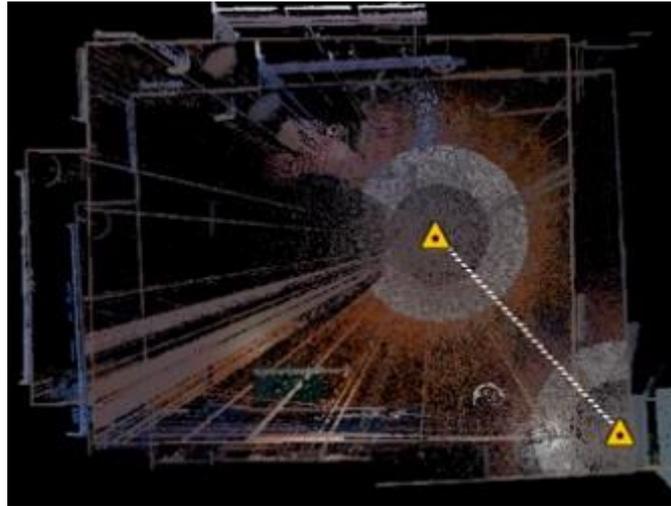
5.3.2 Συνένωση των νεφών

Το επόμενο βήμα που πραγματοποιείται μετά την εισαγωγή των σημείων στο λογισμικό, είναι η ένωση των μοντέλων (registration) που δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια των σαρώσεων. Τα μοντέλα ενώνονται μεταξύ τους με βάση κοινές τους περιοχές που έχουν στο νέφος τους. Για τη συνένωση των νεφών, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα επεξεργασίας νεφών, Cyclone REGISTER 360, που χρησιμοποιεί ο σαρωτής BLK360 για την επεξεργασία των νεφών που παράγονται από τις σαρώσεις του. Αρχικά δημιουργήσαμε ένα καινούργιο project και ύστερα εισάγαμε τα δεδομένα κάθε σάρωσης, έχοντας ενεργοποιημένη την επιλογή "Auto Target" και όχι τις επιλογές "Auto Cloud" και "Pre-Registered" στο πεδίο properties.

- Η επιλογή "Auto Target", επιλέγεται όταν έχουμε χρησιμοποιήσει κατά τη διαδικασία των σαρώσεων, τους ασπρόμαυρους στόχους που τοποθετήσαμε στην περιοχή αποτύπωσης. Το πρόγραμμα REGISTER 360 θα ψάξει αυτόματα για να βρει αυτούς τους στόχους και θα συνενώσει τα νέφη των σημείων με βάση αυτούς του στόχους. Ακόμα οι στόχοι αυτοί δεν χρειάζεται να επισημανθούν από το χρήστη, το πρόγραμμα τους αναγνωρίζει αυτόματα.
- Η επιλογή "Auto Cloud" χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις που τα δεδομένα που εισάγουμε στο πρόγραμμα δεν έχουν συνενωθεί μεταξύ τους και δεν έχουμε χρησιμοποιήσει στόχους κατά τη διαδικασία των σαρώσεων. Η επιλογή αυτή θα κάνει μια αρχική ευθυγράμμιση των νεφών και θα συνενώσει τις διατάξεις βάσει της γεωμετρίας των σαρώσεων.
- Η επιλογή "Pre-Registered" επιλέγεται για δεδομένα που έχουν συνενωθεί σε άλλα λογισμικά συνένωσης νεφών. Με την επιλογή αυτή διατηρούνται οι ευθυγραμμίσεις και οι μετασχηματισμοί που υπάρχουν στα δεδομένα και παράγονται μόνο δεσμοί που είναι μοναδικοί για το Cyclone REGISTER 360.

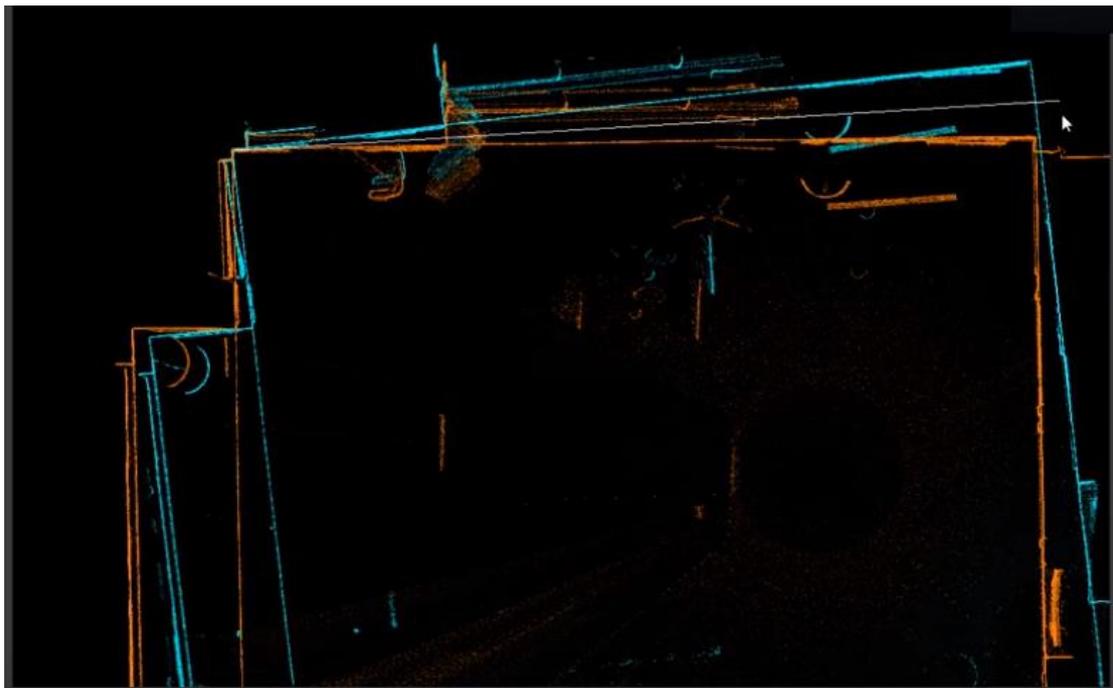
Με ενεργοποιημένη μόνο την επιλογή "Auto Target", το πρόγραμμα θα επιχειρήσει να αναγνωρίσει τους στόχους που τοποθετήσαμε στην περιοχή σάρωσης, χωρίς τη δική μας παρέμβαση. Όταν έχει τελειώσει η διαδικασία εισαγωγής των σαρώσεων στο πρόγραμμα, παρατηρούμε ότι οι σαρώσεις είναι τυχαία τοποθετημένες στο χώρο. Κάθε σάρωση μπορούμε να την μετακινήσουμε και να την περιστρέψουμε προκειμένου να διευκολυνθεί η διαδικασία συνένωσης τους. Φέρνοντας κοντά δυο σαρώσεις που για παράδειγμα είναι από τον ίδιο χώρο παρατηρούμε ότι δημιουργείται ανάμεσα στις δύο αυτές σαρώσεις ένας δεσμός (link), που αντιπροσωπεύεται στο πρόγραμμα από μια διακεκομμένη άσπρη γραμμή όπως φαίνεται στην Εικόνα 56.

Η δυνατότητα αυτή του προγράμματος είναι πολύ χρήσιμη στις περιπτώσεις που έχουμε να συνενώσουμε πολλά νέφη σημείων και δεν θυμόμαστε πολύ καλά το χώρο αποτύπωσης, εξοικονομώντας παράλληλα χρόνο επεξεργασίας και αποφεύγοντας λάθη στη διαδικασία της συνένωσης των νεφών. Επιπλέον είναι χρήσιμο σε περιπτώσεις όπου οι χώροι είναι παρόμοιοι μεταξύ τους και δυσκολευόμαστε να τους αναγνωρίσουμε.



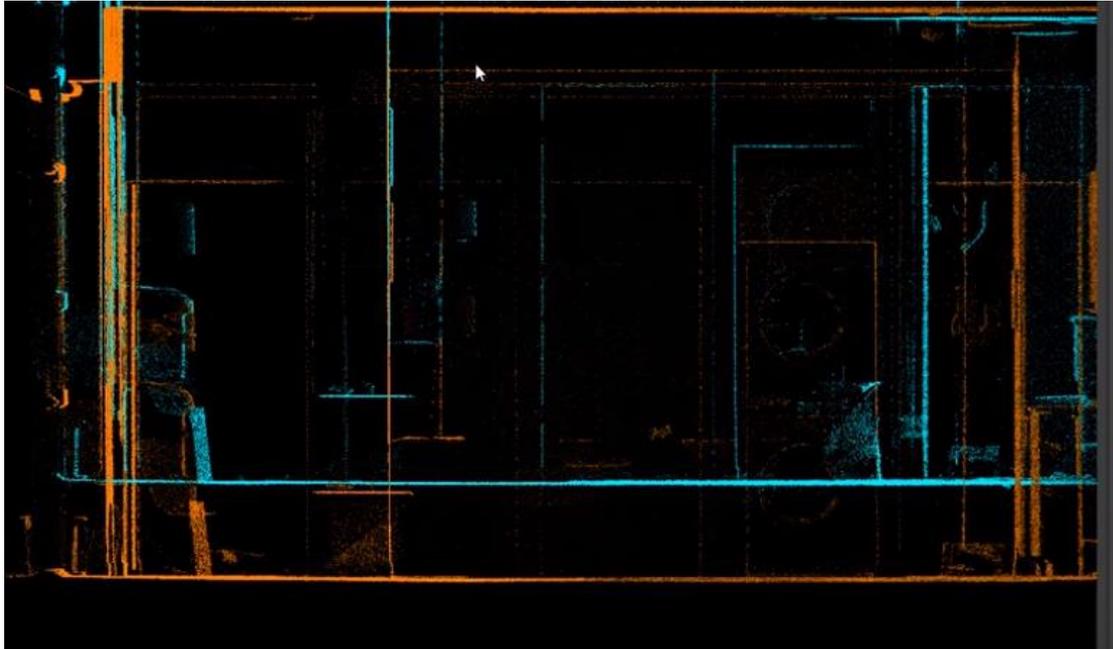
Εικόνα 56 : Δεσμός που δημιουργείται μεταξύ δυο διαφορετικών στάσεων που έχουν αποτυπώσει τον ίδιο χώρο (Πηγή : Andy Fontana,2018)

Για δική μας διευκόλυνση, ξεκινήσαμε τη διαδικασία του “registration”, συνενώνοντας τις σαρώσεις που σαρώσαμε πρώτα. Για το λόγο αυτό, φέραμε κοντά τα νέφη σημείων που δημιουργήθηκαν από τις πρώτες σαρώσεις που διενεργήθηκαν. Για να ξεκινήσει η διαδικασία του “registration” δύο τυχαίων νεφών σημείων, αρχικά τα επιλέγαμε και έπειτα με το εργαλείο “visual registration”, βλέπαμε σε κάτοψη το νέφος των σημείων των δύο στάσεων που έχουν σαρωθεί. Κάθε σάρωση απεικονίζεται με διαφορετικό χρώμα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 57. Στόχος της διαδικασίας αυτής είναι να ταυτίσουμε τα δύο νέφη, μετακινώντας το ένας νέφος ενώ το άλλο παρέμενε σταθερό, τόσο σε οριζοντιογραφικό όσο σε υψομετρικό επίπεδο. Πρώτα ταυτίζαμε τα νέφη σε οριζοντρογραφικό επίπεδο ή “x-axis” όπως αναφέρεται στο πρόγραμμα και έπειτα σε υψομετρικό επίπεδο ή σε “z-axis” (Εικόνα 58).



Εικόνα 57 : Συνένωση νεφών με τη χρήση του εργαλείου Visual Registration σε “x-axis”
(Πηγή : Andy Fontana,2018)

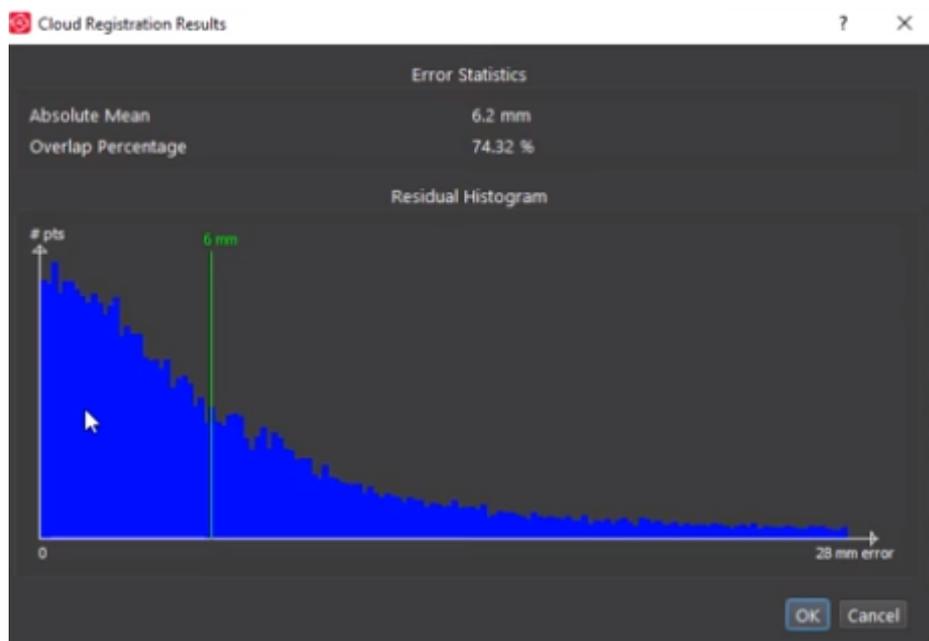
Ωστόσο επειδή οι σαρώσεις μας ήταν όλες στο ίδιο επίπεδο, δεν χρειάστηκε να κάνουμε ιδιαίτερες διορθώσεις στο υψομετρικό επίπεδο των νεφών, κυρίως ταυτίζαμε τα νέφη στο οριζοντιογραφικό επίπεδο.



Εικόνα 58 : Συνένωση νεφών με τη χρήση του εργαλείου Visual Registration σε “z-axis”
(Πηγή : Andy Fontana,2018)

Όταν κρίναμε ότι έχουμε φέρει τα δυο νέφη στη σωστή θέση και έχουν ταυτιστεί, επιλέγαμε την επιλογή “Join and Optimize”, που μας έδινε τα αποτελέσματα του “registration” των δύο νεφών. Τα αποτελέσματα αυτά είναι ένα ιστόγραμμα (Residual Histogram) ανάμεσα στα σημεία του νέφους και στο σφάλμα τους. Ακόμα μας δίνονται και κάποια στατιστικά στοιχεία, όπως φαίνεται στην Εικόνα 59. Τα στατικά στοιχεία είναι :

1. το ποσοστό της επικάλυψης μεταξύ των δύο νεφών που όσο μεγαλύτερο είναι τόσο καλύτερο θα είναι και το “registration” των νεφών που συνενώνονται
2. ο απόλυτος μέσος όρος του σφάλματος των σημείων



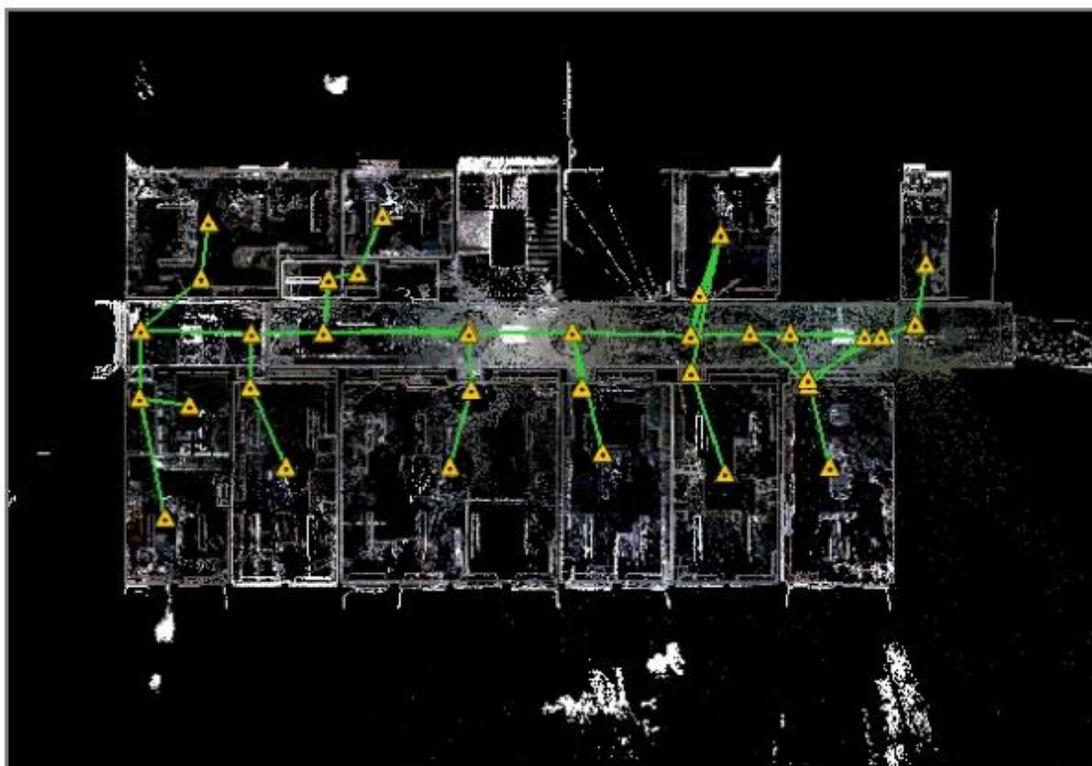
Εικόνα 59 : Αποτελέσματα του “ registration” σαρώσεων (Πηγή : Andy Fontana,2018)

Για να είναι τα αποτελέσματα του “registration” ικανοποιητικά, έπρεπε τα περισσότερα σημεία να είναι στα αριστερά του ιστογράμματος, όπου υποδηλώνεται ότι τα σημεία της μίας σάρωσης ταιριάζουν με τα σημεία της άλλης σάρωσης. Ακόμα το ποσοστό της επικάλυψης έπρεπε να είναι πάνω από 25-30% . Εάν τα αποτελέσματα του registration δεν είναι καλά, μπορούμε να ξανακάνουμε τη διαδικασία αυτή από την αρχή. Ειδάλλως αποδεχόμαστε τα αποτελέσματα και δημιουργείται μεταξύ των δυο σαρώσεων ένα bundle που φαίνεται με πράσινο χρώμα στην Εικόνα 60. Οι δυο αυτές σαρώσεις μετά τη συνένωση τους, μετακινούνται πλέον μαζί.



Εικόνα 60 : Δέσμη (bundle) που δημιουργείται μεταξύ δυο σαρώσεων που έχουν συνενωθεί

Επαναλάβαμε τη διαδικασία αυτή για όλες τις σαρώσεις και στο τέλος της διαδικασίας παρατηρούμε ότι όλες οι σαρώσεις μετακινούνται μαζί σε ένα ενιαίο νέφος. Επιπλέον για να έχουμε σωστό αποτέλεσμα στο "registration" των νεφών, πρέπει όλα τα links να είναι πράσινα που σημαίνει ότι έχουμε σφάλμα 15 mm ή μικρότερο. Τέλος πατώντας την επιλογή "FINALIZE" μας δίνεται το registration report όλων των νεφών συνολικά. Στην Εικόνα 61 φαίνεται η συνένωση όλων των επιμέρους νεφών σε ένα ενιαίο νέφος, μαζί με τους δεσμούς που δημιουργήθηκαν μεταξύ των σαρώσεων και τις στάσεις όπου πραγματοποιήθηκαν οι σαρώσεις.

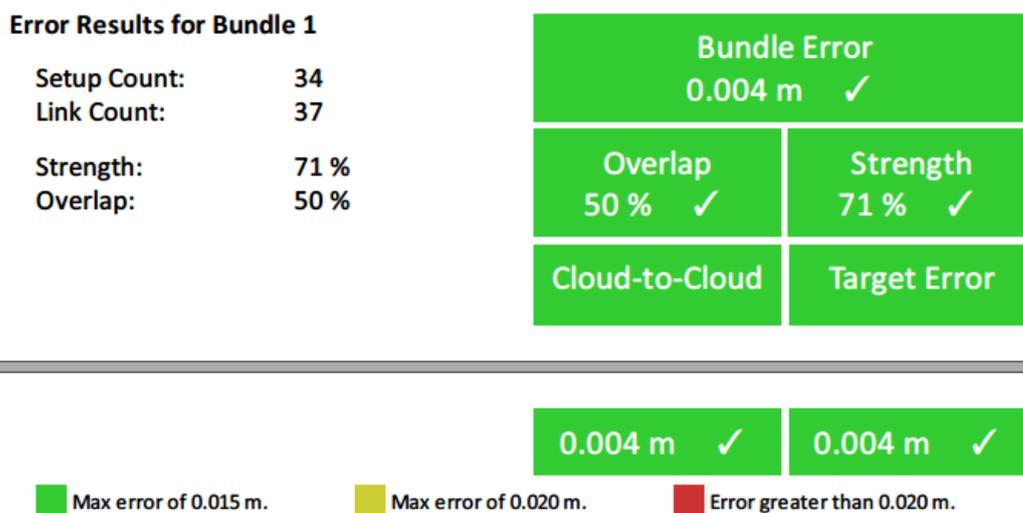


Εικόνα 61: Τελικό συνενωμένο νέφος σημείων

Όπως φαίνεται από το report που μας παρέχει το πρόγραμμα όταν έχει ολοκληρωθεί η διαδικασία της συνένωσης των νεφών, ο αριθμός των στάσεων σάρωσης ήταν 34 και οι δεσμοί (links) που δημιουργήθηκαν μεταξύ των σαρώσεων ήταν 37. Η εγγραφή των νεφών ήταν πολύ καλή, αφού η συνολική τιμή του δείκτη overlap για όλες τις σαρώσεις ήταν 50 % που σημαίνει ότι μεταξύ των σαρώσεων υπήρχε αρκετή επικάλυψη. Ακόμα ο δείκτης strength ήταν 71%, που αντιπροσωπεύει την ποιότητα των ορατών σημείων και μας δείχνει πως η ποιότητα των σημείων του νέφους ήταν πολύ καλή. Συνήθως επιδιώκουμε ο δείκτης "overlap" να μην είναι κάτω από 25-30% και ο δείκτης "Strength" να μην είναι κάτω από 40%, για να είναι ικανοποιητική η ποιότητα του "registration". Το σφάλμα των δεσμών, ήταν 4 χιλιοστά όπως και το σφάλμα των νεφών και το σφάλμα των στόχων. Η συγκεκριμένη τιμή που είναι το μέγιστο όριο σφάλματος, προσεγγίζει την ακρίβεια του σαρωτή που είναι της τάξης των 4 χιλιοστών σε εύρος σάρωσης έως και 60 μέτρα. Επομένως οι σαρώσεις πραγματοποιήθηκαν με πολύ καλή ακρίβεια. Η ακρίβεια αποτύπωσης των σαρώσεων έχει άμεση συνέπεια στην τελική ποιότητα του μοντέλου μας

και για αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται πάντα σοβαρά υπόψιν η ακρίβεια με την οποία γίνονται οι μετρήσεις.

Overall Quality



Εικόνα 62 : Αποτελέσματα “Registration” όλων των νεφών

Όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2) του “Registration Report” που μας έδωσε το πρόγραμμα μετά τη συνένωση όλων των νεφών, παρουσιάζονται συνοπτικά το ποσοστό της επικάλυψης (overlap), το απόλυτο σφάλμα (Abs Mean Error), ο αριθμός του συνδέσμου (Link Name) και μεταξύ ποιων στάσεων δημιουργήθηκε ο σύνδεσμος αυτός (Setup1,Setup2).

Από τους 37 συνδέσμους που δημιουργήθηκαν, οι 6 είχαν δείκτη “overlap” κάτω από 25% που επιδιώκουμε να έχουμε πάνω από 25% για να είναι καλό το registration. Ουσιαστικά επιδιώκουμε να έχουμε αρκετή επικάλυψη μεταξύ των σαρώσεων για να μπορούμε να τις συνενώσουμε ορθότερα κατά τη διαδικασία του registration. Ωστόσο δεν μπορούμε σε όλες τις περιπτώσεις των σαρώσεων να έχουμε πάντα αρκετό επικαλυπτόμενο λόγω των ιδιοτήτων που έχει κάθε χώρος και λόγω των εμποδίων που μπορεί να υπάρχουν στον χώρο αυτό. Το ποσοστό του δείκτη “overlap” των συνδέσμων κυμάνθηκε από 12% έως 89%. Επιπλέον το απόλυτο μέσο σφάλμα παρατηρούμε ότι κυμάνθηκε από 3 έως 5 χιλιοστά, που είναι κοντά στην ακρίβεια του σαρωτή που είναι 4 χιλιοστά. Τέλος παρατηρούμε ότι οι δείκτες αυτοί δεν είναι αλληλένδετοι, δηλαδή όσο μεγαλύτερος είναι ο δείκτης “overlap”, τόσο μικρότερο θα είναι και το απόλυτο σφάλμα. Για παράδειγμα στο σύνδεσμο 31 έχουμε overlap=89% και Abs Mean Error=0,003m ενώ στο σύνδεσμο 51 έχουμε overlap=12% και Abs Mean Error=0,003m.

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 23	BLK360_3503444_Setup4	BLK360_3503444_Setup5	83 %	0.005 m
Link 24	BLK360_3503444_Setup5	BLK360_3503444_Setup6	15 %	0.005 m
Link 25	BLK360_3503444_Setup4	BLK360_3503444_Setup6	13 %	0.005 m
Link 26	BLK360_3503444_Setup7	BLK360_3503444_Setup8	75 %	0.005 m
Link 27	BLK360_3503444_Setup8	BLK360_3503444_Setup9	42 %	0.005 m
Link 28	BLK360_3503444_Setup7	BLK360_3503444_Setup9	18 %	0.005 m
Link 29	BLK360_3503444_Setup5	BLK360_3503444_Setup7	73 %	0.003 m
Link 30	BLK360_3503444_Setup11	BLK360_3503444_Setup12	54 %	0.004 m
Link 31	BLK360_3503444_Setup5	BLK360_3503444_Setup11	89 %	0.003 m
Link 32	BLK360_3503444_Setup9	BLK360_3503444_Setup10	70 %	0.003 m
Link 33	BLK360_3503444_Setup13	BLK360_3503444_Setup12	70 %	0.004 m
Link 34	BLK360_3503444_Setup13	BLK360_3503444_Setup11	26 %	0.005 m
Link 35	BLK360_3503444_Setup14	BLK360_3503444_Setup15	57 %	0.003 m
Link 36	BLK360_3503444_Setup13	BLK360_3503444_Setup14	20 %	0.004 m
Link 37	BLK360_3503444_Setup16	BLK360_3503444_Setup17	41 %	0.003 m
Link 38	BLK360_3503444_Setup16	BLK360_3503444_Setup18	26 %	0.003 m
Link 39	BLK360_3503444_Setup11	BLK360_3503444_Setup16	67 %	0.003 m
Link 40	BLK360_3503444_Setup20	BLK360_3503444_Setup21	90 %	0.004 m
Link 41	BLK360_3503444_Setup21	BLK360_3503444_Setup23	24 %	0.004 m
Link 42	BLK360_3503444_Setup16	BLK360_3503444_Setup21	71 %	0.003 m
Link 43	BLK360_3503444_Setup25	BLK360_3503444_Setup26	26 %	0.004 m
Link 44	BLK360_3503444_Setup21	BLK360_3503444_Setup25	70 %	0.005 m
Link 45	BLK360_3503444_Setup23	BLK360_3503444_Setup24	66 %	0.003 m
Link 46	BLK360_3503444_Setup29	BLK360_3503444_Setup25	75 %	0.003 m
Link 47	BLK360_3503444_Setup29	BLK360_3503444_Setup20	62 %	0.004 m
Link 48	BLK360_3503444_Setup27	BLK360_3503444_Setup28	20 %	0.005 m
Link 49	BLK360_3503444_Setup26	BLK360_3503444_Setup27	55 %	0.003 m
Link 50	BLK360_3503444_Setup30	BLK360_3503444_Setup31	73 %	0.006 m
Link 51	BLK360_3503444_Setup30	BLK360_3503444_Setup32	12 %	0.003 m
Link 52	BLK360_3503444_Setup29	BLK360_3503444_Setup32	49 %	0.003 m
Link 53	BLK360_3503444_Setup29	BLK360_3503444_Setup33-2	37 %	0.004 m
Link 54	BLK360_3503444_Setup35-2	BLK360_3503444_Setup36	26 %	0.005 m
Link 55	BLK360_3503444_Setup33-2	BLK360_3503444_Setup34-2	70 %	0.003 m
Link 56	BLK360_3503444_Setup32	BLK360_3503444_Setup35-2	38 %	0.004 m
Link 57	BLK360_3503444_Setup38	BLK360_3503444_Setup39	46 %	0.004 m
Link 58	BLK360_3503444_Setup7	BLK360_3503444_Setup38	48 %	0.005 m
Link 59	BLK360_3503444_Setup35-2	BLK360_3503444_Setup37	55 %	0.005 m

Πίνακας 2 : Πίνακας με τα στατιστικά των συνδέσμων (link) που δημιουργήθηκαν

Το πρόγραμμα Cyclone REGISTER 360 έχει τη δυνατότητα αυτόματης αναγνώρισης των ασπρόμαυρων στόχων που τοποθετήθηκαν στην περιοχή αποτύπωσης κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Οι στόχοι αυτοί βοηθάνε το πρόγραμμα στην ευθυγράμμιση των νεφών και στην συνένωση τους. Ωστόσο δεν αναγνωρίστηκαν όλοι στόχοι που τοποθετήθηκαν στην περιοχή αποτύπωσης από το πρόγραμμα. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικότερα οι στόχοι που αναγνωρίστηκαν από το πρόγραμμα, το σφάλμα τους, σε ποια σάρωση αναγνωρίστηκαν καθώς και άλλα στοιχεία για τη συνένωση των νεφών.

Από τις σαρώσεις με αριθμό 12 και 13, όπως φαίνεται στην Εικόνα 63 το πρόγραμμα κατάφερε να αναγνωρίσει 6 στόχους και δημιουργήθηκε ο σύνδεσμος (link) 33. Οι στόχοι με αριθμό 78 και 73 εντοπίστηκαν με σφάλμα του ενός χιλιοστού. Οι στόχοι με αριθμό 76 και 74 είχαν σφάλμα 3 χιλιοστά και τέλος οι στόχοι με αριθμό 77 και 72 είχαν σφάλμα 5 χιλιοστά. Έτσι ο μέσος όρος του σφάλματος των στόχων ήταν 3 χιλιοστά ενώ ο απόλυτος μέσος όρος της σύνδεσης των δύο νεφών ήταν 4 χιλιοστά και η επικάλυψη των δυο νεφών 70%.

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 33	BLK360_3503444_Setup13	BLK360_3503444_Setup12	70 %	0.004 m
Cloud to Cloud				0.004 m
Target			Mean Target Error:	0.003 m
		Target (Setup 1)	Target (Setup 2)	Error
		Target 77	Target 72	0.005 m
		Target 78	Target 73	0.001 m
		Target 76	Target 74	0.003 m

Εικόνα 63 : Στατιστικά συνδέσμου – link 33

Από τις σαρώσεις με αριθμό 13 και 11, παρατηρούμε ότι αναγνωρίστηκαν 4 στόχοι από το πρόγραμμα και δημιουργήθηκε ο σύνδεσμος (link) 34. Οι στόχοι με νούμερο 78 και 67 είχαν σφάλμα 2 χιλιοστών ενώ οι στόχοι 76 και 69 είχαν σφάλμα 7 χιλιοστών. Οι στόχοι με αριθμό 76 και 78 αναγνωρίστηκαν στη σάρωση με αριθμό 13 ενώ οι στόχοι με αριθμό 67 και 69 αναγνωρίστηκαν κατά τη διάρκεια της σάρωσης με αριθμό 11. Ο μέσος όρος του σφάλματος που προκύπτει για τους στόχους είναι 5 χιλιοστά. Ο απόλυτος μέσος όρος της σύνδεσης των δύο νεφών ήταν 5 χιλιοστά και η επικάλυψη των δυο νεφών 26%.

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 34	BLK360_3503444_Setup13	BLK360_3503444_Setup11	26 %	0.005 m
Cloud to Cloud				0.005 m
Target			Mean Target Error:	0.005 m
		Target (Setup 1)	Target (Setup 2)	Error
		Target 78	Target 67	0.002 m
		Target 76	Target 69	0.007 m

Εικόνα 64: Στατιστικά συνδέσμου – link 34

Από τις σαρώσεις με αριθμό 20 και 21 αναγνωρίστηκαν 8 στόχοι συνολικά και δημιουργήθηκε ο σύνδεσμος (link) 40. Οι στόχοι με νούμερο 96 και 102 είχαν σφάλμα 2 χιλιοστών ενώ οι στόχοι 100 και 104 είχαν σφάλμα 3 χιλιοστών. Ακόμα οι στόχοι με νούμερο 95 και 101 είχαν σφάλμα 5 χιλιοστά ενώ οι στόχοι με νούμερο 99 και 103 είχαν σφάλμα 6 χιλιοστά. Έτσι ο μέσος όρος του σφάλματος των στόχων που προκύπτει είναι 4 χιλιοστά. Ακόμα οι στόχοι 95,96,99,100 αναγνωρίστηκαν κατά τη σάρωση 20 ενώ οι στόχοι 101,102,103,104 αναγνωρίστηκαν κατά τη σάρωση 21. Τέλος ο απόλυτος μέσος όρος της σύνδεσης των δύο νεφών ήταν 4 χιλιοστά και η επικάλυψη των δυο νεφών 90%.

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 40	BLK360_3503444_Setup20	BLK360_3503444_Setup21	90 %	0.004 m
Cloud to Cloud				0.003 m
Target			Mean Target Error:	0.004 m
		Target (Setup 1)	Target (Setup 2)	Error
		Target 95	Target 101	0.005 m
		Target 96	Target 102	0.002 m
		Target 99	Target 103	0.006 m
		Target 100	Target 104	0.003 m

Εικόνα 65 : Στατιστικά συνδέσμου – link 40

Από τις σαρώσεις με αριθμό 29 και 25 αναγνωρίστηκαν 6 στόχοι συνολικά και δημιουργήθηκε ο σύνδεσμος (link 46). Όλοι οι στόχοι που αναγνωρίστηκαν είχαν σφάλμα 2 χιλιοστών. Τέλος οι στόχοι 124, 126, 128 αναγνωρίστηκαν κατά τη σάρωση 29 ενώ οι στόχοι

112, 113, 114 αναγνωρίστηκαν κατά τη σάρωση 25. Τέλος ο απόλυτος μέσος όρος της σύνδεσης των δύο νεφών ήταν 3 χιλιοστά και η επικάλυψη των δυο νεφών 75%.

Link 46	BLK360_3503444_Setup29	BLK360_3503444_Setup25	75 %	0.003 m
Cloud to Cloud				0.005 m
Target			Mean Target Error:	0.002 m
		Target (Setup 1)	Target (Setup 2)	Error
		Target 124	Target 112	0.002 m
		Target 126	Target 113	0.002 m
		Target 128	Target 114	0.002 m
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error

Εικόνα 66 : Στατιστικά συνδέσμου – link 46

Από τις σαρώσεις με αριθμό 20 και 29 αναγνωρίστηκαν 4 στόχοι συνολικά και δημιουργήθηκε ο σύνδεσμος (link) 47. Οι στόχοι με νούμερο 97 και 126 είχαν σφάλμα 4 χιλιοστών ενώ οι στόχοι 98 και 128 είχαν σφάλμα 3 χιλιοστών. Έτσι ο μέσος όρος του σφάλματος των στόχων είναι 3 χιλιοστά. Ακόμα οι στόχοι με νούμερο 126 και 128 αναγνωρίστηκαν κατά τη σάρωση 29 ενώ οι στόχοι 97,98 αναγνωρίστηκαν κατά τη σάρωση 20. Ο απόλυτος μέσος όρος της σύνδεσης των δύο νεφών ήταν 4 χιλιοστά και η επικάλυψη των δυο νεφών 62%.

Link 47	BLK360_3503444_Setup29	BLK360_3503444_Setup20	62 %	0.004 m
Cloud to Cloud				0.005 m
Target			Mean Target Error:	0.003 m
		Target (Setup 1)	Target (Setup 2)	Error
		Target 126	Target 97	0.004 m
		Target 128	Target 98	0.003 m
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error

Εικόνα 67 : Στατιστικά συνδέσμου – link 47

Από τις σαρώσεις με αριθμό 30 και 31 αναγνωρίστηκαν 6 στόχοι συνολικά και δημιουργήθηκε ο σύνδεσμος (link) 50. Οι στόχοι με νούμερο 130 και 134 είχαν σφάλμα 4 χιλιοστών ενώ οι στόχοι 129 και 133 είχαν σφάλμα 9 χιλιοστών. Ακόμα οι στόχοι με νούμερο 131 και 135 είχαν σφάλμα 11 χιλιοστά. Έτσι ο μέσος όρος του σφάλματος των

στόχων ήταν 8 χιλιοστά. Τέλος οι στόχοι 129, 130, 131 αναγνωρίστηκαν κατά τη σάρωση 30 ενώ οι στόχοι 133, 134, 135 αναγνωρίστηκαν κατά τη σάρωση 31. Τέλος ο απόλυτος μέσος όρος της σύνδεσης των δύο νεφών ήταν 6 χιλιοστά και η επικάλυψη των δυο νεφών 73%.

Link 50	BLK360_3503444_Setup30	BLK360_3503444_Setup31	73 %	0.006 m
Cloud to Cloud				0.003 m
Target			Mean Target Error:	0.008 m
Target (Setup 1)		Target (Setup 2)	Error	
Target 129		Target 133	0.009 m	
Target 130		Target 134	0.004 m	
Target 131		Target 135	0.011 m	

Εικόνα 68 : Στατιστικά συνδέσμου – link 50

Αναλυτικότερα τα στατικά στοιχεία των συνδέσμων που δημιουργήθηκαν ανάμεσα στα νέφη σημείων φαίνονται στο παράρτημα στη σελίδα 138.

5.3.3 Μετατροπή σε αρχείο συμβατό με Autodesk ReCap

Μετά τη συνένωση όλως των επιμέρους νεφών στο πρόγραμμα Cyclone REGISTER360, όλα τα σημεία, βρίσκονται πλέον σε ένα ενιαίο νέφος. Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας αυτής, το συνολικό νέφος σημείων έγινε εξαγωγή και αποθήκευση σε όλα τα διαθέσιμα είδη αρχείων, προκειμένου να αρχίσει η διαδικασία του καθαρισμού των νεφών. Τα διαθέσιμα αρχεία που μπορούσαμε να εξάγουμε το νέφος των σημείων μας ήταν τύπου : 1) .e57 2) .ptx 3) .prt 4) .wpr . Ωστόσο επειδή το μοντέλο μας θα το δημιουργούσαμε στο πρόγραμμα Autodesk Revit, έπρεπε ο τύπος αρχείου του νέφους σημείων που θα εισάγουμε στο λογισμικό να είναι .rcp . Για το λόγο εισάγαμε στο Autodesk ReCap το συνενωμένο νέφος σημείων που είχαμε σε τύπο αρχείου .e57 και ύστερα το αποθηκεύσαμε σε τύπο αρχείου .rcp για να μπορέσουμε να εισάγουμε μετά τον καθαρισμό, το νέφος σημείων στο Revit για τη δημιουργία του μοντέλου. Μετά τη μετατροπή του αρχείου αυτού, ήμασταν έτοιμοι να ξεκινήσουμε τη διαδικασία του καθαρισμού του συνολικού νέφους.

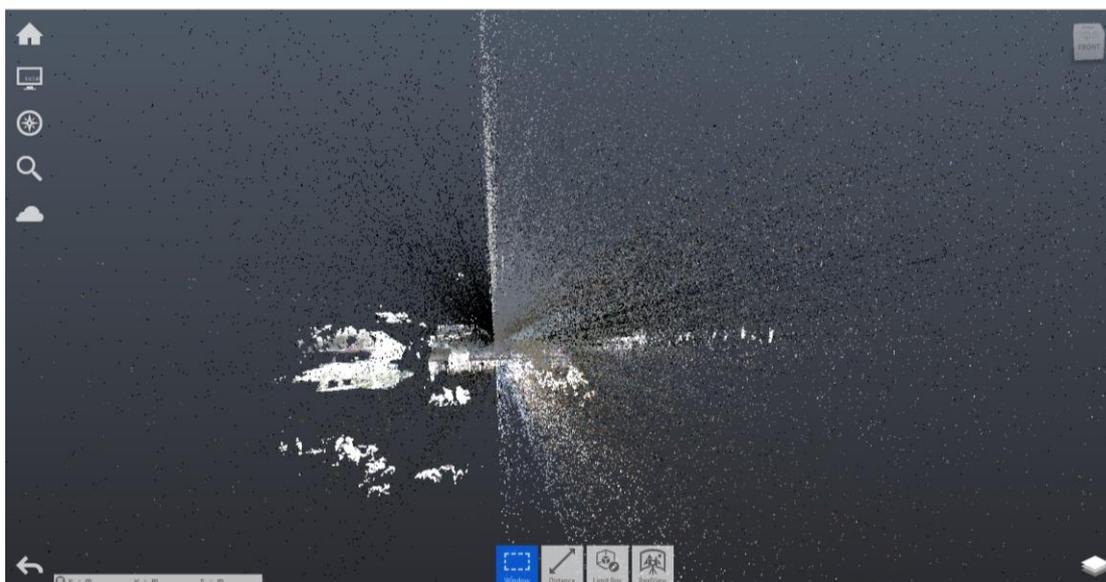
5.3.4 Απομάκρυνση θορύβου στο λογισμικό Autodesk ReCap

Μετά τη συνένωση των επιμέρους νεφών, προκύπτει ένα συνολικό νέφος που εμπεριέχει θόρυβο και στοιχεία που δεν χρειαζόμαστε για τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου.

Ακόμα κατά τη διαδικασία των μετρήσεων, συνήθως αποτυπώνουμε περιοχή μεγαλύτερη από την απαραίτητη για ασφάλεια, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι η περιοχή ενδιαφέροντος έχει αποτυπωθεί ολόκληρη. Πηγές θορύβου αποτελούν :

1. Η κίνηση ανθρώπων, ζώων ή οχημάτων κατά τη διάρκεια των σαρώσεων.
2. Επιφάνειες με μεγάλη αντανάκλαση όπως γυαλιστερές επιφάνειες, κάτοπτρα, νερά, παράθυρα
3. Αντικείμενα που εμποδίζουν το πεδίο σάρωσης όπως τα δέντρα, η βλάστηση κλπ
4. Αντικείμενα που προκαλούν το φαινόμενο της ακμής (edge effect) όπου αντανακλάται μέρος της ακτίνας laser, δίνοντας πληροφορίες για τα αντικείμενα και από την πίσω πλευρά τους. Για τα αντικείμενα αυτά δίνονται λάθος πληροφορίες για τη θέση της ακμής τους.

Τα σημεία αυτά δεσμεύουν μνήμη και επιβραδύνουν όλες τις ενέργειες που κάνουμε στο λογισμικό, για αυτό πρέπει να απομακρυνθούν. Συνήθως η διαδικασία απομάκρυνσης των σημείων αυτών, γίνεται χειροκίνητα με την επιλογή των σημείων από το χρήστη. Η διαγραφή των λανθασμένων αυτών σημείων, μπορεί να μειώσει σε σημαντικό βαθμό τον αριθμό των σημείων, συντελώντας στην επιτάχυνση της διαδικασίας επεξεργασίας. Παρακάτω παρουσιάζεται το νέφος των σημείων πριν ξεκινήσουμε τη διαδικασία του καθαρισμού. Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε στην Εικόνα 69, πολλά σημεία εκτός του κτιρίου που δεν χρειαζόμαστε για τη δημιουργία του μοντέλου μας έχουν αποτυπωθεί. Αυτό συνέβη γιατί στο χώρο μας υπήρχαν πολλά παράθυρα με συνέπεια να αποτυπωθούν σημεία εκτός του κτιρίου αλλά και λόγω της πολλαπλής ανάκλασης της δέσμης του laser πάνω σε κάποιες επιφάνειες να επιστραφούν πολλαπλά σημεία.



Εικόνα 69 : Το νέφος σημείων πριν ξεκινήσει η διαδικασία καθαρισμού

Η διαδικασία απομάκρυνσης του θορύβου ξεκίνησε με τη διαγραφή των σημείων που βρίσκονταν εκτός του χώρου που σαρώσαμε και δεν σχετίζονταν με τον χώρο που θέλαμε να δημιουργήσουμε το τρισδιάστατο μοντέλο. Η απομάκρυνση των σημείων έγινε με το

εργαλείο του προγράμματος Fence, που μας δίνει τη δυνατότητα επιλογής πολλών σημείων ταυτοχρόνως και ύστερα τη διαγραφή τους. Απομακρύνθηκαν ακόμα τα σημεία που ήταν εκτός του χώρου που θέλαμε να κάνουμε την αποτύπωση, στο εσωτερικού του κτιρίου αλλά αποτυπώθηκαν λόγω της γειννίας των χώρων όπως φαίνεται στην Εικόνα 70.



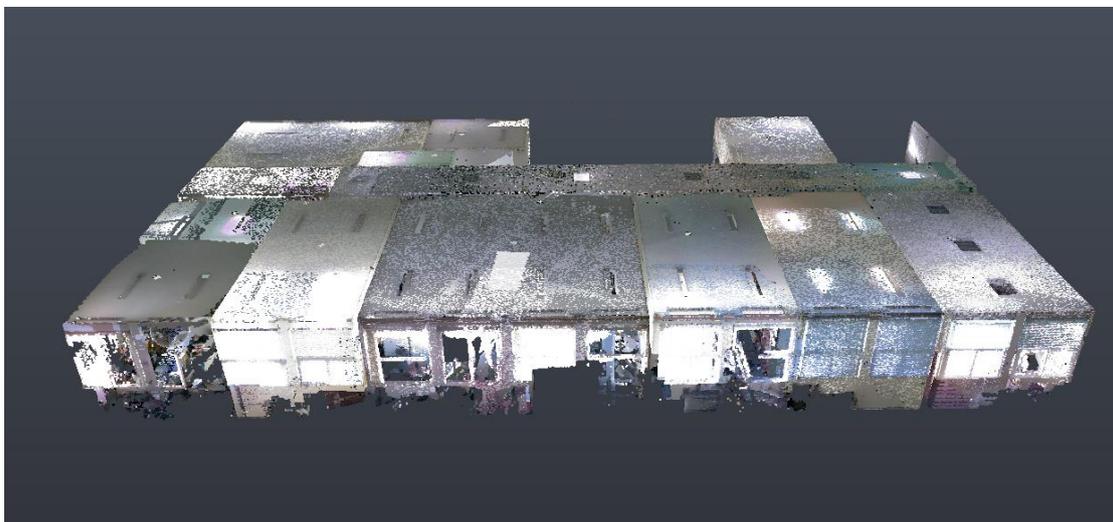
Εικόνα 70 : Παράδειγμα σημείων που διαγράφηκαν από το νέφος και βρίσκονταν εσωτερικά του κτιρίου

Επιπλέον διαγράφησαν αντικείμενα όπως τα στόρια στα παράθυρα που εμφανίζονταν σε λάθος θέση εξαιτίας της ανάκλασης της ακτίνας laser στα παράθυρα που είναι γυάλινη επιφάνεια και δημιουργεί πολλαπλή ανάκλαση. (Εικόνα 71)



Εικόνα 71 : Παράδειγμα αντικειμένων που αποτυπώθηκαν σε λάθος θέση

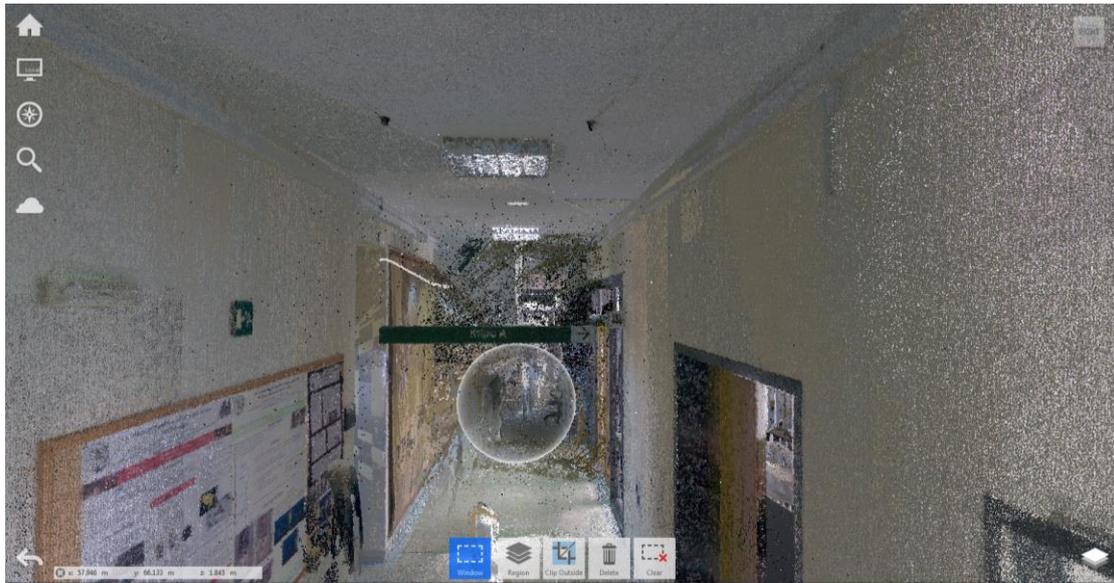
Μετά το τέλος της διαδικασίας απαλοιφής του θορύβου με τη διαγραφή των σημείων εκτός του κτιρίου που δεν μας ενδιέφεραν, το αποτέλεσμα φαίνεται στην εικόνα 72. Η απομάκρυνση των σημείων που αποτελούσαν θόρυβο είναι αισθητή, αφού πλέον το κτίριο διακρίνεται εξωτερικά πιο ευκρινώς και θα μας βοηθήσει στη διαδικασία της μοντελοποίησης.



Εικόνα 72 : Άποψη του κτιρίου μετά τη διαγραφή σημείων που αποτελούσαν θόρυβο και βρίσκονταν εξωτερικά από αυτό

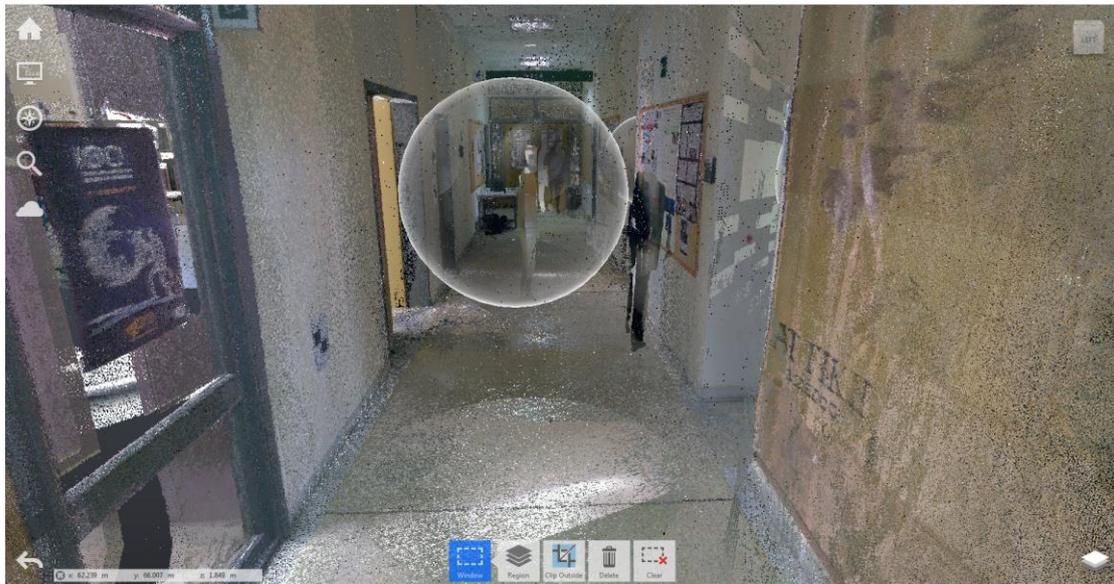
Επόμενο βήμα, ήταν η απομάκρυνση των ανθρώπινων μορφών που διέγραψε το laser scanner στο εσωτερικό του κτιρίου κατά τη διάρκεια των σαρώσεων. Οι σαρώσεις επιδιώξαμε να γίνουν με την απουσία κόσμου τόσο για την ασφάλεια του οργάνου, όσο για

τη δημιουργία του λιγότερου δυνατού θορύβου, αλλά αυτό ήταν πολύ δύσκολο γιατί ο χώρος του πανεπιστημίου έχει διαρκή παρουσία φοιτητών. Επιπλέον οι γυάλινες επιφάνειες τόσο σε παράθυρα, όσο και σε πόρτες στο εσωτερικό του κτιρίου δημιούργησαν πολλαπλή ανάκλαση της εκπεμπόμενης δέσμης laser από το laser scanner σε διάφορα αντικείμενα, επιστρέφοντας πολλά σημεία που αποτελούν θόρυβο και βρίσκονταν στο εσωτερικό του κτιρίου.

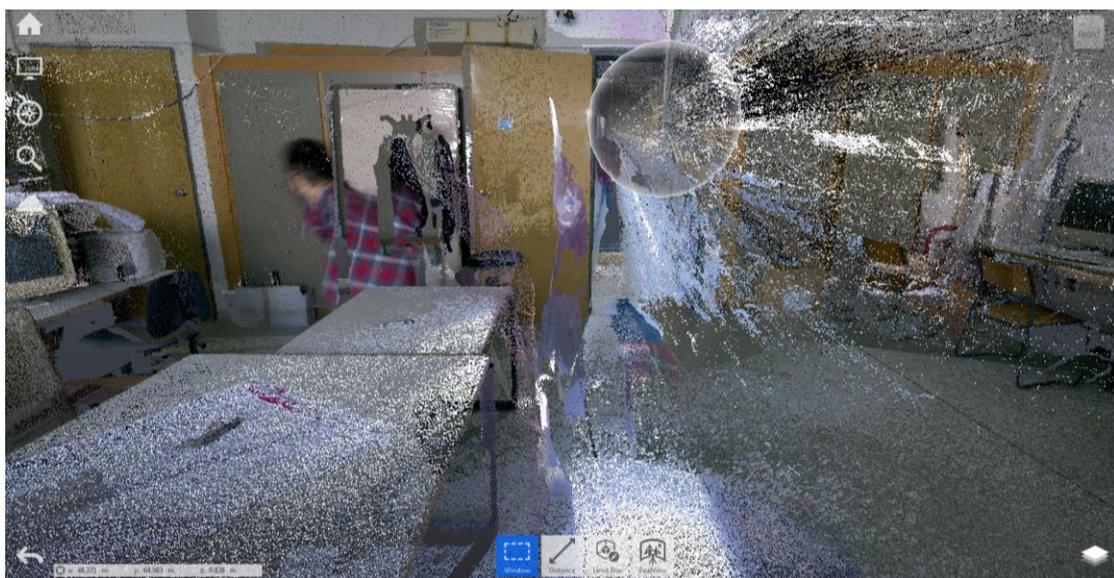


Εικόνα 73 : Παράδειγμα θορύβου στο νέφος σημείων

Στις εικόνες 74 και 75 φαίνονται ανθρώπινες μορφές που παρεμβλήθηκαν στιγμιαία στην ακτίνα laser και αποτυπώθηκαν από το σαρωτή. Τα σημεία αυτά αποτελούν θόρυβο και πρέπει να απομακρυνθούν κατά τη διαδικασία επεξεργασίας του νέφους.

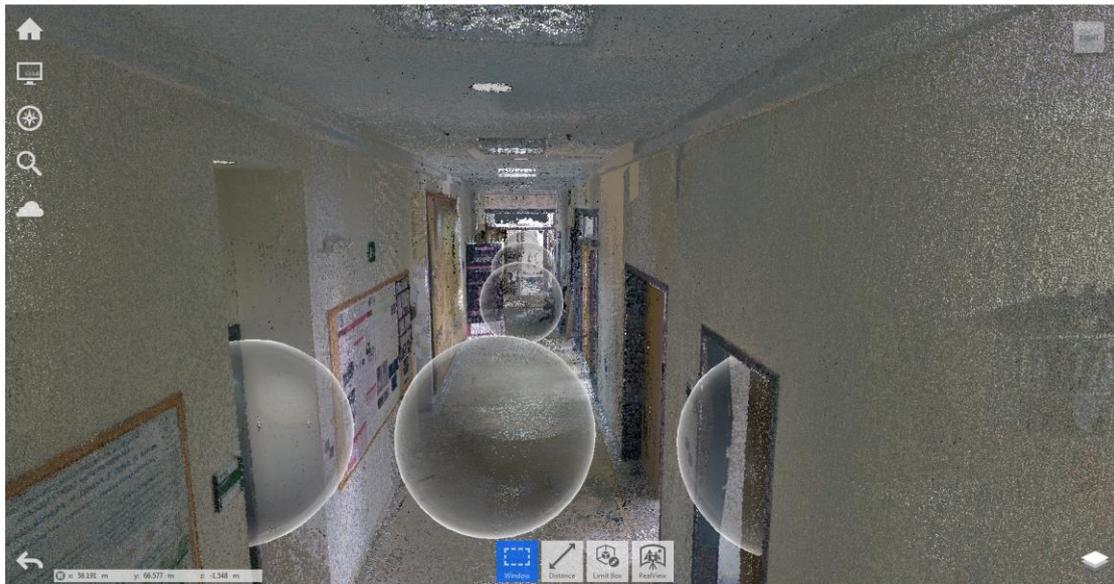


Εικόνα 74 : Ανθρώπινες μορφές στο νέφος σημείων που αποτελούν θόρυβο

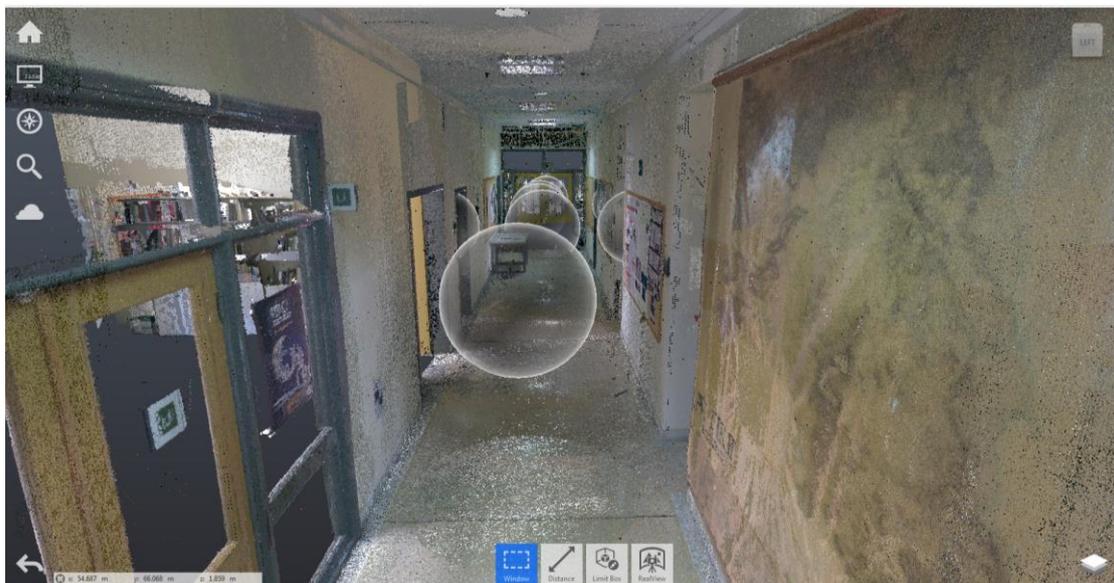


Εικόνα 75 : Ανθρώπινες μορφές και πολλαπλή ανάκλαση σημείων που αποτελούν θόρυβο

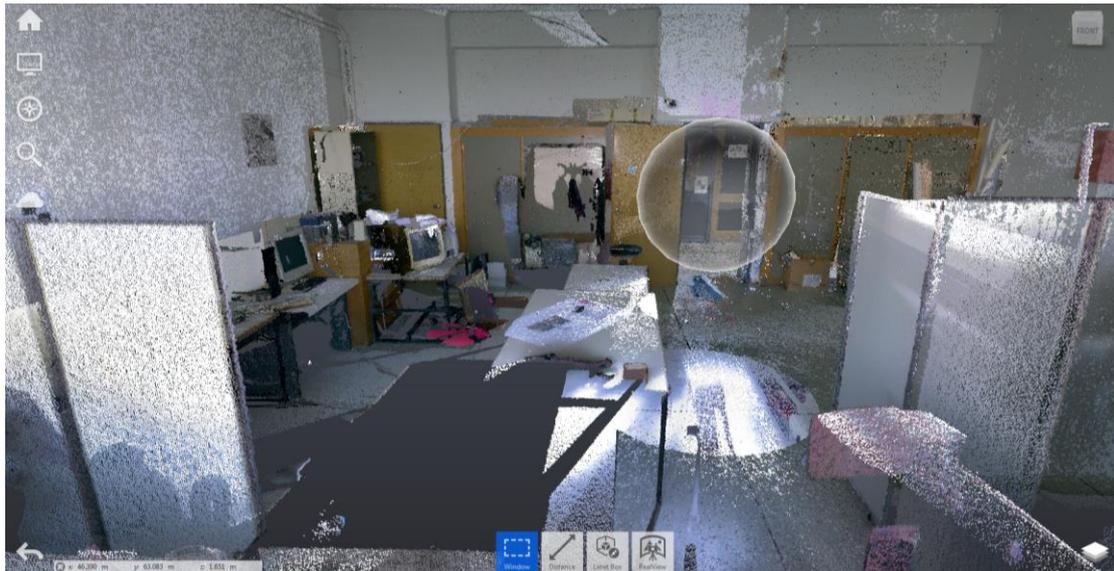
Μετά το τέλος της διαδικασίας του καθαρισμού του νέφους, οι αντίστοιχες περιοχές του χώρου αποτύπωσης που είχαν θόρυβο, φαίνονται μετά τον καθορισμό, απαλλαγμένες από τον θόρυβο.



Εικόνα 76 : Παράδειγμα περιοχής του νέφους σημείων που έχει καθαριστεί από θόρυβο

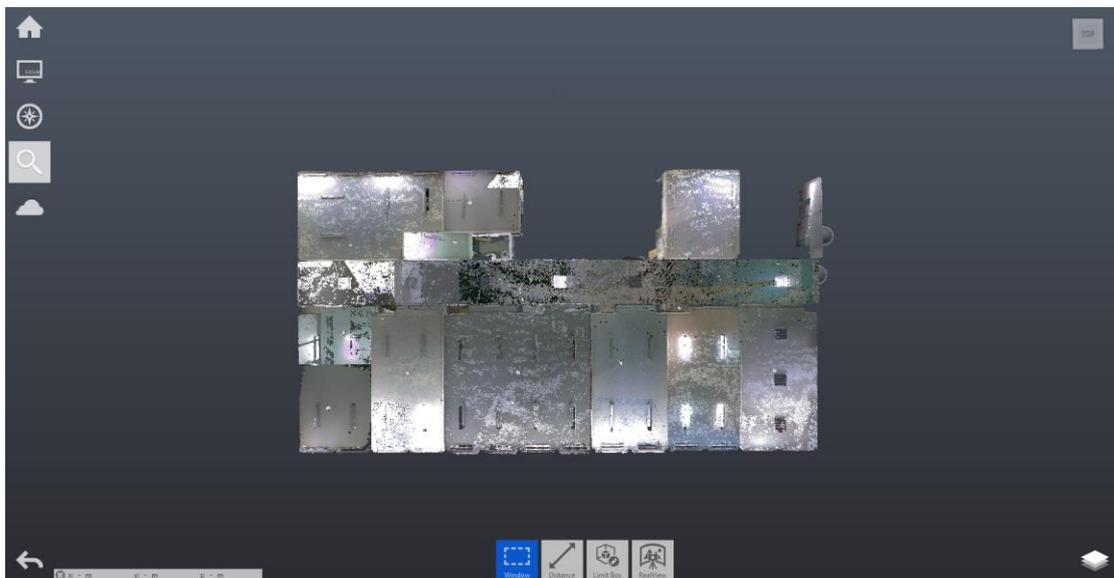


Εικόνα 77 : Περιοχή του νέφους που έχει καθαριστεί από θόρυβο

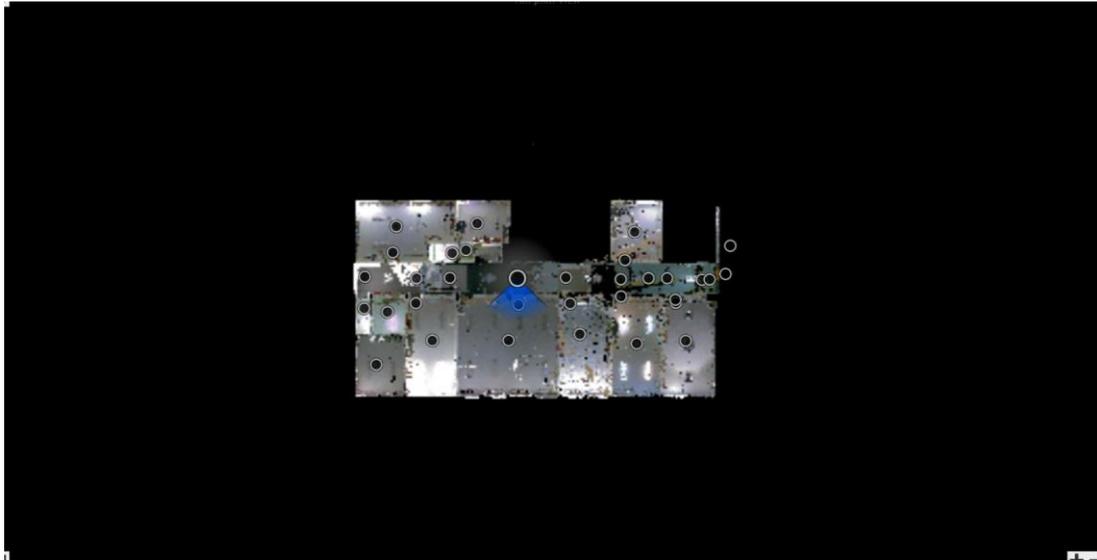


Εικόνα 78 : Περιοχή του νέφους που έχει καθαριστεί από θόρυβο

Το τελικό νέφος σημείων απαλλαγμένο από θόρυβο το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου του κτιρίου φαίνεται στις δύο παρακάτω (Εικόνες 79 και 80) σε 3d view και σε Real View.



Εικόνα 79: Το νέφος σημείων σε 3d View, μετά την απομάκρυνση του θορύβου



Εικόνα 80 : Το νέφος σημείων σε Real View, μετά την απομάκρυνση του θορύβου

5.4 Μοντελοποίηση εσωτερικού κτιρίου με χρήση του προγράμματος Revit

Διερευνώντας τις δυνατότητες της χρήσης laser scanner, για τη μοντελοποίηση του εσωτερικού κτιρίων, στόχος μας είναι η δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου κτιρίου με αυξημένο επίπεδο λεπτομέρειας στο εσωτερικό του, που θα μπορεί να αξιοποιηθεί για ζητήματα κτηματολογικού ενδιαφέροντος. Η μεθοδολογία αυτή αξιολογείται σε σχέση με την ακρίβεια που προσφέρει, το χρόνο και το κόστος για την παραγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου. Ακόμα αξιολογείται ως προς τις δυνατότητες που προσφέρει για τη δημιουργία μοντέλου με τη χρήση του προγράμματος Revit. Η μοντελοποίηση του κτιρίου επικεντρώνεται κυρίως στη δημιουργία και λεπτομερή απεικόνιση μέρους του εσωτερικού, του πρώτου ορόφου του Λαμπαδαρίου Κτιρίου. Συμπερασματικά, στόχος της διπλωματικής εργασίας αυτής είναι η διερεύνηση της χρήσης laser scanner για τη μοντελοποίηση εσωτερικού κτιρίων και η δυνατότητα αξιοποίησης των πληροφοριών που μπορούν να εξαχθούν από το 3d μοντέλο για διάφορες χρήσεις.

5.4.1 Το πρόγραμμα Revit και τα δεδομένα εισόδου

Στη διπλωματική αυτή, εξετάζεται η συμβολή των laser scanner στη 3d μοντελοποίηση κτιρίων με αυξημένο επίπεδο λεπτομέρειας. Για τη δημιουργία του μοντέλου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Revit της εταιρείας Autodesk, το οποίο κυρίως χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μοντέλου με την τεχνολογία BIM. Το λογισμικό αυτό, προσφέρει τη δυνατότητα γρήγορης και εύκολης σχεδίασης του πραγματικού μοντέλου κτιρίων από τρισδιάστατα αντικείμενα (όπως τοίχοι, πόρτες, παράθυρα, κολώνες, δοκάρια)

χρησιμοποιώντας στοιχεία (elements) που υπάρχουν στις βιβλιοθήκες του λογισμικού, τα οποία εντάσσονται στις οικογένειες (families) του λογισμικού.

Η τρισδιάστατη παραμετρική σχεδίαση και το σύστημα αποθήκευσης πληροφοριών καταδεικνύουν το Revit, ως ένα λογισμικό στρατηγικής σημασίας στο σχεδιαστικό τομέα. Στο Revit οι οικογένειες μπορούν να δημιουργηθούν ξεχωριστά αλλά και σαν παραμετρικά μοντέλα με διαστάσεις και ιδιότητες. Έτσι μας δίνεται η δυνατότητα να τροποποιήσουμε προκαθορισμένες ιδιότητες, όπως το ύψος και το μήκος. Κατά αυτό τον τρόπο οι οικογένειες ορίζουν γεωμετρία, η οποία ορίζεται από παραμέτρους που μπορούν να αποθηκευτούν όπως ο τύπος του αντικειμένου. Για παράδειγμα μια πόρτα ανήκει σε μια “οικογένεια” στο Revit και έχει διάφορα χαρακτηριστικά που μπορούν να αποθηκευτούν στους πίνακες των ιδιοτήτων.

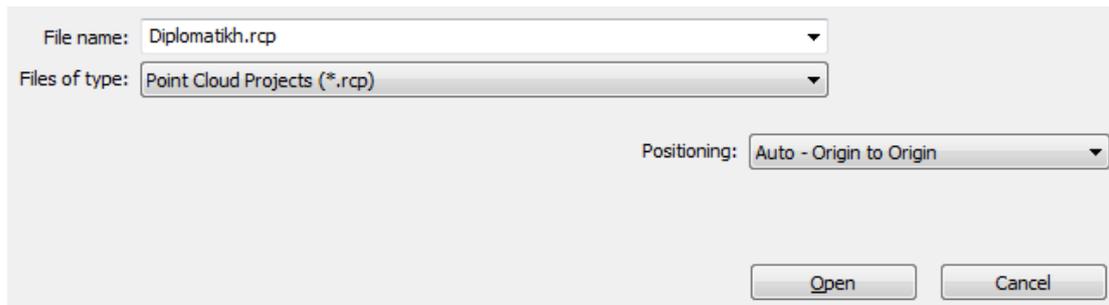
Το Revit προσεγγίζει το κτίριο ενιαία. Αυτό δηλώνει ότι υπάρχουν διαφορετικές απεικονίσεις του κτιρίου (π.χ όψεις, τομές, κατόψεις, προοπτικές) αλλά αναφέρονται σε ένα και μοναδικό μοντέλο το οποίο δημιουργεί, τροποποιεί και επεξεργάζεται ο χρήστης. Οποιαδήποτε αλλαγή γίνει οπουδήποτε, επηρεάζει συνολικά το μοντέλο. Για παράδειγμα άμα τροποποιήσουμε ένα παράθυρο στην κάτοψη ή στην όψη του κτιρίου, η αλλαγή αυτή εμφανίζεται αυτόματα παντού, γιατί έγινε στο μοντέλο και κατά συνέπεια σε όλες τις απεικονίσεις του.

Τα αντικείμενα στο Revit τοποθετούνται σε σχέση με τα άλλα αντικείμενα που υπάρχουν στο μοντέλο και οι παράμετροι διέπουν τις σχέσεις μεταξύ των αντικειμένων. Τα αντικείμενα που υπάρχουν στα μοντέλα μπορούν να περιέχουν πληροφορίες σχετικά με παραμέτρους για την κατασκευή τους ή σχετικά με παραμέτρους που ορίζει ο χρήστης. Οι πληροφορίες αυτές συγκεντρώνονται σε πίνακες που ονομάζονται “Schedules” ή σε διαγράμματα και μπορούν να εξαχθούν για να χρησιμοποιηθούν σε άλλες εφαρμογές.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν και εισήχθησαν στο λογισμικό είναι το συνενωμένο και καθαρισμένο νέφος σημείων που είχε προκύψει από την επεξεργασία των σαρώσεων που πραγματοποιήθηκαν στο Λαμπαδάριο Κτίριο. Η επεξεργασία των σαρώσεων όπως περιγράφηκε παραπάνω πραγματοποιήθηκε στα λογισμικά Leica Cyclone REGISTER360 και Autodesk ReCap ενώ η απόδοση πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό Autodesk Revit.

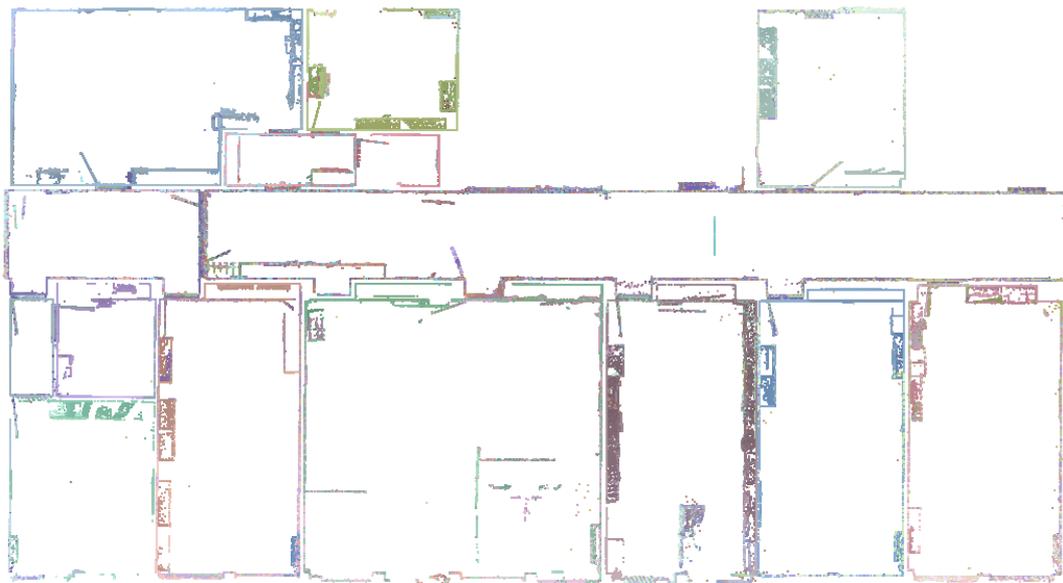
5.4.2 Εισαγωγή και επεξεργασία νέφους σημείων στο Revit

Πρώτο βήμα του σταδίου της δημιουργίας του μοντέλου, ήταν η δημιουργία ενός καινούργιου project στο Revit και η επιλογή μετρικού συστήματος. Έπειτα εισάγαμε το αρχείο τύπου .rcp με το νέφος σημείων μας και επιλέξαμε “Auto – Origin to Origin” στο πεδίο “Positioning” προκειμένου το νέφος των σημείων στο Revit, να έχει την ίδια προέλευση με αυτή που έχει το αρχείο που εισάγαμε.

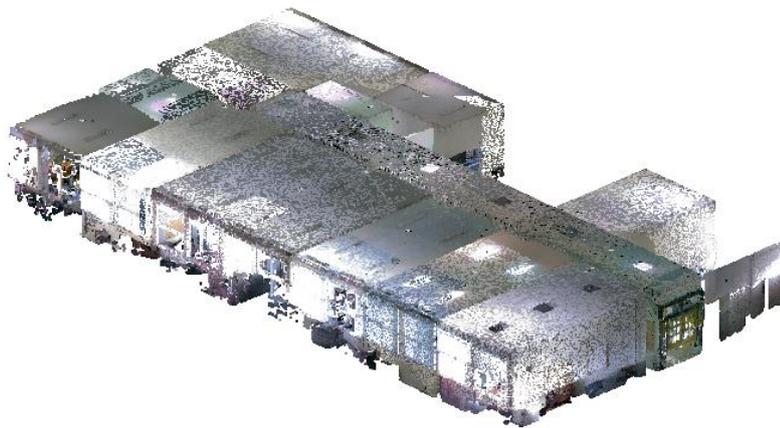


Εικόνα 81 : Επιλογές κατά την εισαγωγή του νέφους σημείων

Το νέφος των σημείων φαίνεται στην Εικόνα 82 όταν το εισάγαμε στο περιβάλλον του Revit. Το Revit, μας δίνει τη δυνατότητα σχεδίασης των δομικών στοιχείων ενός κτιρίου σε διάφορες απεικονίσεις όπως όψεις, κατόψεις αλλά και σε 3d view διευκολύνοντας τη σχεδίαση και διασφαλίζοντας την ακρίβεια του μοντέλου. Ακόμα ό,τι σχεδιάζουμε ανανεώνεται αυτόματα σε όλες τις απεικονίσεις, επιταχύνοντας το σχεδιασμό του μοντέλου.



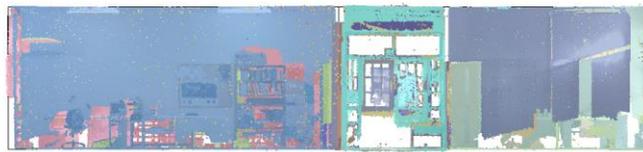
Εικόνα 82 : Κάτοψη του νέφους σημείων μετά την εισαγωγή του στο λογισμικό του Revit



Εικόνα 83 : 3D μορφή του νέφους σημείων στο λογισμικό του Revit

Επόμενο βήμα ήταν η δημιουργία Elevations που θα μας βοηθήσουν στο σχεδιασμό του μοντέλου. Με τα διάφορα Elevations που δημιουργούμε στο project μας, μας δίνεται η δυνατότητα να βλέπουμε αυτό που σχεδιάζουμε από διάφορες όψεις. Τα “Elevation” μας βοηθούν στη σωστή και ακριβή τοποθέτηση των παραμετρικών οντοτήτων που χρησιμοποιεί το Revit όπως Wall, Window, Door. Επίσης σε περιπτώσεις όπου έχουμε πολλές επαναλαμβανόμενες οντότητες (π.χ πολλά παράθυρα σε ένα τοίχο), έχουμε τη δυνατότητα πηγαίνοντας στο κατάλληλο Elevation να τις τοποθετούμε στη θέση τους με ακρίβεια και αυξημένη ταχύτητα.

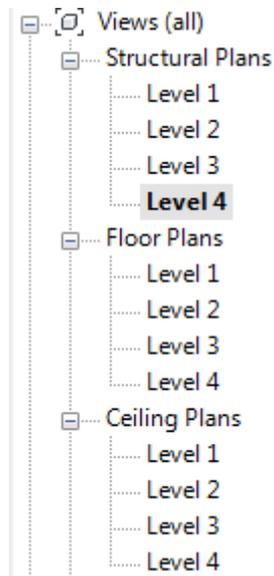
Elevation 2 - a X



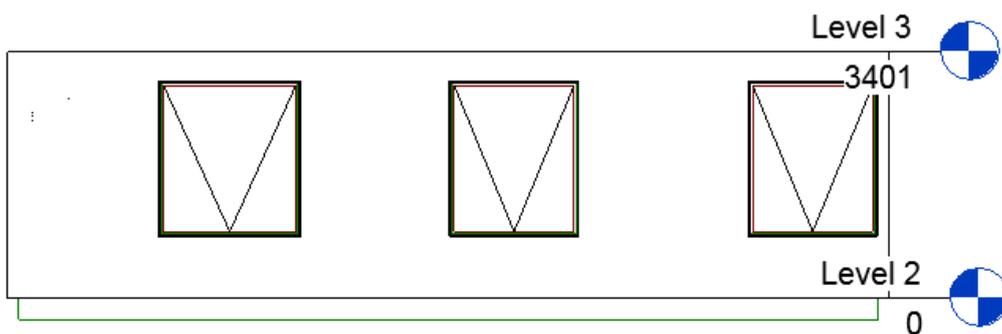
Εικόνα 84 : Όψη του κτιρίου από συγκεκριμένο Elevation

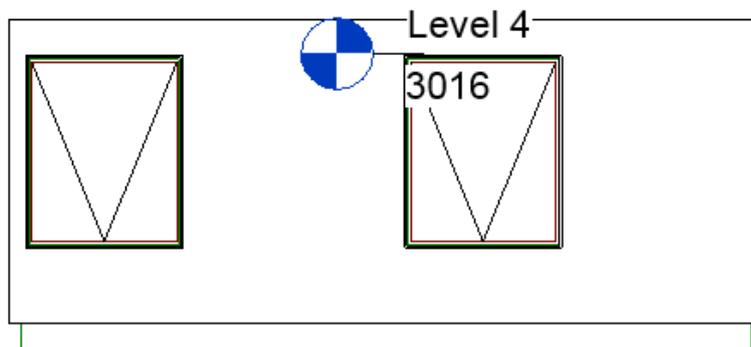
Επιπλέον δημιουργήσαμε και κάποια νέα Levels, εκτός από το Level 1 που δημιουργήθηκε αυτόματα από το πρόγραμμα όταν εισάγαμε το νέφος σημείων, που θα μας χρειαστούν όταν σχεδιάσουμε τα δομικά στοιχεία του μοντέλου όπως το πάτωμα, οι τοίχοι, τα δοκάρια κλπ. Επειδή στο σχεδιασμό του μοντέλου, ζητούμενο ήταν να απεικονιστεί ο ένας όροφος του κτιρίου, θεωρήσαμε ότι το Level 2 που είναι η στάθμη του πατώματος, να είναι η αρχή του συστήματος. Έτσι το Level 3 παίρνει την τιμή 3401mm, βάσει των μετρήσεων του laser scanner. Το Level 3 είναι το ανώτατο επίπεδο στο μοντέλο και ορίστηκε για να μας βοηθήσει στο σχεδιασμό της οροφής του μοντέλου μας. Επιπλέον το Level 4 ορίστηκε για

να μας βοηθήσει στο σχεδιασμό των δοκαριών του μοντέλου. Έτσι δημιουργήθηκαν 3 νέα Levels, όπως φαίνεται στις Εικόνες 85 και 86.



Εικόνα 85 : Τα Level που δημιουργήθηκαν στον Project Browser

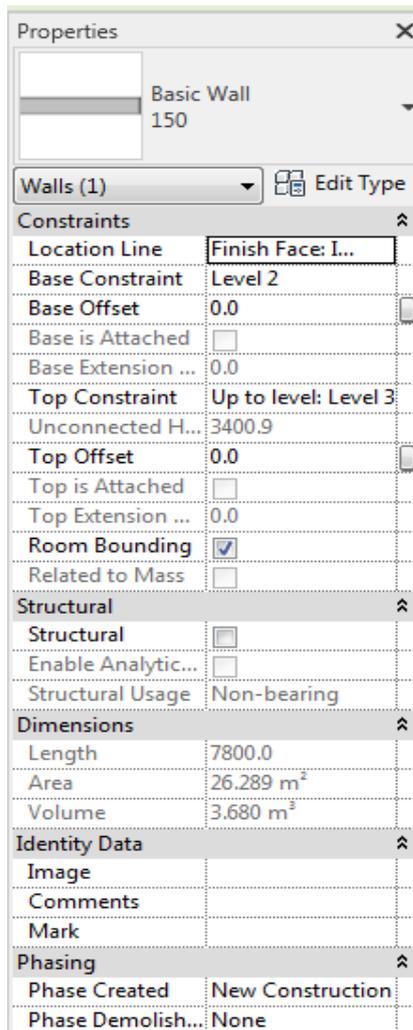




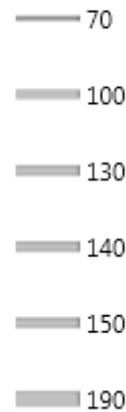
Εικόνα 86 : Απεικόνιση των Levels που δημιουργήθηκαν

Κάθε project στο Revit έχει δυο χαρακτηριστικά σημεία : το “project base point” και το “survey point” και βάσει του ενός από αυτά τα δύο σημεία, μετρώνται τα υψόμετρα στο μοντέλο. Το project base point είναι η αρχή (0,0,0) του συστήματος συντεταγμένων στο project ενώ το survey point είναι ένα γνωστό σημείο στο project όπως για παράδειγμα ένα σημείο με γνωστές συντεταγμένες. Στο project ορίσαμε ως survey point ένα σημείο στο Level 2 με Elevation = 0, έτσι ώστε τα υψόμετρα να μετρώνται από το σημείο αυτό.

Αφού τελείωσε η διαδικασία ορισμού των επιπέδων που θα μας βοηθήσει στο σχεδιασμό των παραμετρικών οντοτήτων του μοντέλου, η δημιουργία του μοντέλου άρχισε με το σχεδιασμό του κελύφους του μοντέλου. Η δημιουργία του κελύφους ξεκίνησε με το σχεδιασμό των τοίχων πρώτα. Η δημιουργία τους, έγινε με τη χρήση της οντότητας “Wall” και έχοντας το νέφος των σημείων σε “Floor Plan View” (2D μορφή), για να έχουμε το νέφος σημείων οδηγό στο σχεδιασμό, προκειμένου να αντλήσουμε τις απαραίτητες πληροφορίες για τη θέση τους και τις διαστάσεις τους. Κατά αυτόν τον τρόπο είχαμε τη δυνατότητα να αντλήσουμε τις απαραίτητες πληροφορίες για το μήκος και το πάχος των τοίχων προκειμένου να αναπαρασταθούν σωστά στο μοντέλο. Όσο για το ύψος των τοίχων καθορίστηκε από το πεδίο Properties της παραμετρικής οντότητας “Wall”, με τη χρήση των “Levels” που είχαμε προκαθορίσει. Επειδή όλοι οι τοίχοι δεν είχαν το ίδιο πάχος, απαραίτητο ήταν να δημιουργηθούν τοίχοι με το κατάλληλο πάχος, όπως είναι στην πραγματικότητα στο κτίριο. Το νέφος σημείων ήταν πάλι ο οδηγός για τη δημιουργία των διαφόρων τοίχων, δίνοντας μας γεωμετρική πληροφορία. Επειδή η οντότητα “Wall” είναι παραμετρική, στο πεδίο Properties έγινε επεξεργασία των διαστάσεων και της λειτουργίας τους στο χώρο, αν είναι εξωτερικοί ή εσωτερικοί τοίχοι. Παρακάτω φαίνονται τα διαφορετικά είδη τοίχων που δημιουργήθηκαν για τις ανάγκες δημιουργίας του μοντέλου, καθώς και οι ιδιότητες της οντότητας “Wall”.



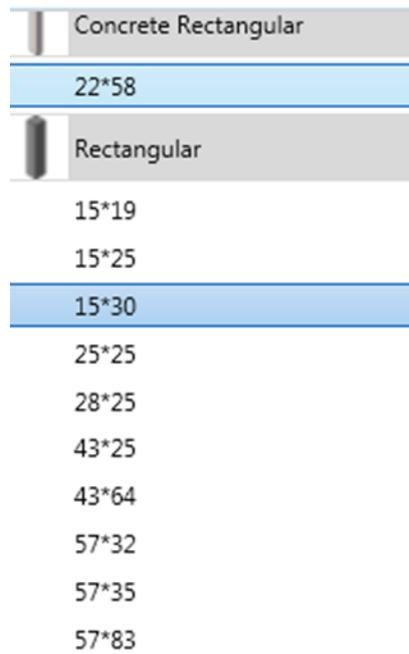
Basic Wall



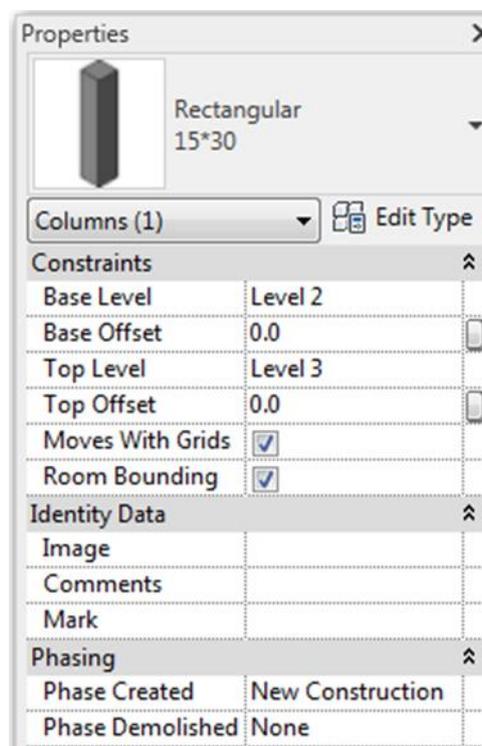
Εικόνα 87 : Διαφορετικά είδη τοίχων που χρησιμοποιήθηκαν ανάλογα με το πάχος

Εικόνα 88 : Απεικόνιση των ιδιοτήτων της οντότητας "Wall"

Επόμενο δομικό στοιχείο που σχεδιάστηκε ήταν οι κολώνες του κτιρίου, οι οποίες σχεδιάστηκαν με τον ίδιο τρόπο που περιγράψαμε πιο πάνω, αφού δημιουργήθηκαν πρώτα όλοι οι απαραίτητοι τύποι κολώνων που θα χρησιμοποιούσαμε στο μοντέλο. Όλοι οι τύποι κολώνων που χρησιμοποιήθηκαν, ήταν ορθογώνιου τύπου. Για τον προσδιορισμό τους στο πεδίο Properties ορίστηκε ως "Base Level" το Level2 και ως "Top Level" το "Level 3". Οι πληροφορίες για τις διαστάσεις των κολώνων εξήχθησαν από το νέφος των σημείων, έχοντας το σε "Floor Plan View" ενώ η τοποθέτηση τους έγινε σε αυτή την απεικόνιση.

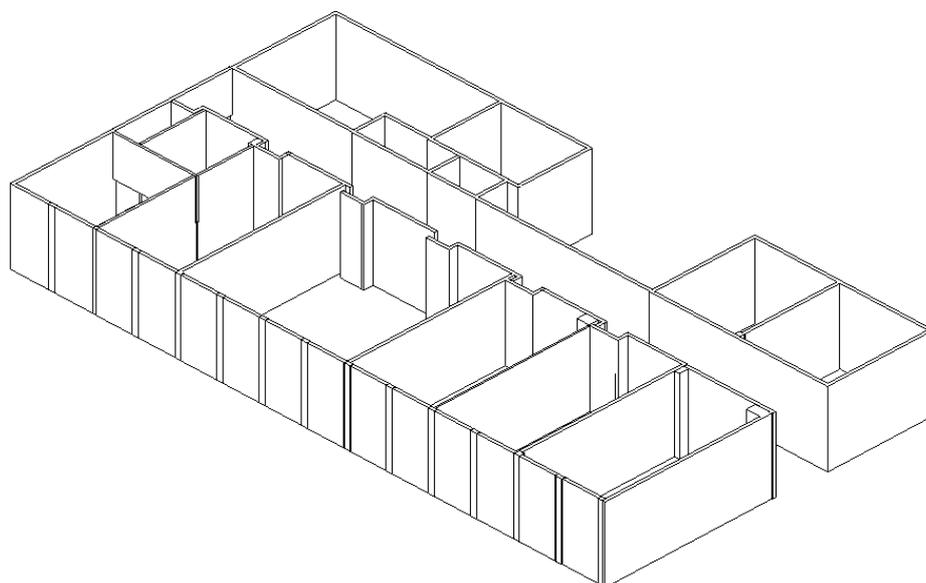


Εικόνα 89 : Διαφορετικά είδη κολώνων που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο



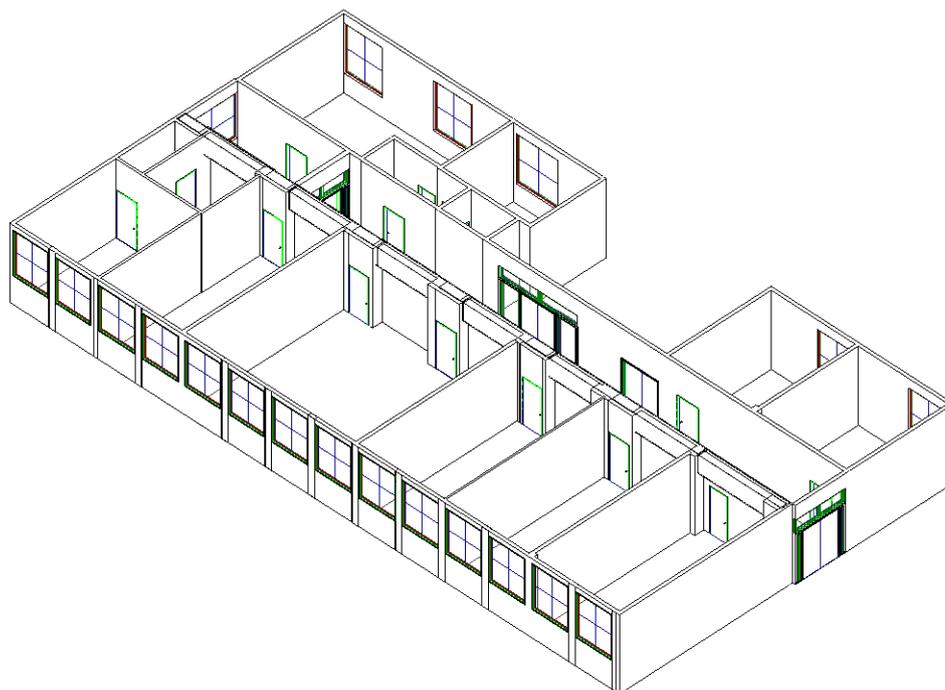
Εικόνα 90 : Παράδειγμα ιδιοτήτων της οντότητας "Column"

Στην Εικόνα 91 παρουσιάζεται το μοντέλο μετά το σχεδιασμό κάποιων βασικών δομικών στοιχείων (τοιχών, κολώνων), με το νέφος σημείων να είναι απενεργοποιημένο στην απεικόνιση αυτή, για να είναι ορατά τα δομικά στοιχεία που δημιουργήθηκαν .

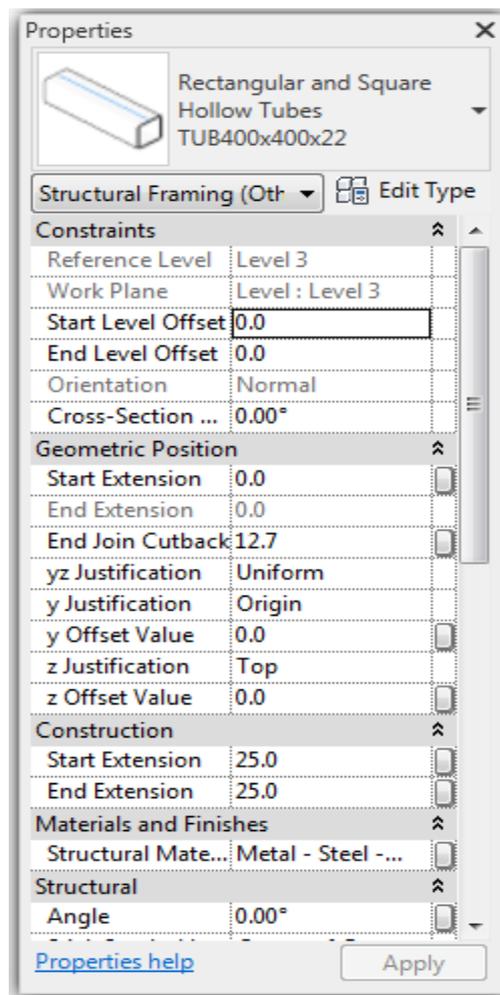


Εικόνα 91: Το μοντέλο του κτιρίου μετά τη δημιουργία των τοίχων και των κολώνων

Επόμενο δομικό στοιχείο που σχεδιάστηκε, ήταν τα δοκάρια του μοντέλου. Η σχεδίαση των δοκαριών έγινε σε 3d view λόγω της εύκολης και ακριβούς τοποθέτησης που μας προσφέρει η απεικόνιση αυτή. Για την οντότητα αυτή χρησιμοποιήθηκε ένας μόνο τύπος, του οποίου οι ιδιότητες φαίνονται στην Εικόνα 93 .

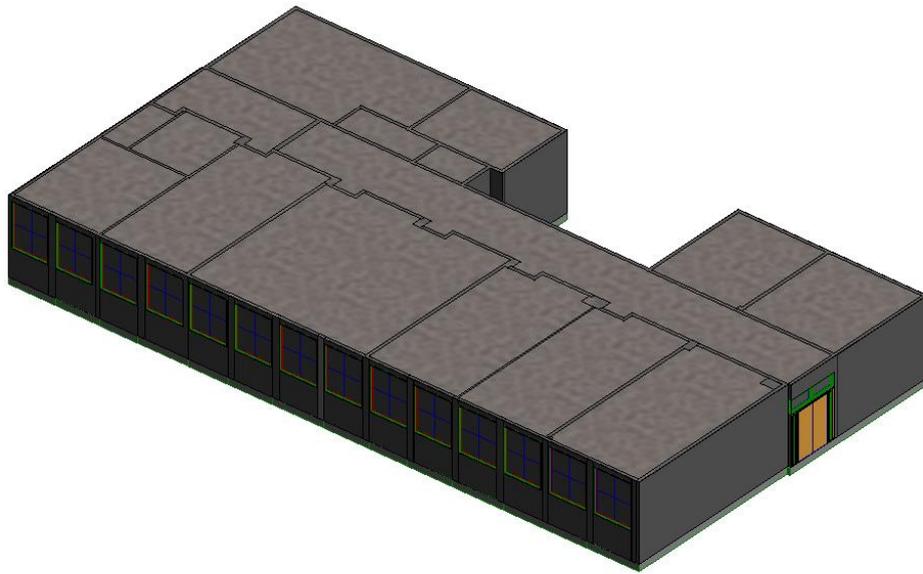


Εικόνα 92 : Το μοντέλο του κτιρίου μετά την προσθήκη δοκαριών



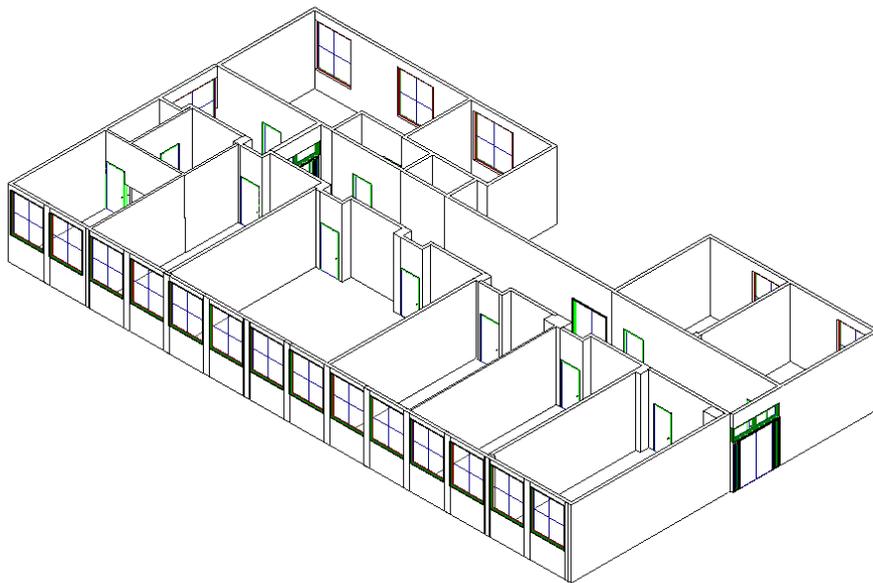
Εικόνα 93 : Ιδιότητες της οντότητας Beam

Για να ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός του κελύφους, σειρά είχε η εισαγωγή πατώματος και οροφής στο μοντέλο, όπως φαίνεται στην εικόνα 94.



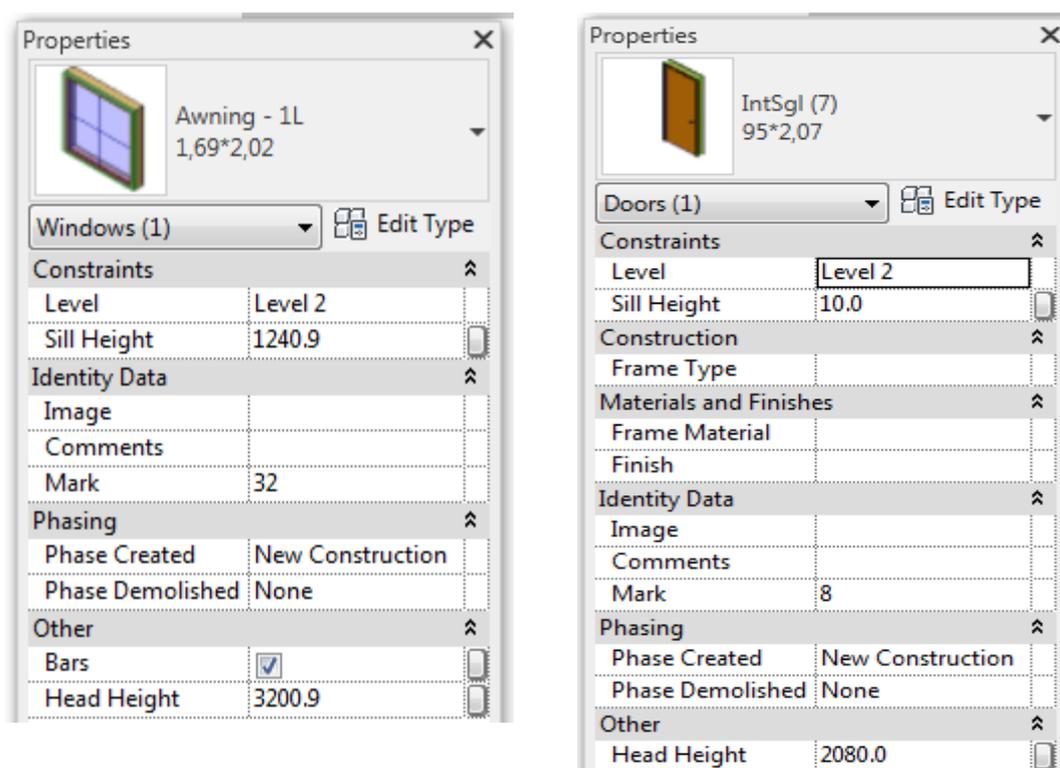
Εικόνα 94 : Άποψη του μοντέλου μετά την εισαγωγή οροφής και πατώματος

Επόμενα στοιχεία που προστέθηκαν στο μοντέλο, ήταν λεπτομέρειες στο εσωτερικό όπως πόρτες και παράθυρα. Για τον προσδιορισμό των υψομετρικών και οριζοντιογραφικών διαστάσεων των παραθύρων και των πορτών, μεταφερθήκαμε σε κατάλληλο Elevation, όπου είχαμε τη δυνατότητα να αντλήσουμε τις πληροφορίες αυτές. Ακόμα τα διάφορα Elevation μας βοήθησαν να τοποθετήσουμε τις οντότητες αυτές με ακρίβεια στο μοντέλο.



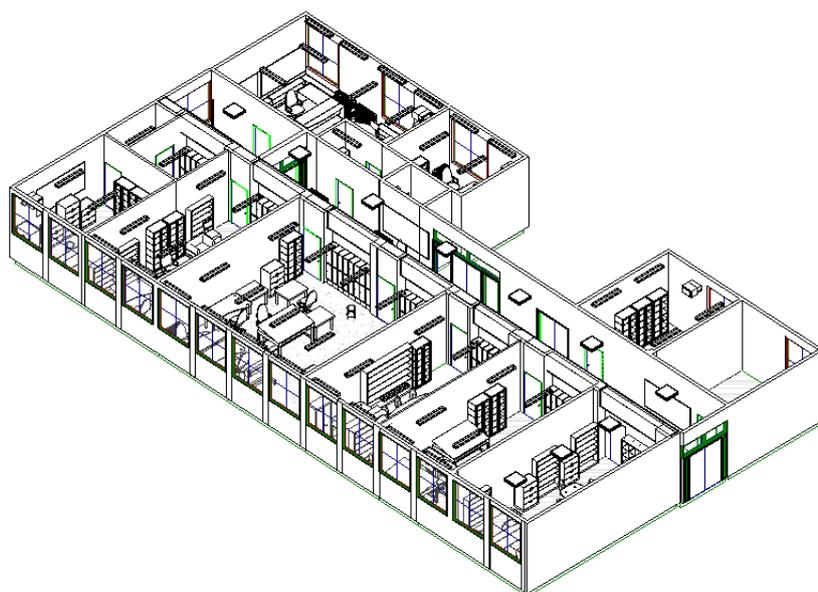
Εικόνα 95 : Άποψη του μοντέλου μετά την εισαγωγή πορτών και παραθύρων

Στην εικόνα 96 φαίνονται τα πεδία “Properties” των παραμετρικών οντοτήτων “Doors” και “Windows” που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία του εσωτερικού του μοντέλου. Στο σημείο αυτό το μοντέλο μας είναι σε LoD3, αφού είναι ένα λεπτομερές αρχιτεκτονικό μοντέλο που παρέχει περισσότερη λεπτομέρεια στους τοίχους, στις πόρτες και στα παράθυρα.



Εικόνα 96 : Ιδιότητες των παραμετρικών οντοτήτων “Doors” και “Windows”

Για να φτάσουμε σε επίπεδο λεπτομέρειας LOD4 για κτίρια στο CityGML, το οποίο είναι το ανώτερο επίπεδο λεπτομέρειας, έπρεπε δημιουργήσουμε ένα πιο ολοκληρωμένο μοντέλο με εσωτερικές δομές. Για επιτευχθεί αυτό αναγκαίο είναι να εισάγουμε λεπτομέρειες στο μοντέλο όπως έπιπλα και άλλα αντικείμενα. Η εισαγωγή των επίπλων έγινε με τη βοήθεια της οντότητας families του Revit που μας παρείχε τη δυνατότητα εισαγωγής πολλών ειδών επίπλων και αντικειμένων για εσωτερικούς χώρους. Έχοντας το project μας σε Floor Plan View, μπορούσαμε λεπτομερώς να διακρίνουμε τη θέση και το είδος των επίπλων και να κάνουμε κατάλληλη εισαγωγή από την οντότητα families. Παρακάτω παρουσιάζεται το μοντέλο μετά την εισαγωγή των επίπλων στο εσωτερικό του μοντέλου.



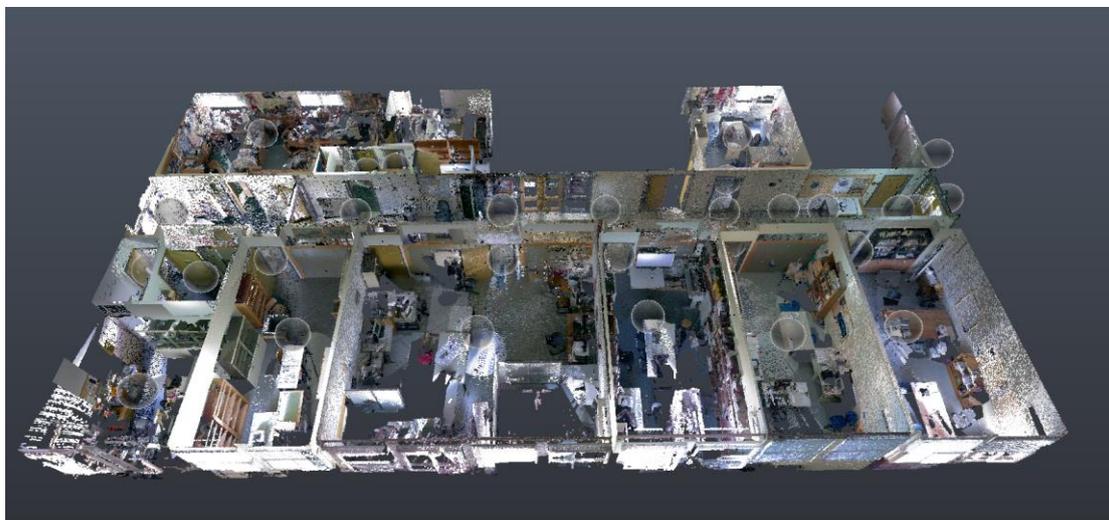
Εικόνα 97 : Άποψη του μοντέλου μετά την εισαγωγή επίπλων

Τέλος δώσαμε χρώμα στο εσωτερικό του μοντέλου, με βάση την απεικόνιση “Real View” του προγράμματος Autodesk ReCap που δημιουργείται από τις φωτογραφίες που παίρνει ο σαρωτής πριν ξεκινήσει τη διαδικασία σάρωσης του χώρου αλλά και μετά από επιτόπιο έλεγχο του χώρου που σαρώθηκε.



Εικόνα 98 : Άποψη του μοντέλου μετά την εισαγωγή χρώματος

Τέλος, παρακάτω φαίνεται το νέφος σημείων που δημιουργήθηκε από το laser scanner (Εικόνα 99) και διαφορετικές απόψεις του τρισδιάστατου μοντέλου που δημιουργήθηκε με χρήση του λογισμικού Revit (Εικόνες 100-103).



Εικόνα 99: Νέφος σημείων



Εικόνα 100 : Άποψη του τρισδιάστατου μοντέλου του κτιρίου στο Revit



Εικόνα 101 : Άποψη του τρισδιάστατου μοντέλου του κτιρίου στο Revit



Εικόνα 102 : Άποψη του τρισδιάστατου μοντέλου του κτιρίου στο Revit



Εικόνα 103 : Άποψη του τρισδιάστατου μοντέλου του κτιρίου στο Revit

5.4.3 Πληροφορίες που αντλήθηκαν από το μοντέλο που δημιουργήθηκε

Το Revit, παρέχει στους χρήστες του, τη δυνατότητα παρουσίασης διαφόρων πληροφοριών του μοντέλου σε μορφή πινάκων, που ονομάζονται 'Schedules'. Στους πίνακες αυτούς παρουσιάζονται πληροφορίες που αντλούνται από το πεδίο των ιδιοτήτων των οντοτήτων που έχουν χρησιμοποιηθεί σε ένα project. Στα 'Schedules' ακόμα εκτελούνται και παρουσιάζονται σε μορφή πίνακα διάφοροι υπολογισμοί σε βασικά χαρακτηριστικά του μοντέλου όπως το εμβαδό, η περίμετρος, ο όγκος κλπ. Για κάθε οντότητα της κατηγορίας 'Families' μπορεί να δημιουργηθεί ένα 'Schedule', με παραμέτρους που επιλέγει ο χρήστης. Δηλαδή υπάρχει δυνατότητα δημιουργίας ενός 'Schedule' για τα δωμάτια, τις πόρτες, τα παράθυρα ενός μοντέλου. Ακόμα υπάρχει η δυνατότητα αρίθμησης των οντοτήτων και εμφάνιση της αρίθμησης τόσο στο μοντέλο όσο και στο "Schedule". Όταν γίνεται κάποια αλλαγή στο μοντέλο, οι τιμές που υπολογίστηκαν στους πίνακες, ανανεώνονται αυτόματα. Τέλος το πρόγραμμα μας δίνει τη δυνατότητα σύνδεσης του μοντέλου με τους πίνακες, με την αρίθμηση των οντοτήτων, αφού επιλέγοντας πάνω σε ένα "Schedule" τον αριθμό της οντότητας μπορούμε να μεταβούμε στη θέση της οντότητας στο μοντέλο.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται ένα "Wall Schedule", όπου παρουσιάζονται κάποια βασικά χαρακτηριστικά των τοίχων που έχουν σχεδιαστεί στο μοντέλο. Διακρίνονται τα όρια των τοίχων, δηλαδή ποια είναι η βάση και το ανώτατο όριο των τοίχων στο μοντέλο. Ακόμα διακρίνεται ο τύπος του τοίχου που είναι συνδεδεμένος με το πάχος καθώς και η λειτουργία του τοίχου, αν είναι εσωτερικός ή εξωτερικός. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά

του μήκους και του πλάτους κάθε τοίχου που υπάρχει στο μοντέλο έχουν υπολογιστεί καθώς ο όγκος και το εμβαδόν τους.

<Wall Schedule>											
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Type Mark	Count	Base Constraint	Top Constraint	Family	Family and Type	Function	Area	Length	Width	Volume	Structural Material
WT5	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 150	Exterior	11.79 m ²	4040	140	1.65 m ³	
WT5	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 150	Exterior	8.79 m ²	2650	140	1.23 m ³	
WT5	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 150	Exterior	8.83 m ²	2660	140	1.24 m ³	
WT5	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 150	Exterior	7.47 m ²	2260	140	1.05 m ³	
WT5	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 150	Exterior	9.18 m ²	2700	140	1.29 m ³	
WT4	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 140	Interior	8.94 m ²	2700	140	1.25 m ³	
WT5	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 150	Exterior	17.32 m ²	5710	140	2.42 m ³	
WT4	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 140	Interior	9.73 m ²	3575	140	1.36 m ³	
WT4	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 140	Interior	7.03 m ²	2206	140	0.98 m ³	
WT4	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 140	Interior	11.13 m ²	3629	140	1.56 m ³	
WT4	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 140	Interior	5.65 m ²	2152	140	0.79 m ³	
WT3	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 130	Interior	11.48 m ²	3375	130	1.49 m ³	
WT3	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 130	Interior	5.17 m ²	1529	130	0.67 m ³	
WT5	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 150	Exterior	16.85 m ²	4813	140	2.36 m ³	
WT5	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 150	Exterior	20.16 m ²	8282	140	2.82 m ³	
WT5	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 150	Exterior	15.27 m ²	4560	140	2.14 m ³	
WT5	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 150	Exterior	23.98 m ²	8282	140	3.36 m ³	
WT5	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 150	Exterior	26.63 m ²	7845	140	3.74 m ³	
WT5	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 150	Exterior	18.37 m ²	4813	140	2.29 m ³	
WT5	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 150	Exterior	11.46 m ²	3569	140	1.60 m ³	
WT5	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 150	Exterior	1.78 m ²	523	140	0.25 m ³	
WT5	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 150	Exterior	9.47 m ²	4152	140	1.33 m ³	
WT5	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 150	Exterior	18.47 m ²	7817	140	2.59 m ³	
WT5	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 150	Exterior	16.54 m ²	4863	140	2.32 m ³	
WT5	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 150	Exterior	10.69 m ²	3149	140	1.50 m ³	
WT5	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 150	Exterior	5.14 m ²	1517	140	0.72 m ³	
WT5	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 150	Exterior	16.17 m ²	4826	140	2.26 m ³	
WT5	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 150	Exterior	2.96 m ²	1746	140	0.41 m ³	
WT5	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 150	Exterior	4.15 m ²	2264	140	0.58 m ³	
WT5	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 150	Exterior	5.97 m ²	3703	140	0.84 m ³	
WT5	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 150	Exterior	2.67 m ²	1760	140	0.37 m ³	
WT5	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 150	Exterior	24.76 m ²	7280	140	3.47 m ³	
WT11	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 70	Interior	25.00 m ²	7422	70	1.75 m ³	
WT5	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 150	Exterior	24.88 m ²	7384	140	3.48 m ³	
WT5	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 150	Exterior	25.14 m ²	7462	140	3.52 m ³	
WT2	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 100	Interior	11.12 m ²	3968	100	1.11 m ³	
WT2	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 100	Interior	9.28 m ²	2679	100	0.93 m ³	
WT2	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 100	Interior	15.71 m ²	4741	100	1.57 m ³	
WT5	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 150	Exterior	15.11 m ²	8334	140	2.11 m ³	
WT4	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 140	Interior	1.62 m ²	1120	140	0.23 m ³	
WT4	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 140	Interior	1.79 m ²	1040	140	0.25 m ³	
WT4	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 140	Interior	1.62 m ²	1120	140	0.23 m ³	
WT4	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 140	Interior	1.49 m ²	1080	140	0.21 m ³	
WT4	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 140	Interior	1.79 m ²	1105	140	0.25 m ³	
WT2	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 100	Interior	8.35 m ²	3154	100	0.84 m ³	
WT2	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 100	Interior	8.35 m ²	3154	100	0.84 m ³	
WT4	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 140	Interior	1.43 m ²	1060	140	0.20 m ³	
WT4	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 140	Interior	3.47 m ²	1512	140	0.49 m ³	
WT5	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 150	Exterior	3.33 m ²	2381	140	0.47 m ³	
WT3	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 130	Interior	1.92 m ²	424	130	0.25 m ³	
WT3	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 130	Interior	1.47 m ²	503	130	0.19 m ³	
WT3	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 130	Interior	1.95 m ²	503	130	0.25 m ³	
WT3	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 130	Interior	1.98 m ²	511	130	0.26 m ³	
WT3	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 130	Interior	1.40 m ²	411	130	0.18 m ³	
WT5	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 150	Exterior	1.46 m ²	500	140	0.20 m ³	
WT5	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 150	Exterior	6.99 m ²	4003	140	0.98 m ³	
WT5	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 150	Exterior	2.52 m ²	1716	140	0.35 m ³	
WT5	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 150	Exterior	4.32 m ²	2244	140	0.60 m ³	
WT5	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 150	Exterior	3.45 m ²	1989	140	0.48 m ³	
WT5	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 150	Exterior	4.51 m ²	2300	140	0.63 m ³	
WT5	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 150	Exterior	3.47 m ²	1995	140	0.49 m ³	
WT5	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 150	Exterior	2.47 m ²	1700	140	0.35 m ³	
WT5	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 150	Exterior	3.55 m ²	1988	140	0.50 m ³	
WT5	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 150	Exterior	8.83 m ²	2660	140	1.24 m ³	
WT5	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 150	Exterior	2.36 m ²	2492	140	0.33 m ³	
WT6	1	Level 2	Up to level: Level 3	Basic Wall	Basic Wall: 190	Interior	2.32 m ²	2409	190	0.44 m ³	

Πίνακας 3 : Πίνακας “Wall Schedule” που δημιουργήθηκε κατά την επεξεργασία των δεδομένων

Αντίστοιχα δημιουργήθηκε ένα “Column Schedule” για την οντότητα “Column”, όπου διακρίνεται από ποιο επίπεδο μέχρι ποιο επίπεδο έχουν σχεδιαστεί όλες οι κατηγορίες αυτής της οντότητας, καθώς και χαρακτηριστικά για την “οικογένεια” που ανήκει.

<Column Schedule>					
A	B	C	D	E	F
Count	Base Level	Top Level	Family	Family and Type	Type
1	Level 2	Level 3	Rectangular	Rectangular: 43*64	43*64
1	Level 2	Level 3	Rectangular	Rectangular: 15*19	15*19
1	Level 2	Level 3	Rectangular	Rectangular: 15*30	15*30
1	Level 2	Level 3	Rectangular	Rectangular: 57*83	57*83
1	Level 2	Level 3	Rectangular	Rectangular: 15*30	15*30
1	Level 2	Level 3	Rectangular	Rectangular: 15*30	15*30
1	Level 2	Level 3	Rectangular	Rectangular: 15*30	15*30
1	Level 2	Level 3	Rectangular	Rectangular: 15*30	15*30
1	Level 2	Level 3	Rectangular	Rectangular: 15*30	15*30
1	Level 2	Level 3	Rectangular	Rectangular: 15*30	15*30
1	Level 2	Level 3	Rectangular	Rectangular: 15*30	15*30
1	Level 2	Level 3	Rectangular	Rectangular: 15*30	15*30
1	Level 2	Level 3	Rectangular	Rectangular: 28*25	28*25
1	Level 2	Level 3	Rectangular	Rectangular: 15*30	15*30
1	Level 2	Level 3	Rectangular	Rectangular: 15*25	15*25
1	Level 2	Level 3	Rectangular	Rectangular: 15*19	15*19
1	Level 2	Level 3	Rectangular	Rectangular: 25*25	25*25
1	Level 2	Level 3	Rectangular	Rectangular: 57*35	57*35
1	Level 2	Level 3	Rectangular	Rectangular: 57*35	57*35
1	Level 2	Level 3	Rectangular	Rectangular: 57*35	57*35
1	Level 2	Level 3	Rectangular	Rectangular: 57*35	57*35
1	Level 2	Level 3	Rectangular	Rectangular: 57*35	57*35

Πίνακας 4 : Πίνακας “ Column Schedule” που δημιουργήθηκε κατά την επεξεργασία των δεδομένων

Στον Πίνακα 5 φαίνεται ένα “Floor Schedule”, όπου παρουσιάζονται όλες οι πληροφορίες σχετικά με τα πατώματα του μοντέλου μας. Φαίνεται σε ποιο επίπεδο έχουν σχεδιαστεί, ο τύπος του πατώματος ενώ έχει υπολογιστεί η περίμετρος και το εμβαδόν τους.

<Floor Schedule>							
A	B	C	D	E	F	G	H
Count	Level	Area	Perimeter	Default Thickness	Family	Family and Type	Type
1	Level 2	38.05 m²	25630	300	Floor	Floor: Floor 1	Floor 1
1	Level 2	99.16 m²	57046	300	Floor	Floor: Floor 2	Floor 2
1	Level 2	117.03 m²	66876	300	Floor	Floor: Floor 3	Floor 3
1	Level 2	29.69 m²	23338	300	Floor	Floor: Floor 4	Floor 4
1	Level 2	72.89 m²	36082	300	Floor	Floor: Floor 5	Floor 5
1	Level 2	53.34 m²	33402	300	Floor	Floor: Floor 6	Floor 6
1	Level 2	2.83 m²	6876	300	Floor	Floor: Floor 7	Floor 7

Πίνακας 5 : Πίνακας “ Floor Schedule” που δημιουργήθηκε κατά την επεξεργασία των δεδομένων

Στον Πίνακα 6 παρουσιάζεται ένα “Ceiling Schedule”, όπου διακρίνονται όλες οι πληροφορίες σχετικά με την οροφή που δημιουργήσαμε στο μοντέλου μας. Φαίνεται σε ποιο επίπεδο έχει σχεδιαστεί, η περίμετρος, το εμβαδόν, καθώς και στοιχεία για την “οικογένεια” (family) στην οποία ανήκει.

<Ceiling Schedule>						
A	B	C	D	E	F	G
Count	Level	Family	Family and Type	Type	Perimeter	Area
1	Level 3	Basic Ceiling	Basic Ceiling: Ceilin	Ceiling 1	97784	389.94 m ²

Πίνακας 6 : Πίνακας “Ceiling Schedule” που δημιουργήθηκε κατά την επεξεργασία των δεδομένων

Στον πίνακα “Window Schedule” διακρίνονται οι διαστάσεις των παραθύρων που έχουν σχεδιαστεί για τη δημιουργία του μοντέλου. Ακόμα διακρίνονται και άλλα χαρακτηριστικά, όπως το επίπεδο στο οποίο βρίσκονται και ο τύπος τους. Τέλος το Revit μας δίνει τη δυνατότητα έξυπνης μοντελοποίησης, αφού πατώντας στον αριθμό του παραθύρου στο “Window Schedule” στο πεδίο “Mark”, μας παραπέμπει στο αντίστοιχο παράθυρο στο μοντέλο, δίνοντας μας τη δυνατότητα της σύνδεσης της οπτικής αντίληψης με τα χαρακτηριστικά των οντοτήτων του μοντέλου.

<Window Schedule>								
A	B	C	D	E	F	G	H	I
Mark	Count	Width	Height	Family	Family and Type	Type	Level	Operation
3	1	1690	1960	Awning - 1L	Awning - 1L: 1,74*	1,74*2,02	Level 2	UserDefined
8	1	1690	1960	Awning - 1L	Awning - 1L: 1,74*	1,74*2,02	Level 2	UserDefined
11	1	1690	1960	Awning - 1L	Awning - 1L: 1,74*	1,74*2,02	Level 2	UserDefined
12	1	1690	1960	Awning - 1L	Awning - 1L: 1,74*	1,74*2,02	Level 2	UserDefined
16	1	1640	1960	Awning - 1L	Awning - 1L: 1,69*	1,69*2,02	Level 2	UserDefined
17	1	1780	2150	Awning - 1L	Awning - 1L: 1,83*	1,83*2,21	Level 2	UserDefined
18	1	1780	2150	Awning - 1L	Awning - 1L: 1,83*	1,83*2,21	Level 2	UserDefined
20	1	1950	2150	Awning - 1L	Awning - 1L: 2*2,2	2*2,21	Level 2	UserDefined
21	1	1750	2150	Awning - 1L	Awning - 1L: 1,80*	1,80*2,21	Level 2	UserDefined
22	1	1750	2150	Awning - 1L	Awning - 1L: 1,80*	1,80*2,21	Level 2	UserDefined
23	1	2340	1960	Awning - 1L	Awning - 1L: 2,39*	2,39*2,02	Level 1	UserDefined
24	1	1690	1960	Awning - 1L	Awning - 1L: 1,74*	1,74*2,02	Level 2	UserDefined
25	1	1690	1960	Awning - 1L	Awning - 1L: 1,74*	1,74*2,02	Level 2	UserDefined
26	1	1690	1960	Awning - 1L	Awning - 1L: 1,74*	1,74*2,02	Level 2	UserDefined
27	1	1690	1960	Awning - 1L	Awning - 1L: 1,74*	1,74*2,02	Level 2	UserDefined
28	1	1690	1960	Awning - 1L	Awning - 1L: 1,74*	1,74*2,02	Level 2	UserDefined
29	1	1690	1960	Awning - 1L	Awning - 1L: 1,74*	1,74*2,02	Level 2	UserDefined
30	1	1690	1960	Awning - 1L	Awning - 1L: 1,74*	1,74*2,02	Level 2	UserDefined
31	1	1690	1960	Awning - 1L	Awning - 1L: 1,74*	1,74*2,02	Level 2	UserDefined
32	1	1640	1960	Awning - 1L	Awning - 1L: 1,69*	1,69*2,02	Level 2	UserDefined
35	1	2300	600	Awning Casement	Awning Casement	1200/1200	Level 1	DoublePanelVertic
38	1	2300	600	Awning Casement	Awning Casement	1200/1200	Level 1	DoublePanelVertic
46	1	200	2050	Awning with Trim	Awning with Trim:	0406 x 0610mm	Level 2	
47	1	200	2050	Awning with Trim	Awning with Trim:	0406 x 0610mm	Level 2	
48	1	200	2050	Awning with Trim	Awning with Trim:	0406 x 0610mm	Level 2	
49	1	200	2050	Awning with Trim	Awning with Trim:	0406 x 0610mm	Level 2	
50	1	915	2100	Awning with Trim	Awning with Trim:	0915 x 2100mm	Level 2	
51	1	915	2100	Awning with Trim	Awning with Trim:	0915 x 2100mm	Level 2	
52	1	3650	600	Awning Casement	Awning Casement	600/3700	Level 1	DoublePanelVertic

Πίνακας 7 : Πίνακας “Window Schedule” που δημιουργήθηκε κατά την επεξεργασία των δεδομένων

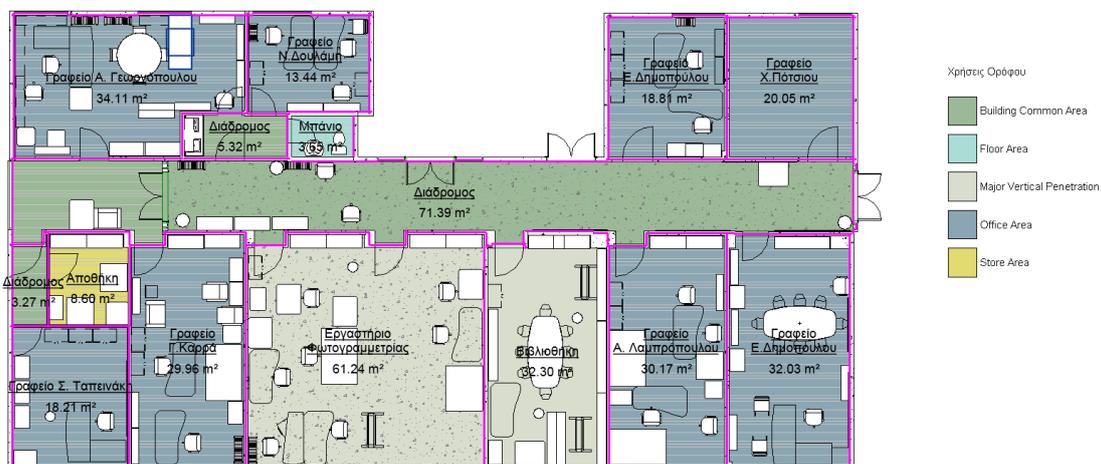
Αντίστοιχο “Schedule” μπορούμε να δημιουργήσουμε και για την οντότητα “Door”, όπου διακρίνονται οι διαστάσεις των πορτών, αν είναι εσωτερικές ή εξωτερικές καθώς και άλλα στοιχεία για την “οικογένεια” που ανήκουν.

<Door Schedule>								
A	B	C	D	E	F	G	H	I
Mark	Count	Width	Height	Function	Operation	Family	Family and Type	Type
1	1	1010	2070	Interior	SingleSwingRight	IntSgl (7)	IntSgl (7): 1,01*2,0	1,01*2,07
2	1	1010	2070	Interior	SingleSwingRight	IntSgl (7)	IntSgl (7): 1,01*2,0	1,01*2,07
3	1	850	2060	Interior	SingleSwingRight	IntSgl (7)	IntSgl (7): 0,85*2,0	0,85*2,06
6	1	950	2070	Interior	SingleSwingRight	IntSgl (7)	IntSgl (7): 95*2,07	95*2,07
7	1	950	2070	Interior	SingleSwingRight	IntSgl (7)	IntSgl (7): 95*2,07	95*2,07
8	1	950	2070	Interior	SingleSwingRight	IntSgl (7)	IntSgl (7): 95*2,07	95*2,07
9	1	950	2070	Interior	SingleSwingRight	IntSgl (7)	IntSgl (7): 95*2,07	95*2,07
10	1	950	2070	Interior	SingleSwingRight	IntSgl (7)	IntSgl (7): 95*2,07	95*2,07
15	1	950	2070	Interior	SingleSwingRight	IntSgl (7)	IntSgl (7): 95*2,07	95*2,07
16	1	950	2070	Interior	SingleSwingRight	IntSgl (7)	IntSgl (7): 95*2,07	95*2,07
21	1	800	2090	Interior	SingleSwingRight	IntSgl (7)	IntSgl (7): 80*2,09	80*2,09
23	1	800	2090	Interior	SingleSwingRight	IntSgl (7)	IntSgl (7): 80*2,09	80*2,09
26	1	950	2070	Interior	SingleSwingRight	IntSgl (7)	IntSgl (7): 95*2,07	95*2,07
27	1	950	2070	Interior	SingleSwingRight	IntSgl (7)	IntSgl (7): 95*2,07	95*2,07
28	1	950	2070	Interior	SingleSwingRight	IntSgl (7)	IntSgl (7): 95*2,07	95*2,07
29	1	800	2090	Interior	SingleSwingRight	IntSgl (7)	IntSgl (7): 80*2,09	80*2,09
30	1	789	2060	Interior	DoubleDoorSingleS	Double - Flush	Double - Flush: 1,6	1,6*2,1
32	1	789	2060	Interior	DoubleDoorSingleS	Double - Flush	Double - Flush: 1,6	1,6*2,1
33	1	789	2060	Interior	DoubleDoorSingleS	Double - Flush	Double - Flush: 1,6	1,6*2,1
34	1	789	2060	Interior	DoubleDoorSingleS	Double - Flush	Double - Flush: 1,6	1,6*2,1

Πίνακας 8 : Πίνακας “Door Schedule” που δημιουργήθηκε κατά την επεξεργασία των δεδομένων

5.4.4 Ορισμός 2D χρήσεων του κτιρίου

Οι χρήσεις των χώρων του κτιρίου μπορούν να οριοθετηθούν στο Revit ανάλογα με τη χρήση του χώρου και να απεικονιστούν με διαφορετικό χρώμα για καλύτερο οπτικό αποτέλεσμα και ευκολότερο διαχωρισμό των χρήσεων. Ο διαχωρισμός αυτός γίνεται με το εργαλείο ‘Room’ του Revit και με πληροφορίες που πήραμε για το χώρο κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Η οριοθέτηση των χώρων έγινε με το ειδικό εργαλείο “Room” του Revit και ειδικότερα επιλέγοντας το εξωτερικό μέρος των τοίχων κάθε χώρου. Επιπλέον είναι δυνατόν να απεικονίζονται και άλλες πληροφορίες σχετικά με τη χρήση των χώρων (π.χ το όνομα του χρήστη) αλλά και πληροφορίες σχετικά με το χώρο όπως το εμβαδόν. Αφού οριοθετήθηκαν οι χώροι δημιουργήθηκε και το αντίστοιχο ‘Schedule’, το ‘Area Schedule’, με παραμέτρους της επιλογής μας. Το “Area Schedule” εμπλουτίστηκε με το είδος του χώρου (Area Type), το επίπεδο στο οποίο βρίσκεται (Level), το εμβαδό (Area) κάθε χώρου ξεχωριστά καθώς και την περίμετρο (Perimeter).



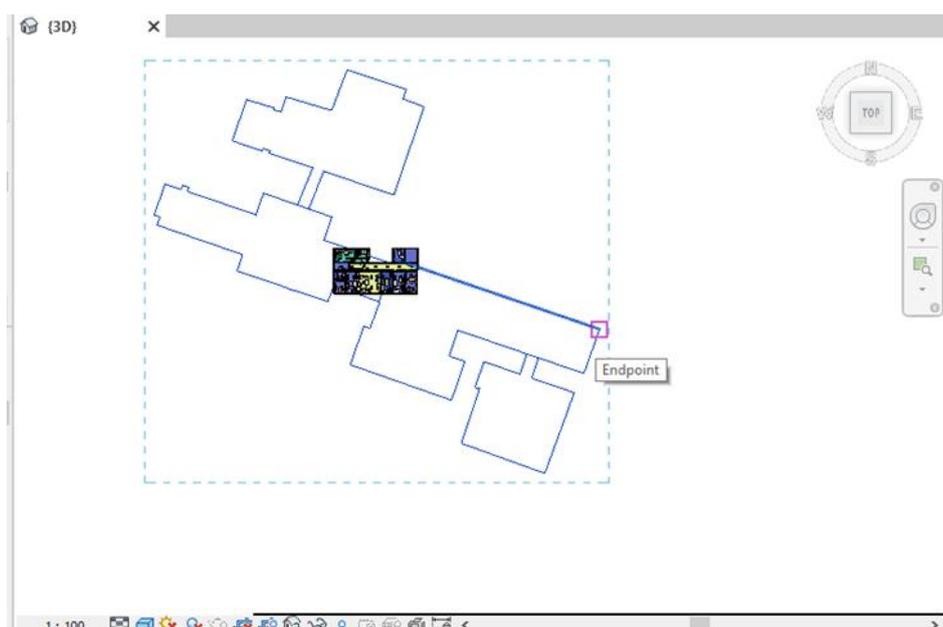
Εικόνα 104 : Χρήσεις του ορόφου

<Area Schedule (Area Scheme 1)>					
A	B	C	D	E	
Name	Area Type	Level	Area	Perimeter	
Γραφείο	Ε. Δημοπούλου	Office Area	Level 2	18.81 m ²	17227
Γραφείο	Χ.Πότσιου	Office Area	Level 2	20.05 m ²	17750
Γραφείο	Ε. Δημοπούλου	Office Area	Level 2	32.03 m ²	23743
Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας		Building Common Area	Level 2	61.24 m ²	32316
Αεα		Major Vertical Penetration	Level 2	Redundant Area	Redundant Area
Βιβλιοθήκη		Major Vertical Penetration	Level 2	32.30 m ²	23803
Γραφείο	Γ.Κορρά	Office Area	Level 2	29.96 m ²	23267
Γραφείο Ταπενάκη		Office Area	Level 2	18.21 m ²	16888
Αποθήκη		Store Area	Level 2	8.60 m ²	11569
Διάδρομος		Building Common Area	Level 2	3.27 m ²	8313
Γραφείο	Ν.Δουλάμη	Office Area	Level 2	13.44 m ²	14503
Γραφείο Α. Γεωργόπουλου		Office Area	Level 2	34.11 m ²	24812
Διάδρομος		Building Common Area	Level 2	5.32 m ²	9658
Μπάνιο		Floor Area	Level 2	3.65 m ²	6876
Διάδρομος		Building Common Area	Level 2	71.39 m ²	66598
Γραφείο	Α. Λαμπρόπουλου	Office Area	Level 2	30.17 m ²	23393

Πίνακας 9 : Πίνακας “Area Schedule” που δημιουργήθηκε κατά την επεξεργασία των δεδομένων

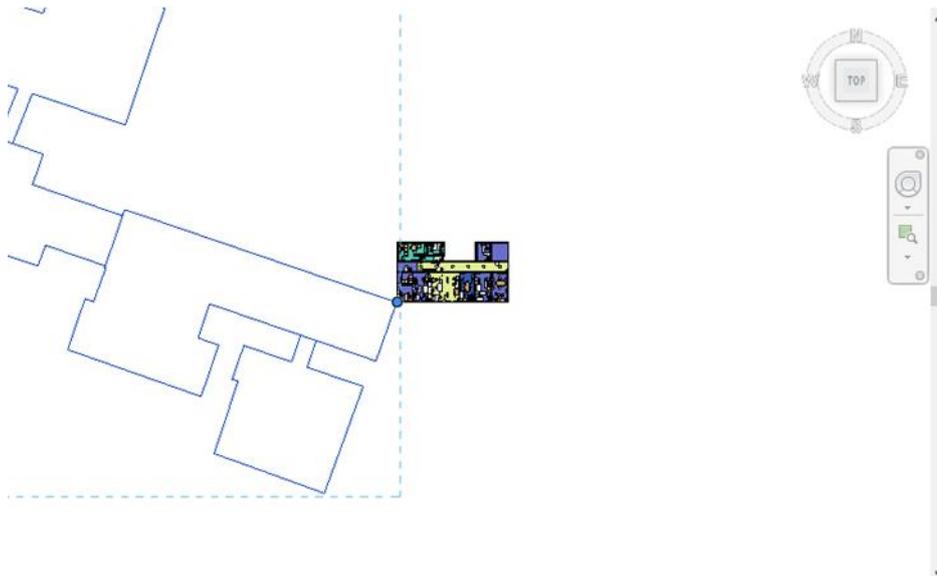
5.4.5 Γεωαναφορά του μοντέλου

Για τη γεωαναφορά του μοντέλου, πρώτο βήμα αποτέλεσε η εισαγωγή του αρχείου CAD με το περίγραμμα του κτιρίου στο λογισμικό του Revit, μέσω της εντολής “Link CAD” και επιλέγοντας το επίπεδο που θα τοποθετηθεί στο μοντέλο. Αφού επιλέξαμε να τοποθετηθεί στο επίπεδο Level 2 και την επιλογή “Auto – Center to ‘Center” στο πεδίο “Positioning”, το αρχείο CAD εισήχθη στο μοντέλο μας. Το περίγραμμα του κτιρίου, φαίνεται στην Εικόνα 105, μετά την εισαγωγή του στο λογισμικό του Revit μαζί με το μοντέλο που δημιουργήσαμε.



Εικόνα 105 : Το μοντέλο και το περίγραμμα του κτιρίου στο περιβάλλον του Revit

Το αρχείο CAD που εισάγαμε στο περιβάλλον του Revit χρησιμοποιεί διαφορετικό σύστημα αναφοράς σε σχέση με αυτό που έχουμε στο μοντέλο μας. Για να γίνει η σύνδεση των δύο συστημάτων, αυτού που χρησιμοποιούμε στο Revit και έχει δημιουργηθεί το μοντέλο και του συστήματος που είναι μετρημένο το περίγραμμα του κτιρίου, αναγκαίο ήταν να έρθει το περίγραμμα του κτιρίου και το μοντέλο σε σωστή σχετική θέση. Το μοντέλο που δημιουργήσαμε, έπρεπε να μετακινηθεί και να περιστραφεί για να ταυτιστεί στη σωστή θέση με το περίγραμμα του κτιρίου που εισάγαμε με το αρχείο CAD, όπως φαίνεται στην Εικόνα 106.



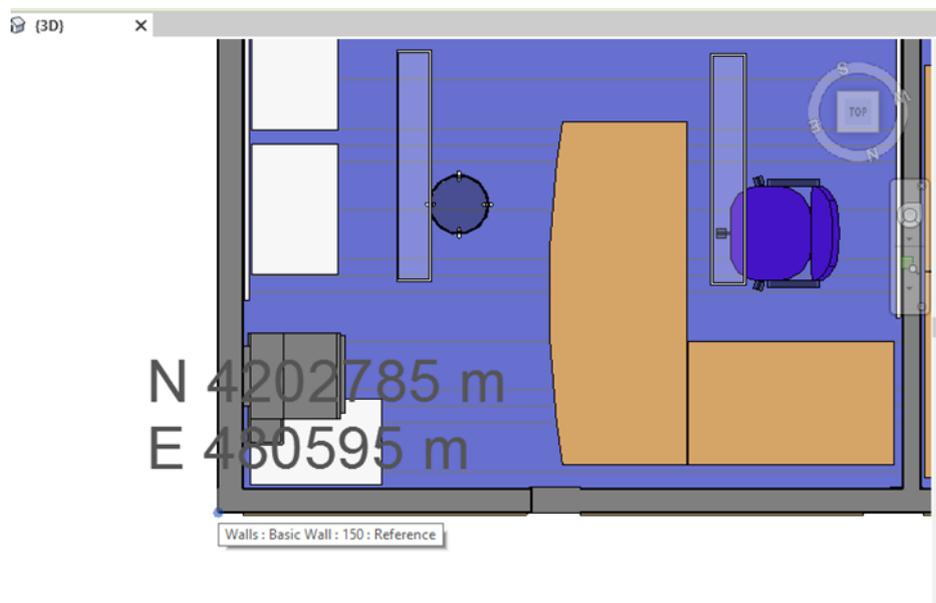
Εικόνα 106 : Το περίγραμμα του κτιρίου και το μοντέλο κατά τη διαδικασία γεωαναφοράς του μοντέλου

Έπειτα με την εντολή “Acquire Coordinates” το σύστημα αναφοράς που χρησιμοποιείται πλέον στο project είναι το σύστημα του αρχείου CAD που εισάγαμε και γίνεται σύνδεση με το μοντέλο με τον πραγματικό βορρά. Στην Εικόνα 107 φαίνεται το μοντέλο μαζί με το περίγραμμα του κτιρίου μετά τη σύνδεση τους .



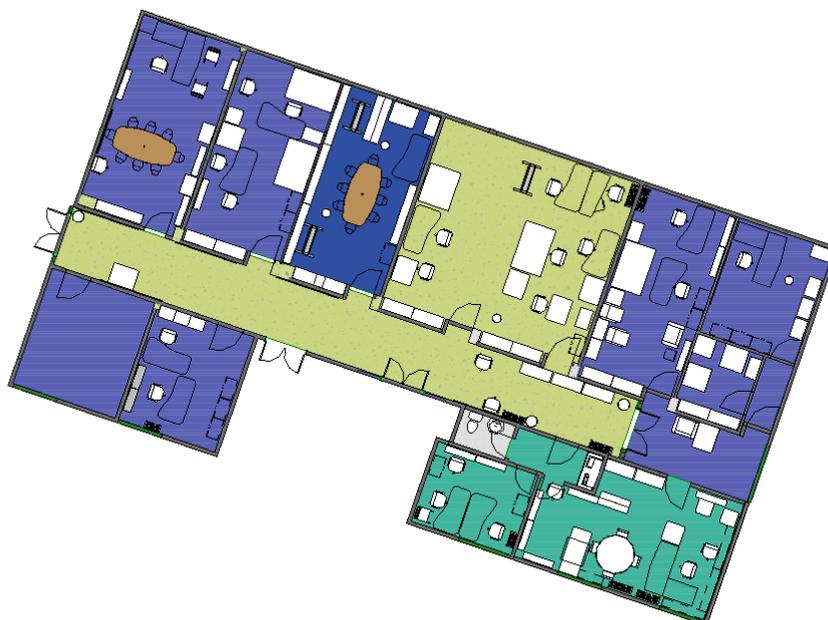
Εικόνα 107 : Μοντέλο και περίγραμμα του κτιρίου μετά τη σύνδεση τους.

Στην Εικόνα 108 φαίνονται οι συντεταγμένες ενός σημείου στο μοντέλο μας μετά την αλλαγή του συστήματος αναφοράς και τη σύνδεση του μοντέλου με τον πραγματικό βορρά.



Εικόνα 108 : Συντεταγμένες σημείου μετά την αλλαγή συστήματος αναφοράς

Τέλος στην Εικόνα 109 παρουσιάζεται μια κάτοψη του μοντέλου σε κλίμακα 1:100, προσανατολισμένη με τον πραγματικό βορρά.



Εικόνα 109 : Κάτοψη του μοντέλου σε κλίμακα 1:100

5.5 Συμπεράσματα

Ανακεφαλαιώνοντας και συνοψίζοντας τα όσα αναφέρθηκαν στη διπλωματική αυτή, έγιναν κατανοητά τα πολλαπλά οφέλη της 3d μοντελοποίησης ενός κτιρίου, μέσα από την εφαρμογή μας στο Λαμπαδάριο Κτίριο αλλά και η ευκολία στη συλλογή δεδομένων με τη μέθοδο αποτύπωσης με laser scanner.

Αρχικά η μέθοδος αποτύπωσης με laser scanner, είναι μια μέθοδος που τα τελευταία χρόνια βρίσκει ολοένα και περισσότερες εφαρμογές εξαιτίας των πλεονεκτημάτων που έχει σε σχέση με άλλες μεθόδους. Τα αποτελέσματα που παρέχει στην αποτύπωση και στην απόδοση κτιρίων είναι υψηλής ακρίβειας και στην περίπτωση της εφαρμογής μας, στο Λαμπαδάριο Κτίριο, τα αποτελέσματα ήταν πολύ ικανοποιητικά. Ακόμα είναι ιδανική μέθοδος αποτύπωσης για εσωτερικούς χώρους αφού στους εσωτερικούς χώρους δημιουργείται λιγότερος θόρυβος σε σχέση με τους εξωτερικούς χώρους, που δημιουργείται θόρυβος εξαιτίας των περαστικών, αυτοκινήτων και εμποδίων στο αντικείμενο σάρωσης. Ο θόρυβος θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψιν γιατί είναι ένας από τους παράγοντες που επηρεάζει την ακρίβεια των μετρήσεων. Ακόμα η διαδικασία των σαρώσεων σε εσωτερικούς χώρους δεν επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες. Ένα από τα βασικότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου σάρωσης είναι η δυνατότητα συλλογής εκατομμυρίων σημείων σε πολύ μικρό χρόνο, αποτυπώνοντας έναν νέφος εκατομμυρίων πολύ πυκνών σημείων. Σε σχέση με μια τοπογραφική αποτύπωση, όπου συγκεκριμένα σημεία εντοπίζονται και αποτυπώνονται τα οποία θεωρούνται σημαντικά για την παραγωγή του αντικειμένου αποτύπωσης, στη σάρωση με laser αποτυπώνονται εκατομμύρια σημεία του αντικειμένου που αποδίδεται. Ακόμα στην τοπογραφική αποτύπωση επιλέγονται από τον μελετητή τα λιγότερα δυνατά σημεία για να γίνει η τρισδιάστατη αποτύπωση, κάτι που χρειάζεται εμπειρία για να επιλεχθούν τα κατάλληλα σημεία και να μην χρειαστεί να γίνουν επαναληπτικές μετρήσεις. Στη σάρωση με laser, δεν επιλέγονται σημεία στην αποτύπωση αλλά αποτυπώνονται εκατομμύρια σημεία, χωρίς την επιλογή τους από το χρήστη και χωρίς να είναι αναγκαίος κάποιος έμπειρος χρήστης. Τέλος οι σαρώσεις σε ένα κτίριο μπορούν να γίνουν είτε ένα κτίριο είναι τελείως άδειο, είτε έχει εσωτερικές δομές όπως έπιπλα και άλλα αντικείμενα.

Η διαδικασία των σαρώσεων δεν είναι καθόλου χρονοβόρα διαδικασία παρόλο που αποτυπώνονται εκατομμύρια σημεία. Κάθε σάρωση συνολικά διαρκεί περίπου 5 λεπτά. Ο καθαρός χρόνος σάρωσης του οργάνου είναι περίπου 3 λεπτά, ωστόσο αναγκαίο ήταν να συνενώνουμε τις σαρώσεις μεταξύ τους μέσω του προγράμματος Recap στο i pad, για αυτό χρειαζόμασταν περίπου 1-2 λεπτά για τη διαδικασία αυτή. Ο χρόνος πραγματοποίησης των μετρήσεων στο πεδίο δεν ξεπέρασαν τις 4 ώρες, λαμβάνοντας υπόψιν ότι έγιναν δύο σαρώσεις σε υψηλή ανάλυση που διαρκεί η κάθε μια 10 λεπτά και ότι υπήρχαν καθυστερήσεις λόγω της παρουσίας φοιτητών στο χώρο. Ο σαρωτής στα σημεία που τον τοποθετούσαμε δεν ήθελε κέντρωση, απλά τον μετακινούσαμε από στάση σάρωσης σε στάση σάρωσης. Επιπλέον η διαδικασία επεξεργασίας του νέφους, χρειάζεται μικρή εξοικείωση και το λογισμικό επεξεργασίας του νέφους δεν χρειάζεται ιδιαίτερες γνώσεις. Η διαδικασία του "registration" είναι μια διαδικασία που πολλές φορές είναι και αυτοματοποιημένη, αφού τα διάφορα λογισμικά προσφέρουν τη δυνατότητα αυτόματης

συρραφής των νεφών μεταξύ τους. Ωστόσο προτιμάται η διαδικασία του “registration” να γίνεται από τον χρήστη γιατί έχουμε έλεγχο της ποιότητας της συνένωσης των νεφών, μέσω των στατιστικών που μας δίνει το πρόγραμμα μετά τη συνένωση. Η διαδικασία εντοπισμού και απαλοιφής του θορύβου είναι περισσότερο χρονοβόρα διαδικασία αφού πρέπει χειροκίνητα να επιλεγούν και να διαγραφούν οι περιοχές που περιέχουν θόρυβο. Απαραίτητη είναι η καλή γνώση των λογισμικών τρισδιάστατης σχεδίασης από τα οποία θα εξάγονται τα τελικά τρισδιάστατα μοντέλα των αντικειμένων που σαρώνονται.

Κατά τη διαδικασία των μετρήσεων έπρεπε να αντιμετωπιστούν κάποια ζητήματα, τα οποία επηρεάζουν άμεσα τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Ένα τέτοιο ζήτημα είναι ότι ο χώρος όπου θα γίνονταν οι μετρήσεις έπρεπε να απομονωθεί από ανθρώπους τόσο για να μην εισάγεται θόρυβος στις μετρήσεις, όσο για να είναι δυνατή η ανεμπόδιστη και ασφαλής μετακίνηση του οργάνου. Επιπλέον αναγκαία ήταν η κάλυψη των παραθύρων στους χώρους των σαρώσεων για να μην δημιουργείται θόρυβος λόγω της πολλαπλής ανάκλασης της ακτίνας του laser που επιστρέφουν οι επιφάνειες αυτές αλλά και για να μην αποτυπώνονται σημεία εκτός του χώρου που σαρώνεται. Για την ανεμπόδιστη υλοποίηση των σαρώσεων αναγκαία είναι η προετοιμασία του εξοπλισμού, έχοντας πάντα μπαταρίες φορτισμένες για το σαρωτή laser και φορτισμένο i pad ή αν είναι δυνατόν πρόσβαση σε παροχή ρεύματος. Τέλος ο χρόνος πραγματοποίησης των μετρήσεων έπρεπε να προσαρμοστεί στο ωράριο λειτουργίας του Εργαστηρίου, επηρεάζοντας έτσι την οργάνωση των εργασιών και το φωτισμό για τις λήψεις των μετρήσεων.

Ο κόσμος που ζούμε συνεχώς μεταβάλλεται και υπάρχει ανάγκη για απεικόνιση αυτών των μεταβολών. Αυτός είναι ένας από τους λόγους που δημιουργούνται τα τρισδιάστατα μοντέλα. Τα τρισδιάστατα μοντέλα δημιουργούνται, αξιοποιούνται για διαφορετικούς σκοπούς και εφαρμογές. Με τη δημιουργία των μοντέλων αυτών, μας δίνεται η δυνατότητα εκτίμησης και διαχείρισης κινδύνων, εκτίμησης των μελλοντικών επιπτώσεων, καλύτερου και μακροχρόνιου σχεδιασμού, δημιουργίας εφαρμογών πλοήγησης, ρεαλιστικής απεικόνισης και αναπαράστασης και αξιοποίησης της τρισδιάστατης τεχνολογίας σε εφαρμογές της καθημερινότητας. Ακόμα τα τρισδιάστατα μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία 3D Κτηματολογίων. Τα παραγόμενα μοντέλα είναι υψηλής ακρίβειας, ποιότητας και μεγάλης λεπτομέρειας για αυτό χρησιμοποιούνται ολοένα και σε περισσότερες εφαρμογές της καθημερινότητας.

Το μοντέλο που αναπτύχθηκε, επισημαίνει τα οφέλη που προσφέρει η τρισδιάστατη μοντελοποίηση των κτιρίων. Αρχικά το μοντέλο που αναπτύχθηκε, είναι ένα γεωμετρικό μοντέλο δηλαδή ένα μοντέλο που υποστηρίζει την αποθήκευση γεωμετρικής πληροφορίας. Επιπλέον ένα άλλο όφελος είναι οι δυνατότητες επεξεργασίας του μοντέλου. Στο μοντέλο μπορούν να γίνουν διάφοροι υπολογισμοί όπως μέτρηση όγκου και εμβαδού, υπολογισμοί εκτιμήσεων και φορολογίας. Ακόμα παρέχεται η δυνατότητα εμπλουτισμού του μοντέλου με κτηματολογικές πληροφορίες όπως οι χρήσεις γης, όγκοι, εμβαδά που συμβάλλει στην αξιοποίηση των μοντέλων αυτών για χρήση στο κτηματολόγιο. Η δυνατότητα ακόμα θέασης του μοντέλου σε διάφορες απεικονίσεις (όψεις, κατόψεις, τομές) και η εξαγωγή σχεδίων από το μοντέλο είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για ένα κτηματολογικό σύστημα.

Με το λογισμικό του Revit μπορούμε να απεικονίσουμε το μοντέλο ενός κτιρίου σε διάφορα επίπεδα λεπτομέρειας (LoD), συμβαδίζοντας με τις προδιαγραφές του CityGML. Το CityGML είναι ένα πρότυπο απεικόνισης 3d πληροφορίας και ένα διεθνές πρότυπο ανταλλαγής και αποθήκευσης σημασιολογικών μοντέλων πόλεων. Το Revit μπορεί να ορίσει σημασιολογικά τα αντικείμενα και να φτάσει στο ανώτερο επίπεδο λεπτομέρειας LoD4, το οποίο δημιουργείται από τη συμπλήρωση εσωτερικών στοιχείων όπως δωμάτια, σκάλες, έπιπλα στο μοντέλο LoD3 του κτιρίου. Επιπλέον μπορεί να λειτουργήσει συμπληρωματικά με το πρότυπο IndoorGML, το οποίο αποθηκεύει χωρικές πληροφορίες για εσωτερικούς χώρους. Με το IndoorGML απεικονίζονται, αποθηκεύονται και διαχειριζόμαστε δομές του εσωτερικού περιβάλλοντος σε μορφή διαγράμματος καθώς γεωμετρία με σημασιολογική πληροφορία. Ακόμα τα αποτελέσματα μοντελοποίησης με χρήση του λογισμικού Revit ταιριάζουν καλύτερα σε αστικά περιβάλλοντα, όπου παρατηρείται επαναληπτικότητα των δομών και κύριο αντικείμενο μοντελοποίησης είναι κτίρια.

Ένα 2D Κτηματολόγιο δεν μπορεί να καταγράψει τη σύνθετη δομή του χώρου και αναγκαία είναι η εύρεση μοντέλων που θα καταγράφουν, επεξεργάζονται και αποθηκεύουν την κτηματολογική πληροφορία με βάση τον μοναδιαίο τρισδιάστατο χώρο τον οποίο ασκούνται. Ήδη σε διεθνές επίπεδο, πολλές χώρες έχουν αναπτύξει εφαρμογές τρισδιάστατου Κτηματολογίου, χωρίς όμως να έχει αναπτυχθεί μέχρι στιγμής κάποιο πλήρως λειτουργικό σύστημα τρισδιάστατου Κτηματολογίου. Στην Κίνα εξαιτίας της μεγάλης αστικοποίησης και της ανάπτυξης της οικονομίας, δημιουργήθηκαν πολυπληθείς πόλεις (mega cities) που είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία σύνθετων αστικών κέντρων. Προκειμένου να απεικονιστούν οι σύνθετες δομές του αστικού περιβάλλοντος, το 2012, στην πόλη Shenzhen δημιουργείται ένα πρωτότυπο σύστημα τρισδιάστατης καταγραφής, το οποίο περιλαμβάνει τη γεωμετρία των 3D ιδιοκτησιακών αντικειμένων, συμβατά 3D μοντέλα δεδομένων και 3D τοπολογία. Ακόμα το Queensland της Αυστραλίας υλοποιείται με θέσπιση και καταχώριση τρισδιάστατων κτηματολογικών αντικειμένων, ωστόσο έχει ελλείψεις κυρίως στο επίπεδο της τρισδιάστατης απόδοσης των ιδιοκτησιών. Σε λιγότερο αναπτυγμένο επίπεδο βρίσκονται τα κτηματολογικά συστήματα της Ισπανίας και του Bahrain ενώ μελέτες για την ανάπτυξη τρισδιάστατων κτηματολογικών συστημάτων γίνονται σε χώρες όπως η Taiwan, το Ισραήλ, η Ολλανδία και η Πολωνία.

Η μέθοδος μοντελοποίησης που ακολουθήσαμε θα μπορούσε να αξιοποιηθεί για τη δημιουργία ενός 3D Κτηματολογίου, αφού η λεπτομερής 3D οπτικοποίηση εσωτερικών χώρων είναι πολύ χρήσιμη για το 3D Κτηματολόγιο. Ακόμα με τους πίνακες - Schedules έχουμε τη δυνατότητα αποθήκευσης πληροφοριών για τους διαφορετικούς χώρους και τα αντικείμενα του 3d μοντέλου. Ιδιοκτησιακά δικαιώματα μπορούν να αποθηκευτούν στους πίνακες αυτούς και ακριβείς περιγραφές της ιδιοκτησίας επιτυγχάνονται, που είναι βασική προϋπόθεση ενός κτηματολογικού συστήματος. Επιπλέον η σύνθετη γεωμετρία του κτισμένου χώρου μπορεί να αποδοθεί, κάτι που δεν είναι εφικτό με τη δισδιάστατη απεικόνιση και είναι εφικτή η καταχώριση τρισδιάστατης πληροφορίας (υψομέτρου). Η γεωγραφική περιγραφή του ακινήτου, με τη μορφή, τη θέση και το μέγεθός του μπορούν να προσδιοριστούν μέσω του μοντέλου που αναπτύχθηκε. Ακόμα οι απαιτήσεις του 3D Κτηματολογίου για γρήγορη και ρεαλιστική μοντελοποίηση και ακρίβεια στα δεδομένα,

ικανοποιούνται. Επιπλέον με τη δυνατότητα γεωαναφοράς των μοντέλων, μας δίνεται η δυνατότητα σύνδεσης των υπάρχοντων κτηματολογικών συστημάτων τα οποία αναπτύχθηκαν στη βάση της τρισδιάστατης απεικόνισης με τον τρισδιάστατο χώρο. Στο μοντέλο που αναπτύχθηκε, υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης χωρικών πληροφοριών που είναι χρήσιμες για την καταγραφή του τρισδιάστατου χώρου όπως το εμβαδό, το ύψος, οι συντεταγμένες. Σημαντικό ακόμα είναι για ένα ένα 3D Κτηματολόγιο είναι η συνεργασία μεταξύ των αρχείων των δεδομένων της φυσικής (εδαφοτεμάχια, κτίρια, κλπ.) και της νομικής (σχετικά ασκούμενα δικαιώματα) πραγματικότητας που μπορεί να επιτευχθεί με την αποθήκευση των πληροφοριών σε μορφή "Schedule". Τέλος η δυνατότητα εισαγωγής του χρόνου στο μοντέλο ως τέταρτη διάσταση, συμβάλλει στην ανάπτυξη ενός 4D Κτηματολογίου που προσεγγίζεται από τη <<χώρο-χρονική>> μονάδα. Στα 4D κτηματολόγια υπεισέρχεται η χρονική διάρκεια, ο χρόνος άσκησης αυτών των δικαιωμάτων, ως επιπλέον (τέταρτη) διάσταση στις κτηματολογικές καταγραφές.

Επιπλέον με την εισαγωγή της κλίμακας, δηλαδή της λεπτομέρειας στην καταγραφή και απόδοση των κτηματολογικών αντικειμένων συμβάλλει στη δημιουργία ενός <<πολυδιάστατου>> Κτηματολογίου (5D Κτηματολόγιο), το οποίο μπορεί να επιτευχθεί με το λογισμικό του Revit, που έχει τη δυνατότητα απεικόνισης ενός μοντέλου ενός κτιρίου σε διάφορα επίπεδα λεπτομέρειας (LoD). Κατά αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η απόδοση των σχέσεων της πολυδιάστατης πραγματικότητας ως σύνολο, χωρίς την ανάγκη για ξεχωριστή αντιμετώπιση των ειδικών περιπτώσεων.

Συμπερασματικά η μέθοδος αποτύπωσης με laser scanner είναι μια πολύ χρήσιμη μέθοδος σε εφαρμογές εσωτερικής μοντελοποίησης κτιρίων αφού παράγει ένα πυκνό νέφος σημείων, το οποίο μετά από επεξεργασία σε εξειδικευμένα λογισμικά για νέφη σημείων, εισάγεται σε σχεδιαστικά προγράμματα για την παραγωγή του τελικού μοντέλου. Τα μοντέλα αυτά έχουν μεγάλο βαθμό λεπτομέρειας και είναι υψηλής ακρίβειας. Τέλος μπορούν να αξιοποιηθούν για τη δημιουργία ενός 3D Κτηματολογίου, ικανοποιώντας τις τεχνικές πτυχές ενός 3D Κτηματολογίου για 3D καταγραφή, αναπαράσταση, ενημέρωση και μοντελοποίηση των δεδομένων.

5.6 Προτάσεις

Κατά τη διάρκεια ενασχόλησης μας με την εργασία αυτή και με βάση τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την ερευνητική διαδικασία, μπορούμε να παραθέσουμε κάποιες προτάσεις, που θα λειτουργήσουν ως έναυσμα για περαιτέρω έρευνα.

Ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η σύγκριση των τρισδιάστατων μοντέλων που θα παράγονταν με χρήση διαφορετικών laser scanner και τα εξαγόμενα μοντέλα να συγκρίνονταν ως προς την ποιότητα τους.

Ακόμα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σαρωτές διαφορετικής κατηγορίας, ένας σαρωτής επαφής και ένας σαρωτής απόστασης για παράδειγμα ή σαρωτές που

χρησιμοποιούν διαφορετική τεχνολογία και τα παραγόμενα μοντέλα να συγκριθούν ως προς την ποιότητα τους.

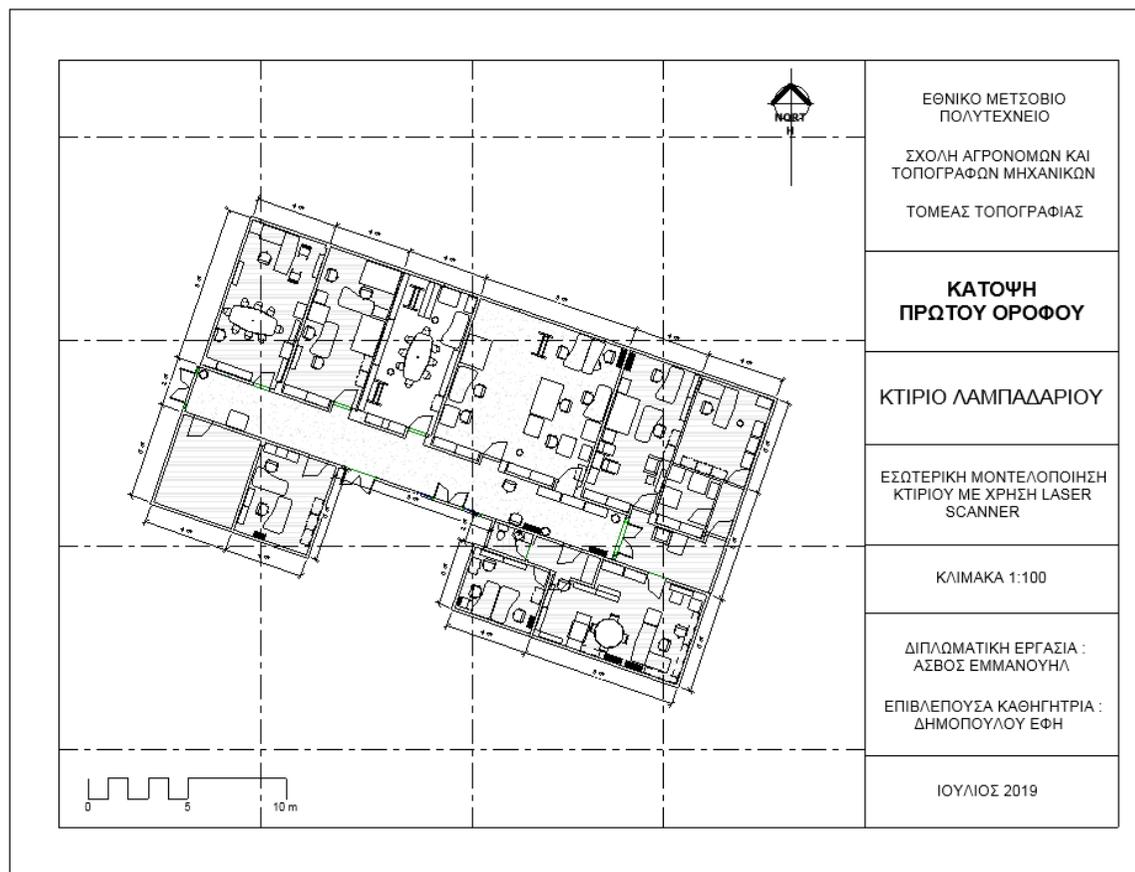
Επίσης σε πλαίσιο συγκριτικής αξιολόγησης μεθόδων συλλογής τρισδιάστατης πληροφορίας, θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί μια αξιολόγηση μεθόδων παραγωγής τρισδιάστατων μοντέλων και αξιοποίησης τους για την ανάπτυξη 3D Κτηματολογίου. Για παράδειγμα θα μπορούσε να συγκριθεί η μοντελοποίηση βάση εικόνων με τη μοντελοποίηση με τη χρήση laser scanner.

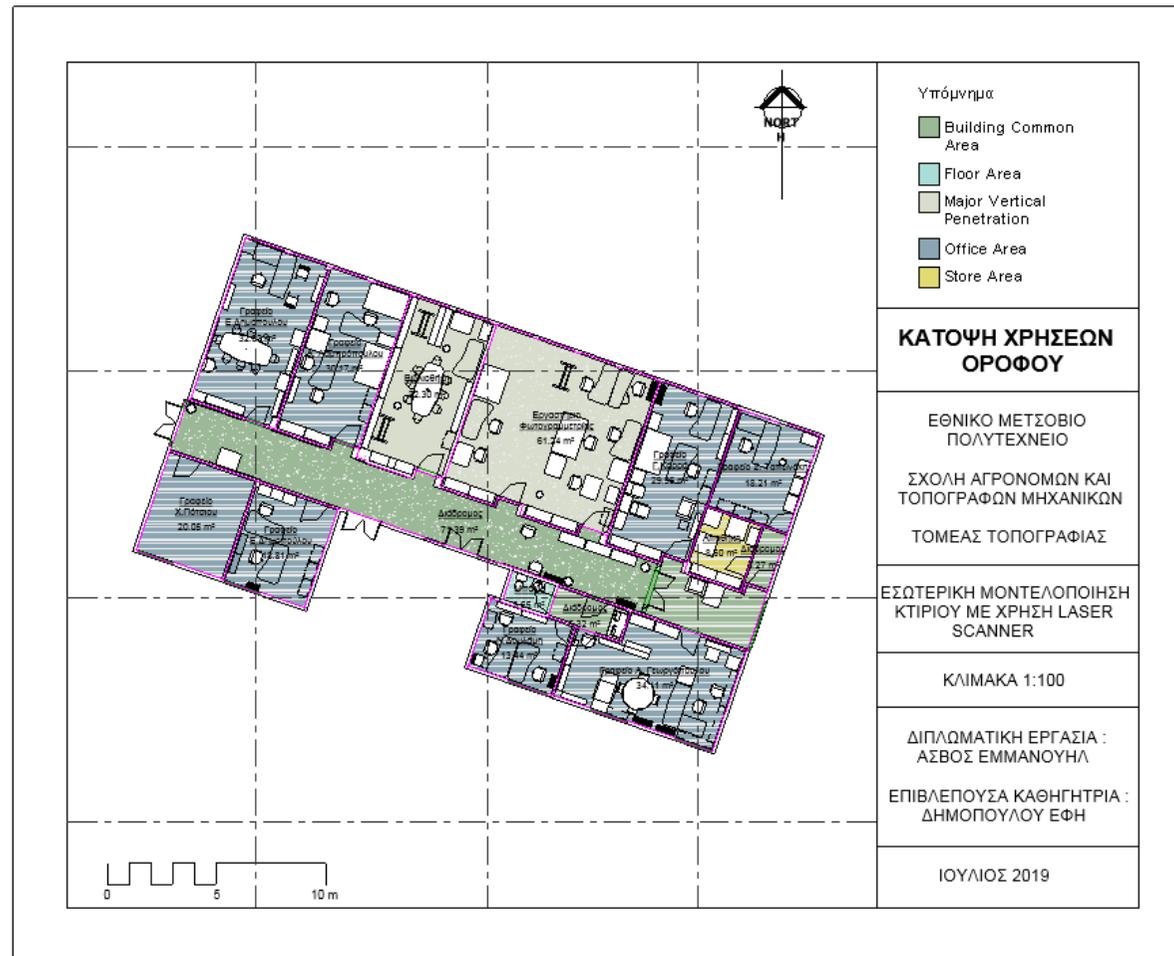
Επιπρόσθετα ενδιαφέρουσα μελέτη, αποτελεί η παραγωγή ενός τρισδιάστατου μοντέλου με συνδυασμό μεθόδων συλλογής τρισδιάστατης πληροφορίας και η διερεύνηση των πληροφοριών που μπορούν να αποθηκευτούν σε αυτό, με σκοπό τη δημιουργία 3D Κτηματολογίου.

Τέλος μια ακόμα μελέτη που θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί, είναι η διερεύνηση των δυνατοτήτων διαφορετικών λογισμικών μοντελοποίησης όπως το Revit και το SketchUp ή ακόμα και ελεύθερων λογισμικών μοντελοποίησης και η σύγκριση των μοντέλων που δημιουργήθηκαν, σε σχέση τη δυνατότητα αξιοποίησης τους για την ανάπτυξη 3D Κτηματολογίου.

Παράρτημα Ι

“Σχέδια Κατόψεων Λαμπαδαρίου Κτιρίου”





Παράρτημα II

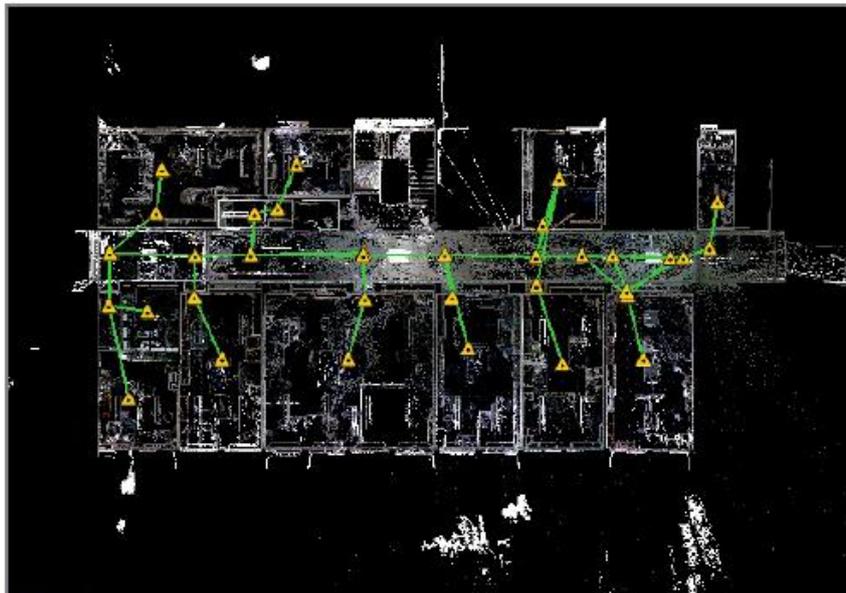
“Registration Report”

Cyclone REGISTER 360 Registration Report



Noε 29, 2018

Certified by:



SiteMap 1

Overall Quality

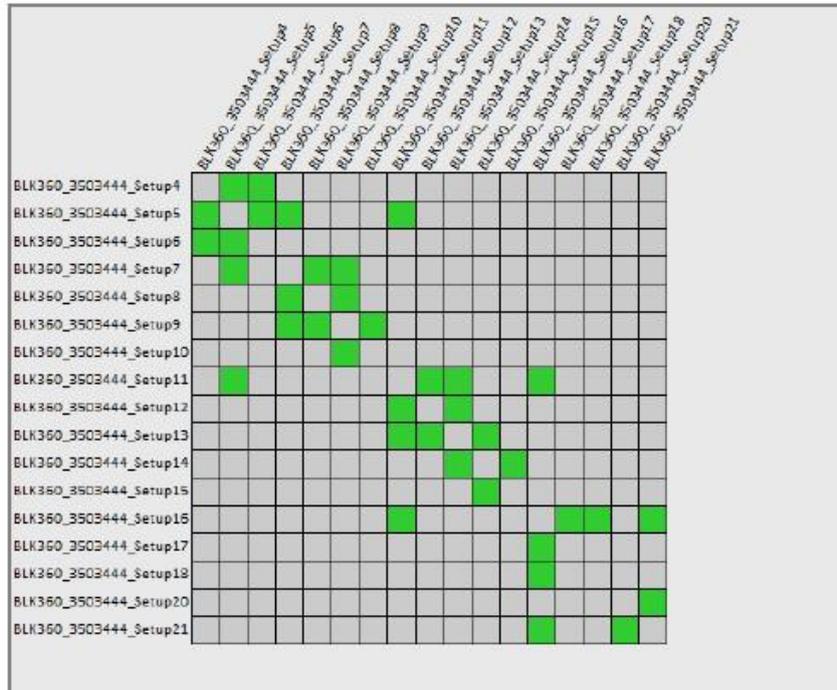
Error Results for Bundle 1

Setup Count: 34
Link Count: 37
Strength: 71 %
Overlap: 50 %

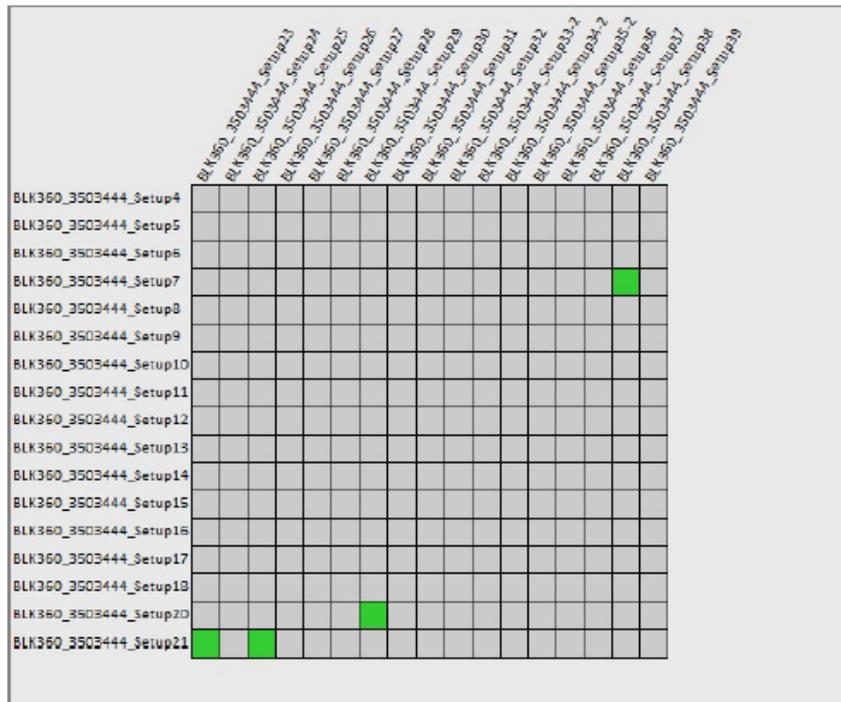
Bundle Error 0.004 m ✓	
Overlap 50 % ✓	Strength 71 % ✓
Cloud-to-Cloud	Target Error



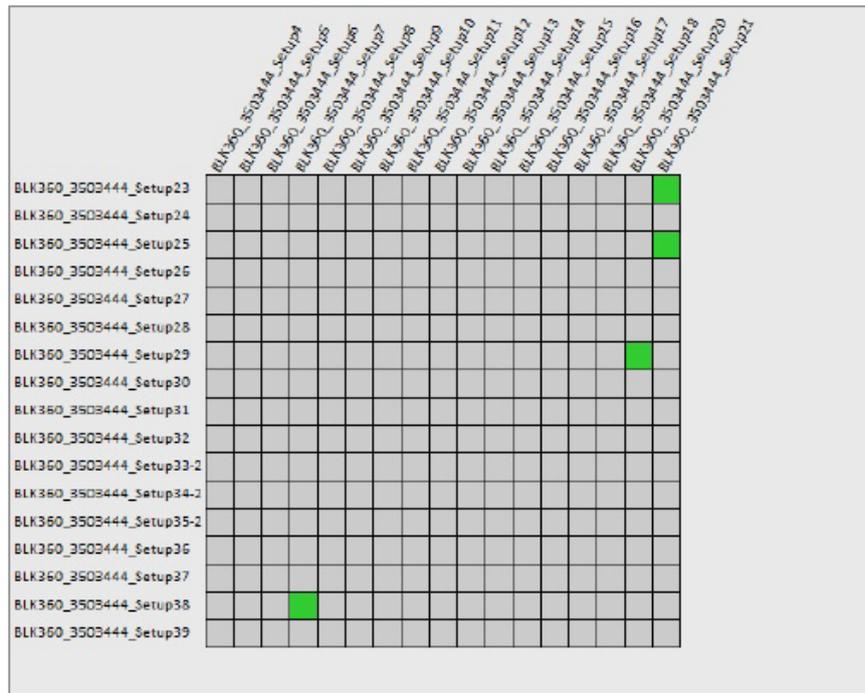
Link-Quality Matrix (1 of 4) -



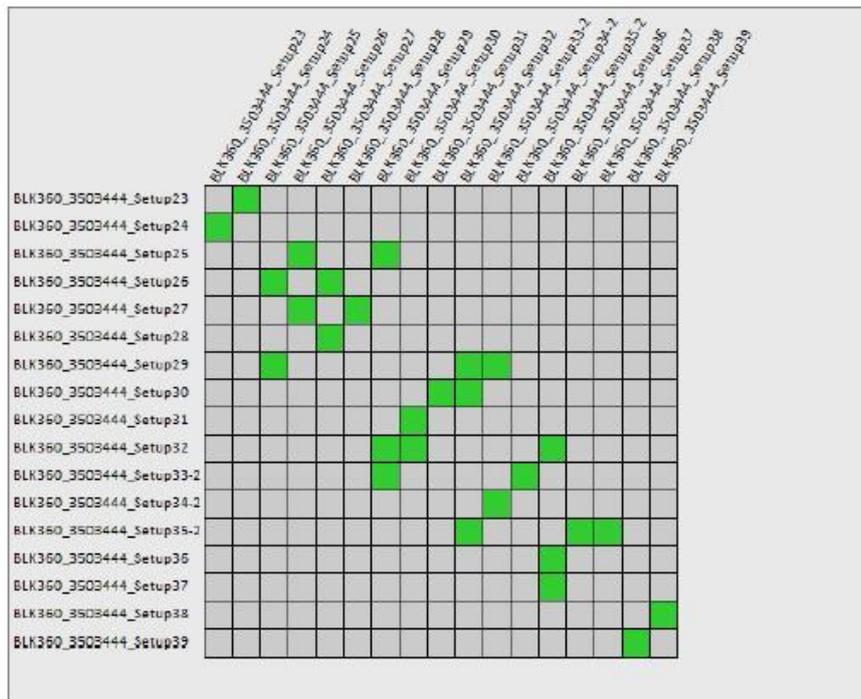
Link-Quality Matrix (2 of 4) -



Link-Quality Matrix (3 of 4) -



Link-Quality Matrix (4 of 4) -



Link Error Results

1 Overview

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 23	BLK360_3503444_Setup4	BLK360_3503444_Setup5	83 %	0.005 m
Link 24	BLK360_3503444_Setup5	BLK360_3503444_Setup6	15 %	0.005 m
Link 25	BLK360_3503444_Setup4	BLK360_3503444_Setup6	13 %	0.005 m
Link 26	BLK360_3503444_Setup7	BLK360_3503444_Setup8	75 %	0.005 m
Link 27	BLK360_3503444_Setup8	BLK360_3503444_Setup9	42 %	0.005 m
Link 28	BLK360_3503444_Setup7	BLK360_3503444_Setup9	18 %	0.005 m
Link 29	BLK360_3503444_Setup5	BLK360_3503444_Setup7	73 %	0.003 m
Link 30	BLK360_3503444_Setup11	BLK360_3503444_Setup12	54 %	0.004 m
Link 31	BLK360_3503444_Setup5	BLK360_3503444_Setup11	89 %	0.003 m
Link 32	BLK360_3503444_Setup9	BLK360_3503444_Setup10	70 %	0.003 m
Link 33	BLK360_3503444_Setup13	BLK360_3503444_Setup12	70 %	0.004 m
Link 34	BLK360_3503444_Setup13	BLK360_3503444_Setup11	26 %	0.005 m
Link 35	BLK360_3503444_Setup14	BLK360_3503444_Setup15	57 %	0.003 m
Link 36	BLK360_3503444_Setup13	BLK360_3503444_Setup14	20 %	0.004 m
Link 37	BLK360_3503444_Setup16	BLK360_3503444_Setup17	41 %	0.003 m
Link 38	BLK360_3503444_Setup16	BLK360_3503444_Setup18	26 %	0.003 m
Link 39	BLK360_3503444_Setup11	BLK360_3503444_Setup16	67 %	0.003 m
Link 40	BLK360_3503444_Setup20	BLK360_3503444_Setup21	90 %	0.004 m
Link 41	BLK360_3503444_Setup21	BLK360_3503444_Setup23	24 %	0.004 m
Link 42	BLK360_3503444_Setup16	BLK360_3503444_Setup21	71 %	0.003 m
Link 43	BLK360_3503444_Setup25	BLK360_3503444_Setup26	26 %	0.004 m
Link 44	BLK360_3503444_Setup21	BLK360_3503444_Setup25	70 %	0.005 m
Link 45	BLK360_3503444_Setup23	BLK360_3503444_Setup24	66 %	0.003 m
Link 46	BLK360_3503444_Setup29	BLK360_3503444_Setup25	75 %	0.003 m
Link 47	BLK360_3503444_Setup29	BLK360_3503444_Setup20	62 %	0.004 m
Link 48	BLK360_3503444_Setup27	BLK360_3503444_Setup28	20 %	0.005 m
Link 49	BLK360_3503444_Setup26	BLK360_3503444_Setup27	55 %	0.003 m
Link 50	BLK360_3503444_Setup30	BLK360_3503444_Setup31	73 %	0.006 m
Link 51	BLK360_3503444_Setup30	BLK360_3503444_Setup32	12 %	0.003 m
Link 52	BLK360_3503444_Setup29	BLK360_3503444_Setup32	49 %	0.003 m
Link 53	BLK360_3503444_Setup29	BLK360_3503444_Setup33-2	37 %	0.004 m
Link 54	BLK360_3503444_Setup35-2	BLK360_3503444_Setup36	26 %	0.005 m
Link 55	BLK360_3503444_Setup33-2	BLK360_3503444_Setup34-2	70 %	0.003 m

Link 56	BLK360_3503444_Setup32	BLK360_3503444_Setup35-2	38 %	0.004 m
Link 57	BLK360_3503444_Setup38	BLK360_3503444_Setup39	46 %	0.004 m
Link 58	BLK360_3503444_Setup7	BLK360_3503444_Setup38	48 %	0.005 m
Link 59	BLK360_3503444_Setup35-2	BLK360_3503444_Setup37	55 %	0.005 m

2 Details

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 23	BLK360_3503444_Setup4	BLK360_3503444_Setup5	83 %	0.005 m

Cloud to Cloud 0.005 m

Target Mean Target Error: --

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 24	BLK360_3503444_Setup5	BLK360_3503444_Setup6	15 %	0.005 m

Cloud to Cloud 0.005 m

Target Mean Target Error: --

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 25	BLK360_3503444_Setup4	BLK360_3503444_Setup6	13 %	0.005 m

Cloud to Cloud 0.005 m

Target Mean Target Error: --

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 26	BLK360_3503444_Setup7	BLK360_3503444_Setup8	75 %	0.005 m

Cloud to Cloud 0.005 m

Target Mean Target Error: --

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 27	BLK360_3503444_Setup8	BLK360_3503444_Setup9	42 %	0.005 m
		Cloud to Cloud		0.005 m
		Target	Mean Target Error:	--
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 28	BLK360_3503444_Setup7	BLK360_3503444_Setup9	18 %	0.005 m
		Cloud to Cloud		0.005 m
		Target	Mean Target Error:	--
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 29	BLK360_3503444_Setup5	BLK360_3503444_Setup7	73 %	0.003 m
		Cloud to Cloud		0.003 m
		Target	Mean Target Error:	--
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 30	BLK360_3503444_Setup11	BLK360_3503444_Setup12	54 %	0.004 m
		Cloud to Cloud		0.004 m
		Target	Mean Target Error:	--
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 31	BLK360_3503444_Setup5	BLK360_3503444_Setup11	89 %	0.003 m
		Cloud to Cloud		0.003 m

		Target	Mean Target Error:	--
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 32	BLK360_3503444_Setup9	BLK360_3503444_Setup10	70 %	0.003 m
Cloud to Cloud				0.003 m
		Target	Mean Target Error:	--
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 33	BLK360_3503444_Setup13	BLK360_3503444_Setup12	70 %	0.004 m
Cloud to Cloud				0.004 m
		Target	Mean Target Error:	0.003 m
		Target (Setup 1)	Target (Setup 2)	Error
		Target 77	Target 72	0.005 m
		Target 78	Target 73	0.001 m
		Target 76	Target 74	0.003 m
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 34	BLK360_3503444_Setup13	BLK360_3503444_Setup11	26 %	0.005 m
Cloud to Cloud				0.005 m
		Target	Mean Target Error:	0.005 m
		Target (Setup 1)	Target (Setup 2)	Error
		Target 78	Target 67	0.002 m
		Target 76	Target 69	0.007 m
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 35	BLK360_3503444_Setup14	BLK360_3503444_Setup15	57 %	0.003 m
Cloud to Cloud				0.003 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 36	BLK360_3503444_Setup13	BLK360_3503444_Setup14	20 %	0.004 m
		Cloud to Cloud		0.004 m
		Target	Mean Target Error:	--
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 37	BLK360_3503444_Setup16	BLK360_3503444_Setup17	41 %	0.003 m
		Cloud to Cloud		0.003 m
		Target	Mean Target Error:	--
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 38	BLK360_3503444_Setup16	BLK360_3503444_Setup18	26 %	0.003 m
		Cloud to Cloud		0.003 m
		Target	Mean Target Error:	--
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 39	BLK360_3503444_Setup11	BLK360_3503444_Setup16	67 %	0.003 m
		Cloud to Cloud		0.003 m
		Target	Mean Target Error:	--
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 40	BLK360_3503444_Setup20	BLK360_3503444_Setup21	90 %	0.004 m
		Cloud to Cloud		0.003 m
		Target	Mean Target Error:	0.004 m

		Target (Setup 1)	Target (Setup 2)	Error
		Target 95	Target 101	0.005 m
		Target 96	Target 102	0.002 m
		Target 99	Target 103	0.006 m
		Target 100	Target 104	0.003 m
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 41	BLK360_3503444_Setup21	BLK360_3503444_Setup23	24 %	0.004 m
		Cloud to Cloud		0.004 m
		Target	Mean Target Error:	--
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 42	BLK360_3503444_Setup16	BLK360_3503444_Setup21	71 %	0.003 m
		Cloud to Cloud		0.003 m
		Target	Mean Target Error:	--
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 43	BLK360_3503444_Setup25	BLK360_3503444_Setup26	26 %	0.004 m
		Cloud to Cloud		0.004 m
		Target	Mean Target Error:	--
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 44	BLK360_3503444_Setup21	BLK360_3503444_Setup25	70 %	0.005 m
		Cloud to Cloud		0.005 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 45	BLK360_3503444_Setup23	BLK360_3503444_Setup24	66 %	0.003 m
		Cloud to Cloud		0.003 m
		Target	Mean Target Error:	--
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 46	BLK360_3503444_Setup29	BLK360_3503444_Setup25	75 %	0.003 m
		Cloud to Cloud		0.005 m
		Target	Mean Target Error:	0.002 m
		Target (Setup 1)	Target (Setup 2)	Error
		Target 124	Target 112	0.002 m
		Target 126	Target 113	0.002 m
		Target 128	Target 114	0.002 m
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 47	BLK360_3503444_Setup29	BLK360_3503444_Setup20	62 %	0.004 m
		Cloud to Cloud		0.005 m
		Target	Mean Target Error:	0.003 m
		Target (Setup 1)	Target (Setup 2)	Error
		Target 126	Target 97	0.004 m
		Target 128	Target 98	0.003 m
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 48	BLK360_3503444_Setup27	BLK360_3503444_Setup28	20 %	0.005 m
		Cloud to Cloud		0.005 m
		Target	Mean Target Error:	--
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 49	BLK360 3503444 Setup26	BLK360 3503444 Setup27	55 %	0.003

				m
		Cloud to Cloud		0.003 m
		Target	Mean Target Error:	--
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 50	BLK360_3503444_Setup30	BLK360_3503444_Setup31	73 %	0.006 m
		Cloud to Cloud		0.003 m
		Target	Mean Target Error:	0.008 m
		Target (Setup 1)	Target (Setup 2)	Error
		Target 129	Target 133	0.009 m
		Target 130	Target 134	0.004 m
		Target 131	Target 135	0.011 m
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 51	BLK360_3503444_Setup30	BLK360_3503444_Setup32	12 %	0.003 m
		Cloud to Cloud		0.003 m
		Target	Mean Target Error:	--
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 52	BLK360_3503444_Setup29	BLK360_3503444_Setup32	49 %	0.003 m
		Cloud to Cloud		0.003 m
		Target	Mean Target Error:	--
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 53	BLK360_3503444_Setup29	BLK360_3503444_Setup33-2	37 %	0.004 m
		Cloud to Cloud		0.004 m

			Target	Mean Target Error:	--
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error	
Link 54	BLK360_3503444_Setup35-2	BLK360_3503444_Setup36	26 %	0.005 m	
			Cloud to Cloud		0.005 m
			Target	Mean Target Error:	--
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error	
Link 55	BLK360_3503444_Setup33-2	BLK360_3503444_Setup34-2	70 %	0.003 m	
			Cloud to Cloud		0.003 m
			Target	Mean Target Error:	--
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error	
Link 56	BLK360_3503444_Setup32	BLK360_3503444_Setup35-2	38 %	0.004 m	
			Cloud to Cloud		0.004 m
			Target	Mean Target Error:	--
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error	
Link 57	BLK360_3503444_Setup38	BLK360_3503444_Setup39	46 %	0.004 m	
			Cloud to Cloud		0.004 m
			Target	Mean Target Error:	--
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error	

Link 58	BLK360_3503444_Setup7	BLK360_3503444_Setup38	48 %	0.005 m
Cloud to Cloud				0.005 m
		Target	Mean Target Error:	--
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 59	BLK360_3503444_Setup35-2	BLK360_3503444_Setup37	55 %	0.005 m
Cloud to Cloud				0.005 m
		Target	Mean Target Error:	--

Overall Quality

Error Results for BLK360_3503444_Setup33

Setup Count: 1
 Link Count: 0
 Strength: 0 %
 Overlap: 0 %

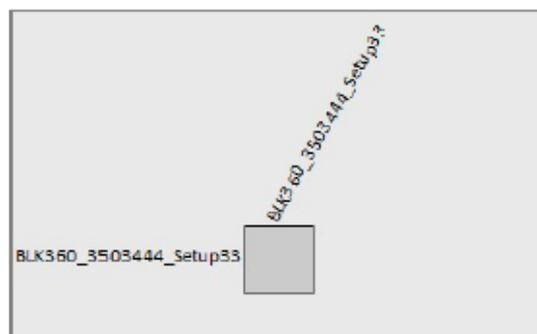
Bundle Error 0.000 m ✓	
Overlap 0 % ✗	Strength 0 % ✗
Cloud-to-Cloud -- ✗	Target Error --

■ Max error of 0.015 m.

■ Max error of 0.020 m.

■ Error greater than 0.020 m.

Link-Quality Matrix (1 of 1) -



Link Error Results

1 Overview

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
-----------	---------	---------	---------	-----------------

2 Details

Overall Quality

Error Results for
BLK360_3503444_Setup34

Setup Count: 1
Link Count: 0
Strength: 0 %
Overlap: 0 %

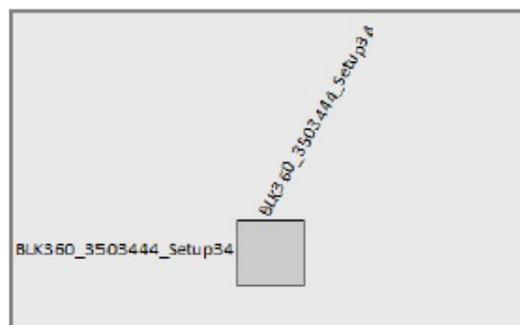
Bundle Error 0.000 m ✓	
Overlap 0 % X	Strength 0 % X
Cloud-to-Cloud -- X	Target Error --

Max error of 0.015 m.

Max error of 0.020 m.

Error greater than 0.020 m.

Link-Quality Matrix (1 of 1) -



Link Error Results

1 Overview

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
-----------	---------	---------	---------	-----------------

2 Details

Overall Quality

Error Results for
BLK360_3503444_Setup35

Setup Count: 1
Link Count: 0
Strength: 0 %
Overlap: 0 %

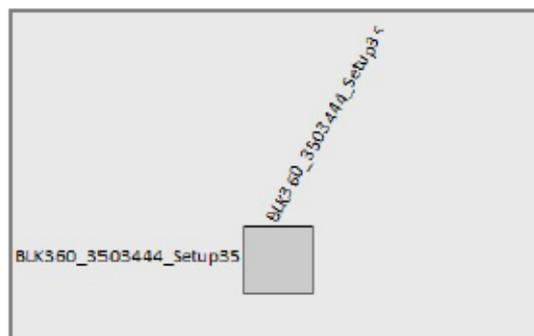
Bundle Error 0.000 m ✓	
Overlap 0 % ✗	Strength 0 % ✗
Cloud-to-Cloud -- ✗	Target Error --

Max error of 0.015 m.

Max error of 0.020 m.

Error greater than 0.020 m.

Link-Quality Matrix (1 of 1) -



Link Error Results

1 Overview

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
-----------	---------	---------	---------	-----------------

2 Details

Overall Quality

Error Results for BLK360_3503444_Setup33-1

Setup Count: 1
Link Count: 0
Strength: 0 %
Overlap: 0 %

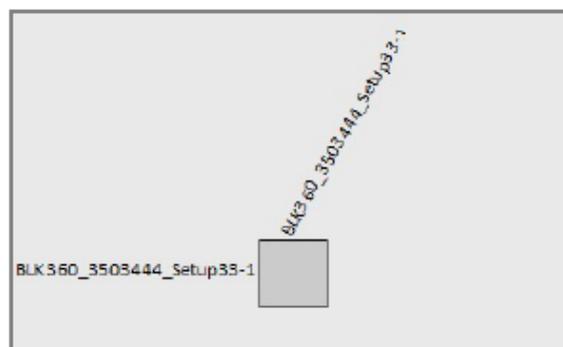
Bundle Error 0.000 m ✓	
Overlap 0 % ✗	Strength 0 % ✗
Cloud-to-Cloud -- ✗	Target Error --

Max error of 0.015 m.

Max error of 0.020 m.

Error greater than 0.020 m.

Link-Quality Matrix (1 of 1) -



Link Error Results

1 Overview

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
-----------	---------	---------	---------	-----------------

2 Details

Overall Quality

Error Results for
BLK360_3503444_Setup34-1

Setup Count: 1
Link Count: 0
Strength: 0 %
Overlap: 0 %

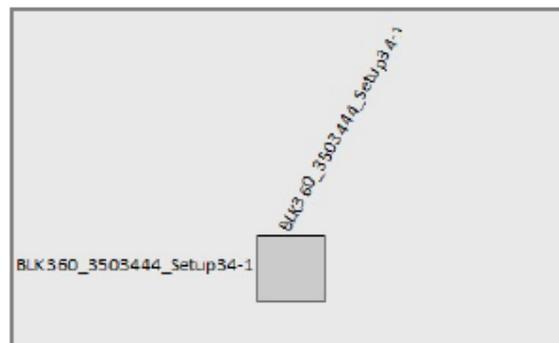
Bundle Error 0.000 m ✓	
Overlap 0 % ✗	Strength 0 % ✗
Cloud-to-Cloud -- ✗	Target Error --

Max error of 0.015 m.

Max error of 0.020 m.

Error greater than 0.020 m.

Link-Quality Matrix (1 of 1) -



Link Error Results

1 Overview

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
-----------	---------	---------	---------	-----------------

2 Details

Overall Quality

Error Results for
BLK360_3503444_Setup35-1

Setup Count: 1
Link Count: 0
Strength: 0 %
Overlap: 0 %

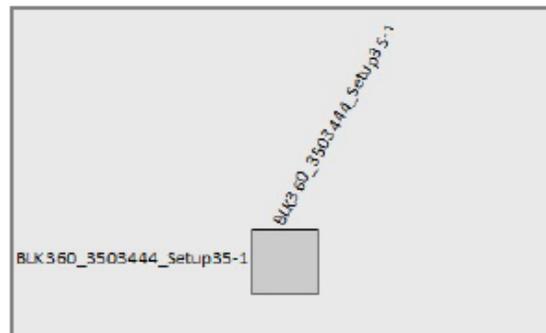
Bundle Error 0.000 m ✓	
Overlap 0 % ✗	Strength 0 % ✗
Cloud-to-Cloud -- ✗	Target Error --

Max error of 0.015 m.

Max error of 0.020 m.

Error greater than 0.020 m.

Link-Quality Matrix (1 of 1) -



Βιβλιογραφία

A. Ελληνική Βιβλιογραφία

- Ανδριανέση, Ε. (2016), Διερεύνηση των δυνατοτήτων διαχείρισης 3D κτηματολογικών δεδομένων με τεχνολογία BIM, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο - Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Αθήνα, Ελλάδα
- Δημοπούλου, Ε. (2015) , nD ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ, Σχεδιασμός-Ανάπτυξη-Πρότυπα-Μοντελοποίηση, pp.191, Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα, kallipos.gr.
- Ζεντέλης, Π. (2011) , 'Περί Κτημάτων Λόγος και Κτηματολόγιο', Εκδόσεις Παπασωτηρίου
- Κιτσάκης, Δ. (2011) , Διπλωματική Εργασία, Συγκριτική Αξιολόγηση Φωτογραμμετρικών Μεθόδων Συλλογής Τρισδιάστατης Πληροφορίας, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- Λάμπρου, Ε. , Πανταζής , Γ. , (2010) , Εφαρμοσμένη Γεωδαισία, Εκδόσεις Ζήτη
- Λιανός, Ν. (2012) , Η χρήση της τρισδιάστατης ψηφιακής μεθοδολογίας, στη μελέτη, προστασία και ανάδειξη μνημείων και ιστορικών συνόλων.
- Συμεωνίδης, Π. (2007) , Σαρωτές Laser. Τεχνολογία, τεχνικές και εφαρμογές, Τμήμα Γεωπληροφορικής και Τοπογραφίας, Τ.Ε.Ι Σερρών
- Σύμπα, Παρασκευή , ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΙ ΣΑΡΩΤΕΣ, https://www.eap.gr/images/stories/pdf/3d_sarotes.pdf
- Τράνακα, Π. (2014) , 3D Μοντελοποίηση κτιρίων της παλιάς πόλης της Κέρκυρας, pp.197, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο - Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Αθήνα, Ελλάδα
- Τσιλιάκου, Ε. (2013) , Διπλωματική Εργασία: Κανονιστική μοντελοποίηση στο 3D Κτηματολόγιο – Εφαρμογή στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο- Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Αθήνα, Ελλάδα

B. Ξένη Βιβλιογραφία

- Azhar, S. (2011). .D., a.M.Asce. Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry, 11(3), 241–252.
- Arayici Y., Egbu C. and Coates P., (2012), Building Information Modeling (BIM)-Implementation and remote construction projects: Issues, challenges and critiques, Journal of Information Technology in Construction-ISSN 1874-4753, Vol.17 (2012), itcon.org.

- Bazjanac, V. (2006). "Virtual building environments (VBE)—Applying information modeling to buildings." <http://repositories.cdlib.org/lbnl/LBNL-56072> (August 29, 2009).
- Bjoerk, B-C (1999) , INDUSTRY FOUNDATION CLASSES FOR PROJECT MANAGEMENT A TRIAL IMPLEMENTATION
- Brenner, C. (2000). Towards Fully Automated 3D City Model Generation. Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images (III), 85–92.
- Brito, D. M., & Ferreira, E. A. M. (2015). Strategies for Representation and Analyses of 4D Modeling Applied to Construction Project Management. *Procedia Economics and Finance*, 21(15), 374–382. [https://doi.org/10.1016/s2212-5671\(15\)00189-6](https://doi.org/10.1016/s2212-5671(15)00189-6)
- Chang, H.S., Kang S.C., Chen, P.H., (2009) . Systematic Procedure of Determining an Ideal Color Scheme on 4D Models. *Advanced Engineering Informatics* 23, 463-473.
- Chen, S., Griffis, F.H., Chen, P., Chang, L., (2013) . A Framework for an Automated and Integrated Project Scheduling and Management System. *Automation in Construction* 35, 89-110.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., and Liston, K. (2008). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*, Wiley, New York
- Ferreira E., Brito D. , (2015) , Strategies for representation and analyses of 4D modeling applied to construction project management, 8th Nordic Conference on Construction Economics and Organization
- Fröhlich, C., Mettenleiter, M., (2004), TERRESTRIAL LASER SCANNING – NEW PERSPECTIVES IN 3D SURVEYING, *International Archives Of Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences*, Volume XXXVI, PART 8/W2
- Ghassan Aouad, Rachel Cooper, Changfeng Fu, Angela Lee, Amanda Marshall-Ponting, Joseph Tah, Song Wu, (2005), nD modelling – a driver or enabler for construction improvement?, *RICS Research paper series Volume 5, Number 6*, University of Salford
- Giuseppe Amoruso, (2016), *Research on Visual Computing and Emerging Geometrical Design Tools*
- Gröger, G., & Lutz, P. (2012). Kolbe: CityGML: Interoperable access to 3D city models Retrieved from http://scholar.google.com/scholar?cluster=11369500060406259031&hl=zh-CN&as_sdt=0,5
- Hartmann, T., Gao, J., Fischer, M., (2008) , Areas of Application for 3D and 4D Models on Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management* 143, 776-785
- Karki S., McDougall K., Thompson R. (2010) , An overview of 3D Cadastre from a physical land parcel and a legal property object perspective
- Karki S., McDougall K., Thompson R. (2010), *Data validation in 3D cadaster*, Department of Environment and Resource Management, Queensland, Australia
- Kolbe, T. H., Gröger, G., & Plümer, L. (2005). CityGML: Interoperable Access to 3D City Models. *Geo-Information for Disaster Management*, 883–899. doi:10.1007/3-540-27468-5_63
- Koo, B., Fischer, M., (2000) , Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction. *Journal of Construction Engineering and Management* 126, 251-260.

- Lee, A., Aouad, G., Cooper, R., Fu, C., Marshall-Ponting, A. J., Tah, J. H. M., & Wu, S. (2005). nD modelling-a driver or enabler for construction improvement? RICS Research Paper Series, RICS, London, 5(6), 1–16.
- Lemmen C., van Oosterom P., Bennett R., 2014 , The Land Administration Domain Model
- Maunula, A., Smeds, R., & Antero Hirvensalo. (2008). The Implementation of Building Information Modeling (BIM) - A Process Perspective. *Innovations in Networks*, (January), 379–386.
- McGraw-Hill Construction. (2008). *Building information modeling: Transforming design and construction to achieve greater industry productivity*, New York.
- Matteo Del Giudice, Anna Osello (2013) , BIM FOR CULTURAL HERITAGE, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XL-5/W2
- Müller, P., Wonka, P., Haegler, S., Ulmer, A., & Van Gool, L. (2006). Procedural modeling of buildings. *ACM Transactions on Graphics*, 25(3), 614. doi:10.1145/1141911.1141931
- Olde Scholtenhuis, L., Hartmann, T., and Dorée, A., (2014) , Comparing Mindfulness in Manual and 4D-Supported Coordination Practices. In: *Proceedings of Construction Research Congress*. Atlanta, USA. pp. 160-168
- Oosterom, P. Van, Stoter, J., & Lemmen., C. (2005). Modelling of 3D Cadastral Systems. *Proc. of the 28th Cadastral Seminar*. Retrieved from 2005_Oosterom_3D_cadastral_systems.pdf
- Parish, Y. I. H., & Müller, P. (2001). Procedural modeling of cities. *Proceedings of the 28th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques - SIGGRAPH '01*. doi:10.1145/383259.383292
- Penninga, F., Van Oosterom, P., Kazar, B.M, (2006) A TEN-based DBMS Approach for 3D Topographic Data Modeling. *Spatial Data Handling 06. 12th International Symposium on Spatial Data Handling*, Springer, http://www.rgiotb.nl/3dtopo/documents/sdh06_TEN_dbms_v7_final3.pdf
- Post, N. (2009). “Building team members see progress and problems.” *Eng. News-Rec.*, 262(12), 28.
- Rahman AA, Pilouk M (2007) *Spatial Data Modelling for 3D GIS*, Springer, New York, ISBN 978-3-540-74166-4.
- Rosenberg, T. L. (2007). “Building information modeling.” <http://www.ralaw.com/resources/documents/Building%20Information%20Modeling%20-%20Rosenberg.pdf> (August 22, 2009).
- Stephen Fai, Katie Graham, Todd Duckworth, Nevil Wood, Ramtin Attar, *BUILDING INFORMATION MODELLING AND HERITAGE DOCUMENTATION*
- Shaikh, A. A., Raju, R., Malim, N. L., & Jayaraj, G. K. (2016). *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication* Global status of Building Information Modeling (BIM) -A Review. (March), 2–5. Retrieved from <http://www.ijritcc.org>
- Shojaei D. , Kalantari M. , Bishop I. , Rajabifard A. , Aien A. (2013) , Visualization requirements for 3D cadastral systems, *Centre for Spatial Data Infrastructures and Land Administration*, Department of Infrastructure Engineering, The University of Melbourne,

- Surendra Pal Singh, Kamal Jai, V. Ravibabu Mandl, (2013), Virtual 3D City modeling: Techniques and Applications
- Stoter, J. E., & van Oosterom, P. (2006). 3D Cadastre in an International Context. In 3D Cadastre in an International Context. <https://doi.org/10.1201/9781420005677>
- STOTER J. , VAN OOSTEROM R. , PLOEGER H. (2012), The phased 3D Cadastre implementation in the Netherlands
- Thompson, D. B. (2001). “e-Construction: Don’t get soaked by the next wave.” Construction Law Briefing Paper. <http://www.minnlaw.com/Articles/68553.pdf> (August 29, 2009).
- van Oosterom, P., & Stoter, J. (2012). Principles of 5D modeling, full integration of 3D space, time and scale. Geospatial World Forum. <https://doi.org/10.1381/096089293765559782>
- van Oosterom, P., Stoter, J. , Lemmen, C. Modelling of 3D Cadastral Systems, Delft University of Technology
- Wonka, P., Wimmer, M., Sillion, F. X., Ribarsky, W., Wonka, P., Wimmer, M., ... Ribarsky, W. (2010). Instant Architecture To cite this version : HAL Id : inria-00527500. 22(4), 669–677.

Ιστογραφία

- <https://en.wikipedia.org>
- <https://www.autodesk.com>
- <https://www.b2green.gr>
- <http://www.citygmlwiki.org>
- <https://www.thenbs.com>
- <http://www.survey.ntua.gr>
- <https://ascelibrary.org>
- <http://www.indoorgml.net>
- <http://www.buildingsmart-tech.org>
- <http://biblus.accasoftware.com>
- <https://www.thenbs.com>
- <https://medium.com>
- <https://thebimhub.com>
- <https://leica-geosystems.com>
- <https://www.metricea.gr>
- <http://buildinggreen.gr>
- <https://scholar.google.gr>