



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΕΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΟΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ
ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΡΓΩΝ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ BIM

Εκπόνηση εργασίας: Μπελιτσάκος Παν.
Επιβλέπων: Βάγιας Ι. Καθηγητής Ε.Μ.Π.
Εποπτεία: Βαράνου Α. ΕΔΙΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2020

CEM UG 2020/01

Μπελιτσάκος Παν. (2020)

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Διπλωματική Εργασία CEM UG 2020/01

Εργαστήριο Δομικών Μηχανών & Διαχείρισης Τεχνικών Έργων

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

Belitsakos Pan. (2020)

Modern methods of survey in BIM technology environment

Diploma Thesis CEM UG 2020/01

Institute of Construction Equipment Management

National Technical University of Athens, Greece

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον πρώην επόπτη της, κύριο Δημοσθένη Τουλιάτο, τέως Επιστημονικό Συνεργάτη του Εργαστηρίου Δομικών Μηχανών & Διαχείρισης Έργων, για την ακούραστη καθοδήγηση σε συστηματική βάση, τη συνεχή τροφοδοσία με υλικό για όλες τις μεθόδους αποτυπώσεων και την τεχνολογία BIM.

Επίσης, τον κύριο Βάγια Ιωάννη, Καθηγητή ΕΜΠ για την ανάληψη της επίβλεψης της παρούσας εργασίας, καθώς και την κυρία Αικατερίνη Βαράνου, ΕΔΙΠ ΕΜΠ για την εποπτεία.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένειά μου και την Αναστασία μου για τη συνεχή και ανεξάντλητη υποστήριξή τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, χωρίς αυτούς δεν θα τα είχα καταφέρει.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι οι σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM.

Στο πρώτο κεφάλαιο, περιγράφεται το αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας και συγκεκριμένα, παρουσιάζεται η δομή και οι στόχοι της παρούσας εργασίας, καθώς και η σημασία του συγκεκριμένου θέματος στον κατασκευαστικό τομέα, γεγονός που οδήγησε στην επιλογή του.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, παρουσιάζεται ο ορισμός της τεχνολογίας BIM και η ιστορική αναδρομή του, καθώς και η χρησιμότητα των σύγχρονων μεθόδων αποτύπωσης.

Στο τρίτο κεφάλαιο, δίνεται ο ορισμός του τρισδιάστατου σαρωτή (3d laser scanner), καταγράφεται η ιστορική πορεία και εξέλιξη της συγκεκριμένης τεχνολογίας, η χρησιμότητά της στις τρέχουσες εργασίες αποτύπωσης, καθώς και οι τάσεις για τη μελλοντική της εξέλιξη. Επιπλέον, παρατίθενται μελέτες και αποτυπώσεις ιστορικών μνημείων, με τη χρήση του 3d σαρωτή.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV) και αναλύεται η εξέλιξη αυτής της τεχνολογίας. Αναφέρεται η χρησιμότητά τους στις τρέχουσες εργασίες αποτύπωσης, καθώς και στη διαχείριση τεχνικών έργων. Επιπλέον, παρατίθενται μελέτες, αποτυπώσεις έργων και επίβλεψη τεχνικών έργων με τη χρήση ενός ή περισσότερων μη επανδρωμένων αεροσκαφών.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, αναλύονται οι αρχές λειτουργίας των Παγκόσμιων Συστημάτων Εντοπισμού Θέσης GPS (Global Positioning System) και των ρομποτικών γεωδαιτικών σταθμών. Αναφέρονται σημαντικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας τους και παρουσιάζονται τρόποι με τους οποίους γίνονται εξαιρετικά εργαλεία αποτύπωσης και διαχείρισης τεχνικών έργων, στα χέρια του μηχανικού.

Στο έκτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η διαδικασία και οι προκλήσεις με τις οποίες ένα νέφος σημείων μετατρέπεται σε μοντέλο BIM. Η διαδικασία μοντελοποίησης δεν είναι μία αυτόματη διαδικασία αλλά απαιτεί γνώσεις πάνω στον χειρισμό του BIM λογισμικού και χαρακτηρίζεται δυσκολότερη από την ίδια την αποτύπωση του φυσικού αντικειμένου.

Στο έβδομο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η αξιοποίηση της τεχνολογίας BIM στην Ελλάδα, καθώς και τα πλεονεκτήματα, τα τεχνικά προβλήματα και οι κίνδυνοι αυτής της τεχνολογίας. Στη συνέχεια παρατίθενται συμπεράσματα και προτάσεις για αυτή την τεχνολογία και τέλος παρατίθεται το θέμα του BIM και της αιφόρου ανάπτυξης που προτείνεται ως αντικείμενο για μελλοντική έρευνα.

Στο όγδοο κεφάλαιο, αναγράφονται όλες οι βιβλιογραφικές και διαδικτυακές αναφορές, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη και στη συγγραφή της παρούσας διπλωματικής εργασίας, καθώς και πηγές οι οποίες βοήθησαν στη βαθύτερη κατανόηση της θεματολογίας του εκάστοτε κεφαλαίου.

Τέλος, στο **Παράρτημα Α** παρατίθενται οι κανόνες πτήσης των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων, ακριβώς όπως τους περιγράφει η εφημερίδα της ελληνικής κυβερνήσεως, το **Παράρτημα Β** εξηγεί τα σφάλματα που υπεισέρχονται στις αποτυπώσεις και τους κανόνες εξάλειψής τους και το **Παράρτημα Γ** περιγράφει τα βασικά χαρακτηριστικά μίας πετυχημένης πτήσης drone.

ABSTRACT

The subject of the present diploma thesis is the modern surveying methods in BIM technology environment.

In the first chapter, the scope and the objectives of this diploma thesis are stated and the chapters are outlined. The areas of knowledge and interest considered when choosing the topic are also discussed.

The second chapter presents the concept of BIM technology and its evolution but also, the current use of such technology in the construction environment.

The third chapter deals with the concept of the 3D laser scanner, with its historic course and the evolution of this specific technology, its usefulness in the current surveying methods, as well as, its future trends. Furthermore, studies and imprints of historic monuments using the 3D laser scanner, are listed and some of these applications include image processing in BIM technology environment.

In the fourth chapter, the unmanned aerial vehicles (UAV) are presented, analyzing the course and the evolution of their technology. There is reference on their current use and their ability to manage data in BIM technology environment. In addition, some studies and projects are presented, that were possible because of the use of drone technology.

In the fifth chapter, the operation principles of GPS (global positioning system) and robotic total stations are analyzed. Important characteristics of their technology are denoted and the means by which they become part of the BIM technology is presented.

The sixth chapter describes the process and challenges by which a point cloud is transformed into a BIM model. The modeling process is not an automated process but requires knowledge of the handling of BIM software and is more difficult to capture than the physical object itself.

The seventh chapter presents the use of BIM technology in Greece, as well as the advantages, technical problems and risks of this technology. Following are the conclusions and suggestions for this technology, and finally the topic of BIM and energy sustainable development is described and suggested as a topic for future research.

In the eighth chapter, all bibliographical and online references that were used in this study are listed, as well as other sources that were used for in-depth analysis of the core subject of each chapter.

Finally, the **Annex A** quotes the rules of flight, for the unmanned aerial vehicles, exactly as they are described by the Hellenic government's newspaper, the **Annex B** explains the errors involved in the imprinting measurements and the rules to eliminate them and the **Annex C** describes the key features of a successful drone flight.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1 ^ο : Εισαγωγή.....	1
1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας.....	1
1.2 Στόχοι της διπλωματικής εργασίας.....	1
1.3 Τρόπος διερεύνησης και μεθοδολογία της διπλωματικής εργασίας.....	6
Κεφάλαιο 2 ^ο : Αποτυπώσεις και τεχνολογία Bim.....	7
2.1 Ορισμός της τεχνολογίας BIM.....	7
2.2 Οι διαστάσεις σχεδιασμού του BIM.....	8
2.3 Ιστορική αναδρομή της τεχνολογίας BIM.....	9
2.3.1 Δημιουργία βάσης δεδομένων.....	10
2.3.2 Τα πρώτα λογισμικά BIM.....	11
2.3.3 Η εξέλιξη στα λογισμικά BIM.....	13
2.3.4 Το μέλλον της τεχνολογίας BIM.....	13
2.4 Μέθοδοι αποτυπώσεων και BIM λογισμικά.....	14
2.5 Αποτύπωση με συμβατικές μεθόδους.....	14
2.5.1 Μετρητικά όργανα παλιάς τεχνολογίας.....	15
2.5.2 Η εξέλιξη της γεωδαισίας και των αποτυπώσεων.....	17
2.5.3 Παραδείγματα μελετών.....	20
2.5.4 Τεχνολογία και εκπαίδευση.....	22
2.5.5 Αλλαγές στις ανάγκες του χρήστη.....	22
Κεφάλαιο 3 ^ο : 3d laser scanner.....	25
3.1 Τρόπος λειτουργίας του 3d laser scanner.....	25
3.2 Ιστορική αναδρομή του 3d laser scanner.....	25
3.3 Τεχνικές τρισδιάστατης σάρωσης.....	29
3.3.1 Τρισδιάστατες σαρώσεις επαφής (contact).....	29
3.3.2 Ανέπαφες τρισδιάστατες σαρώσεις (non contact).....	30
3.3.3 Ανέπαφες ενεργητικές τεχνικές.....	30
3.4 Εφαρμογές ενεργητικών ανέπαφων τρισδιάστατων σαρωτών.....	34
3.4.1 Σαρωτές χειρός (handheld scanners).....	34
3.4.2 Ιπτάμενη σάρωση LiDAR.....	36

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

3.4.3	Σαρωτές δομημένου φωτός (Structured light scanners)	38
3.5	Παθητικές τεχνικές σάρωσης	39
3.5.1	Εφαρμογές παθητικών ανέπαφων τρισδιάστατων σαρωτών	39
3.6	Παραδείγματα Μελετών με 3d laser scanner	41
3.6.1	Εικονική ανασυγκρότηση και μελέτη αποκατάστασης του αρχαίου ρωμαϊκού θεάτρου της Νικόπολης.....	41
3.6.2	Τρισδιάστατη αποτύπωση Βυζαντινού ναού των Αγίων Αποστόλων Θεσσαλονίκης	47
3.6.3	Αποτύπωση τμήματος των Βυζαντινών τειχών της Θεσσαλονίκης με laser scanner	52
Κεφάλαιο 4 ^ο : Αποτύπωση και επίβλεψη τεχνικών έργων με ΣμηΕΑ – drones		55
4.1	Τα ΣμηΕΑ – Drones (ή UAV).....	55
4.2	Η τεχνολογία των ΣμηΕΑ – Drones – UAV	56
4.3	Παράμετροι πτήσης και λειτουργία των drones	58
4.4	Μη-επανδρωμένα αεροσκάφη στα τεχνικά έργα.....	62
4.4.1	Η συμβολή των UAV στη διαχείριση τεχνικών έργων.....	62
4.5	Παραδείγματα μελετών με χρήση drones	66
4.5.1	Αποτύπωση πύργου κινητής τηλεφωνίας	66
4.5.2	Αποτύπωση ανισόπεδου κόμβου οδικής αρτηρίας	68
4.5.3	Αποτύπωση ιστορικού χωριού κοντά στην Ιερουσαλήμ	70
4.5.4	Προμέτρηση χωματουργικών εργασιών	73
Κεφάλαιο 5 ^ο : GPS και ρομποτικοί γεωδαιτικοί σταθμοί.....		75
5.1	Αρχές λειτουργίας ρομποτικού γεωδαιτικού σταθμού	75
5.2	Δορυφορικά συστήματα εντοπισμού θέσης.....	77
5.2.1	Όργανα δορυφορικού εντοπισμού	78
5.2.2	Μετρήσεις με όργανα GPS	78
5.2.3	Το ελληνικό σύστημα εντοπισμού HEPOS	80
5.3	Παράδειγμα μελέτης με χρήση GPS και ρομποτικού γεωδαιτικού σταθμού.....	83
5.3.1	Μέτρηση ταλαντώσεων μεταλλικής πεζογέφυρας με γεωδαιτικά όργανα	83
Κεφάλαιο 6 ^ο : Scan to BIM.....		87
6.1	Τί είναι το Scan to BIM	87
6.2	Παράδειγμα αποτύπωσης και δημιουργίας μοντέλου BIM	88
6.3	Τεχνολογία scan to BIM	92
Κεφάλαιο 7 ^ο : Συμπεράσματα & Μελλοντική έρευνα.....		97
7.1	Η τεχνολογία BIM στην Ελλάδα.....	97

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

7.2	Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας BIM	99
7.3	Τεχνικά προβλήματα και κίνδυνοι της τεχνολογίας BIM	100
7.4	Συμπεράσματα	102
7.5	Προτάσεις.....	103
7.6	Μελλοντική έρευνα: BIM και αειφόρος ανάπτυξη.....	104
Κεφάλαιο 8 ^ο : Αναφορές και Πηγές (Βιβλιογραφικές & Διαδικτυακές)		107
8.1	Αναφορές [#]	107
8.2	Πηγές – ιστοσελίδες	113
Παράρτημα Α : Κανόνες πτήσης Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών		115
Εφημερίδα της κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας		115
Παράρτημα Β : Θεωρία σφαλμάτων		143
Στοιχεία θεωρίας σφαλμάτων		143
Έντυπο ελληνικών κανονισμών οδεύσεων		144
Οδηγός προσδιορισμού της ακρίβειας (LOA: Level Of Accuracy) του ινστιτούτου USIBD (U.S. Institute of Building Documentation)		147
Παράρτημα Γ : Drones στο εργοτάξιο.....		151
Βασικά χαρακτηριστικά μίας πετυχημένης πτήσης drone		151
Ογκομετρήσεις χωματουργικών εργασιών με UAV.....		153

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

BIM	Building Information Modeling
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
DAC	Design Automated by Computer
GIS	Geographic Information System
BDS	Building Description System
IFC	Industry Foundation Class
GPS	Global Positioning System
GNSS	Global Navigation Satellite System
LiDAR	Light Detection And Ranging
ToF	Time of Flight
VR	Virtual Reality
AR	Augmented Reality
ΣμηΕΑ	Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών
UAV	Unmanned Aerial Vehicles
CMM	Coordinate Measuring Machine
INS	Inertial Navigation System
MLT	Multistribe Laser Triangulation
DSLR	Digital Single-Lens Reflex
VTOL	Vertical Take-Off and Landing
IMU	Inertia Measurement Unit
DEMs	Digital Elevation Models
GLONASS	GLObal NAvigation Satellite System
HEPOS	HEllenic POsitioning System
GDOP	Geometric Dilution Of Precision
DGPS	Differential Global Positioning System
RINEX	Receiver INdependent EXchange format

VRS	Virtual Reference Station
MAC	Master Auxiliary Concept
ΕΓΣΑ	Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς
RTS	Robotic Total Station
GSA	General Services Administration
RTK	Real-Time Kinematic
PPK	Post-Processing Kinematic

ΕΙΚΟΝΕΣ – ΠΙΝΑΚΕΣ

Εικόνα 1.1: Το πυρηνικό ατύχημα του αντιδραστήρα 4 στις 26 Απριλίου του 1986	2
Εικόνα 1.2: Η παλιά σαρκοφάγος προστασίας.....	2
Εικόνα 1.3: Η υπό κατασκευή, νέα σαρκοφάγος.....	2
Εικόνα 1.4: Η καινούργια κατασκευή, τοποθετημένη και σε πλήρη λειτουργία.....	2
Εικόνα 1.5: Η ιστοσελίδα της Κ/Ξ NOVARKA (http://www.novarka.com/en/)	3
Εικόνα 1.6: Η κατασκευή του νέου καταστρώματος.....	5
Εικόνα 1.7: Η γέφυρα Bayonne πριν την καθαίρεση του αρχικού καταστρώματος	5
Εικόνα 1.8: Το ύψος του καταστρώματος πριν και μετά	5
Εικόνα 2.1: Το μοντέλο BIM σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής ενός έργου	7
Εικόνα 2.2: Οι διαστάσεις του BIM – διάγραμμα (www.breakwithanarchitect.com).....	8
Εικόνα 2.3: Dr. Patrick Hanratty ο οραματιστής του BIM	9
Εικόνα 2.4: Παράδειγμα στο περιβάλλον BDS, που δείχνει σπειροειδή σκάλα.....	11
Εικόνα 2.5: Πρώιμη σχεδίαση BIM	11
Εικόνα 2.6: Η πρώτη έκδοση του ArchiCAD.....	12
Εικόνα 2.7: Ρομποτικός γεωδαιτικός σταθμός Trimble s6	18
Εικόνα 2.8: Παράδειγμα επαυξημένης πραγματικότητας.....	19
Εικόνα 2.9: Ερευνητικά quadcopter drones.....	21
Πίνακας 3.1: Τυπικές προδιαγραφές του εξοπλισμού επεξεργασίας εικόνων	27
Εικόνα 3.1: Σαρωτής επαφής CMM.....	29
Εικόνα 3.2: Σαρωτής επαφής με βραχίονα.....	29
Εικόνα 3.3: Φορητός σαρωτής επαφής	30
Εικόνα 3.4: Μέτρηση απόστασης time of flight.....	32
Εικόνα 3.5: Leica ScanStation II Time of Flight 3D Laser Scanner.....	32
Εικόνα 3.6: Σύγκριση τεχνικών phase shift και time of flight.....	33
Εικόνα 3.7: Leica HDS7000 Laser Scanner (Phase-Shift Type Scanning)	33
Εικόνα 3.8: Τεχνική τριγωνισμού.....	34
Εικόνα 3.9: Topcon GLS-2000 laser scanner.....	34
Εικόνα 3.10: Faro freestyle 3d scanner (handheld)	35
Εικόνα 3.11: Σάρωση LiDAR.....	37
Εικόνα 3.12: Νέφος σημείων LiDAR, Washington DC	37
Εικόνα 3.13: Σαρωτής δομημένου φωτός David SLS-2.....	38
Εικόνα 3.14: Στερεοσκοπικό σύστημα.....	39
Εικόνα 3.15: Τεχνική σκιαγράφησης	40
Εικόνα 3.16: Φωτομετρικό σύστημα.....	40
Εικόνα 3.17: Αρχαίο θέατρο Νικόπολης	42
Εικόνα 3.18: Τρισδιάστατη αναπαράσταση της πρότασης για αποκατάσταση	42
Εικόνα 3.19: Νέφος σημείων του θεάτρου.....	43
Εικόνα 3.20: Νέφος σημείων τοίχου	43

Εικόνα 3.21: Το σκηνικό οικοδόμημα του θεάτρου της Νικόπολης, άποψη από δυτικά	43
Εικόνα 3.22: Ο τοίχος της περιμετρικής στοάς του θεάτρου. Διακρίνονται μορφολογικά στοιχεία και παραμορφώσεις. Η κατασκευή διατηρεί σε μεγάλο ποσοστό το αρχικό της ύψος	44
Εικόνα 3.23: 1 ^η ημέρα μετρήσεων.....	48
Εικόνα 3.24: 2 ^η ημέρα μετρήσεων	48
Εικόνα 3.25: 2 ^η ημέρα μετρήσεων.....	48
Εικόνα 3.26: 3 ^η ημέρα μετρήσεων	48
Εικόνα 3.27: Εξωτερικές λήψεις του ναού.....	49
Εικόνα 3.28: Η Α-Δ τομή του ναού	49
Πίνακας 3.2: Σύγκριση μέτρησης αποστάσεων με laser scanner και με τοπογραφική μέθοδο.....	49
Εικόνα 3.29: Στερεοσκοπική εικόνα κιονόκρανου.....	50
Εικόνα 3.30: Στερεοσκοπική εικόνα του τρούλου	50
Εικόνα 3.31: Δυτική όψη ναού.....	51
Εικόνα 3.32: Όψη νέφους σημείων 9 ^{ης} σάρωσης	52
Εικόνα 3.33: Ανηγγμένη όψη 1 ^{ης} – 2 ^{ης} – 3 ^{ης} σάρωσης.....	53
Εικόνα 3.34: Φωτογραμμετρική όψη τείχους	53
Εικόνα 3.35: Σύγκριση όψεων σε περιβάλλον CAD.....	54
Εικόνα 4.1: DJI Mavic Air, μικρό, ελαφρύ και εύκολο στη μεταφορά. Διαθέτει τεχνολογία εντοπισμού εμποδίων, αναγνώριση προσώπου και μπορεί να δεχθεί εντολές με κινήσεις των χεριών.....	57
Εικόνα 4.2: DJI Mavic Pro, μπορεί να χρησιμοποιηθεί από επαγγελματίες για λήψη φωτογραφιών και βίντεο, για επιτήρηση τεχνικών έργων, καθώς και για τρισδιάστατη αποτύπωση εδάφους και κτιρίων	57
Εικόνα 4.3: Χειριστήριο του Phantom 4 Pro	59
Εικόνα 4.4 : Μερικές από τις δυνατότητες του λογισμικού Pix4bim.....	63
Εικόνα 4.5 : Μερικές από τις δυνατότητες του λογισμικού Pix4bim.....	63
Εικόνα 4.6 : Μερικές από τις δυνατότητες του λογισμικού Pix4bim.....	64
Εικόνα 4.7: Ορθοφωτοχάρτης ενταγμένος στο τοπικό σύστημα γεωαναφοράς (pix4d).....	64
Εικόνα 4.8: Επεξεργασία νέφους σημείων στο pix4d.....	64
Εικόνα 4.9: Πύργος κινητής τηλεφωνίας στο Ισραήλ	66
Εικόνα 4.10: Ψηφιακή επεξεργασία των εικόνων για τη σύνθεση του 3D μοντέλου	67
Εικόνα 4.11: 3D μοντέλο του πύργου κινητής τηλεφωνίας	68
Εικόνα 4.12: Ανισόπεδος κόμβος οδικής αρτηρίας.....	68
Εικόνα 4.13: Συρραφή εικόνων από το drone.....	69
Εικόνα 4.14: Συρραφή εικόνων της γέφυρας.....	69
Εικόνα 4.15: Το τελικό 3D προϊόν από την αποτύπωση του ανισόπεδου κόμβου	70
Εικόνα 4.16: Τοπογραφικό διάγραμμα 1:100 του αρχαίου οικισμού	71
Εικόνα 4.17: Σχεδιασμός της όψης του κτηρίου.....	71
Εικόνα 4.18: 3D μοντέλο στο DatuGram3D.....	71
Εικόνα 4.19: Επεξεργασία και γεωαναφορά εικόνων.....	72
Πίνακας 4.1: Προϋπολογισμός των μεθόδων αποτύπωσης	72
Εικόνα 4.20: Σημεία ελέγχου για τη μέτρηση υψομέτρων	74

Εικόνα 4.21: Τρισδιάστατο μοντέλο ολόκληρου του εργοταξίου	74
Πίνακας 5.1: Σύγχρονοι Ρομποτικοί Γεωδαιτικοί Σταθμοί υψηλής ακρίβειας.....	76
Εικόνα 5.1: Ο ρομποτικός γεωδαιτικός σταθμός GT Series της Topcon συνδέεται απευθείας με το Λογισμικό BIM 360 Layout της Autodesk	77
Εικόνα 5.2: Leica Viva GS16 – Self-Learning GNSS Smart Antenna	79
Εικόνα 5.3: Leica Viva GS14.....	80
Εικόνα 5.4: Παράδειγμα δεκτών GPS με δυνατότητα διεξαγωγής DGPS που είναι ειδικά σχεδιασμένοι για εφαρμογές GIS.	82
Εικόνα 5.5: Οι 98 Σταθμοί Αναφοράς του HEPOS	83
Εικόνα 5.6: Όψη της μεταλλικής πεζογέφυρας	84
Εικόνα 5.7: Πεζογέφυρα εθνικής οδού Αθηνών-Λαμίας.....	84
Εικόνα 5.8: Η διάταξη των δεκτών GPS και των ανακλαστήρων πάνω στις τεγίδες και τους οριζόντιους συνδέσμους δυσκαμψίας	85
Εικόνα 5.9: Η κατακόρυφη δυναμική απόκριση της γέφυρας από την ανάλυση των χρονοσειρών του RTS με μέγιστο εύρος $\pm 4-5\text{mm}$	86
Εικόνα 5.10: Τα φάσματα που προέκυψαν με χρήση του κώδικα NORMPERIOD εκτιμώμενες κύριες συχνότητες διέγερσης 1Hz, 2,4Hz και 4,3Hz	86
Εικόνα 6.1: Η κάτοψη του κτιρίου με τα σημεία σάρωσης ορατά	88
Εικόνα 6.2: Νέφος σημείων από τον χώρο της πισίνας	89
Εικόνα 6.3: Δημιουργία τομών στους άξονες X,Y,Z με τη χρήση του λογισμικού RealWorks.....	89
Εικόνα 6.4: Ολοκληρωμένο τμήμα των εγκαταστάσεων σε περιβάλλον Revit	90
Εικόνα 6.5: Στατικό σχέδιο σε περιβάλλον Revit	90
Εικόνα 6.6: Σχέδιο οροφής και δημιουργία τομών σε περιβάλλον Revit	91
Εικόνα 7.1: Αναδιπλούμενες πόρτες της Alumil.....	98
Εικόνα 7.2: Αναδιπλούμενο υαλοπέτασμα Supreme SF85.....	98
Πίνακας Β1: Επίπεδα LOA (*Προσδιορίζεται στο 95% του διαστήματος εμπιστοσύνης).....	148
Εικόνα Β1: Πραγματική επιφάνεια μετρήσεων.....	149
Εικόνα Β2: Αντιπροσωπευτική επιφάνεια μετρήσεων.....	150
Εικόνα Β3: Τυπική εφαρμογή του LOA.....	150
Εικόνα Γ1: Πρόσθετος εξοπλισμός αποτύπωσης σε DJI drone.....	152
Εικόνα Γ2: DJI's Phantom 4 RTK.....	152
Εικόνα Γ3: Χειριστήριο πτήσης.....	153
Εικόνα Γ4: Ογκομέτρηση χωματουργικών με το λογισμικό propler.....	154

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σύνοψη:

Το κεφάλαιο αυτό περιγράφει το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, με τίτλο «Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM». Συγκεκριμένα, παρουσιάζεται η δομή, η διάρθρωση και ο στόχος της παρούσας εργασίας, καθώς και η σημασία του συγκεκριμένου θέματος που οδήγησε στην επιλογή του.

1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει τις σύγχρονες μεθόδους αποτυπώσεων σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM και τη συμβολή τους στην κατασκευή και διαχείριση των τεχνικών έργων. Η τεχνολογική πρόοδος της εποχής μας, στον τομέα των αποτυπώσεων, δίνει τη δυνατότητα να πραγματοποιηθούν τεχνικά έργα με επιδόσεις, οι οποίες υπό άλλες συνθήκες δεν θα μπορούσαν να επιτευχθούν. Η ασφάλεια, η οργάνωση και η επίβλεψη ενός εργοταξίου, πραγματοποιούνται άμεσα και σε πραγματικό χρόνο, γεγονός που βοηθάει στην υπερπήδηση εμποδίων.

Η εν λόγω τεχνολογία περιλαμβάνει τον σχετικό εξοπλισμό και το απαραίτητο λογισμικό. Ο εξοπλισμός, μπορεί να είναι τρισδιάστατος σαρωτής, ρομποτικός γεωδαιτικός σταθμός, συσκευή G.P.S. (Global Positioning System) και μη επανδρωμένα αεροσκάφη. Το απαραίτητο λογισμικό, το οποίο υπάγεται στη τεχνολογία BIM, επεξεργάζεται τα δεδομένα, αποδίδοντας το τελικό προϊόν. Με τη συνεχιζόμενη εξέλιξη στον τομέα των αποτυπώσεων, προστίθενται συνεχώς καινούργια εργαλεία και μέθοδοι στο «οπλοστάσιο» του μηχανικού.

1.2 Στόχοι της διπλωματικής εργασίας

Στόχος της εργασίας είναι να παρουσιάσει τα εργαλεία και τις μεθόδους αποτυπώσεων, να εμβαθύνει και να αναλύσει τις λειτουργίες τους, καθώς και να συγκρίνει παρεμφερείς μεθόδους όπου κρίνεται αυτό αναγκαίο. Επίσης, παρουσιάζονται εφαρμογές των μεθόδων για να γίνει κατανοητή η συμβολή της τεχνολογίας αυτής στο εργοτάξιο, αλλά και σε περιπτώσεις διαχείρισης υφιστάμενων έργων, ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα και προτάσεις. Καθώς φαίνεται ολοένα και πιο ξεκάθαρα η νέα μορφή που παίρνει το επάγγελμα του μηχανικού, γίνεται φανερή η έλλειψη εκπαίδευσης και επιμόρφωσης σε τέτοια τεχνολογικά ζητήματα.

Το συγκεκριμένο θέμα επιλέχθηκε, διότι τα σημερινά τεχνολογικά επιτεύγματα, δίνουν καινούργιες προοπτικές στον τομέα του μηχανικού. Η χρήση αυτής της τεχνολογίας επιτρέπει τη μελέτη και την κατασκευή τεχνικών έργων που χωρίς αυτή θα ήταν δύσκολο να ολοκληρωθούν. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι ο νέος κλωβός, η νέα σαρκοφάγος όπως την αποκαλούν, στο πυρηνικό εργοστάσιο Chernobyl, στην πόλη Pripyat της Ουκρανίας, ο οποίος κατασκευάστηκε το 2017 και τοποθετήθηκε το 2018. Η καθυστέρηση οφείλεται στο ότι τα συνεργεία, εξαιτίας της ραδιενέργειας έπρεπε να μένουν ελάχιστο χρονικό διάστημα στο εργοτάξιο. Η κατασκευή αυτή, σχεδιάστηκε με τον πρωταρχικό στόχο να περιοριστούν τα ραδιενεργά υπολείμματα του αντιδραστήρα 4 για τα επόμενα

100 χρόνια. Επιδιώκει επίσης να επιτρέψει τη μερική κατεδάφιση της αρχικής σαρκοφάγου, η οποία κατασκευάστηκε βιαστικά από τους εκκαθαριστές του Chernobyl μετά από το ατύχημα που κατέστρεψε τον αντιδραστήρα.

Τον Ιανουάριο του 2019, όλα τα συστήματα τέθηκαν σε λειτουργία, όπως το σύστημα παρακολούθησης της ακτινοβολίας, το εφεδρικό σύστημα τροφοδοσίας, το σύστημα πυροπροστασίας, καθώς και ο φωτισμός, η επικοινωνία και ο κλιματισμός.

Τον Απρίλιο του 2019, ολοκληρώθηκε με επιτυχία ο έλεγχος λειτουργίας, επιβεβαιώνοντας ότι το έργο είναι ασφαλές και πλήρως λειτουργικό. Ο προϋπολογισμός του έργου ήταν 1,5 δισεκατομμύρια δολάρια και ανατέθηκε στην Κ/Ξ **Novarka** των κορυφαίων γαλλικών τεχνικών εταιρειών VINCI CONSTRUCTION (50%) και BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS (50%) [1] (βλ. εικ. 1.1 – 15).

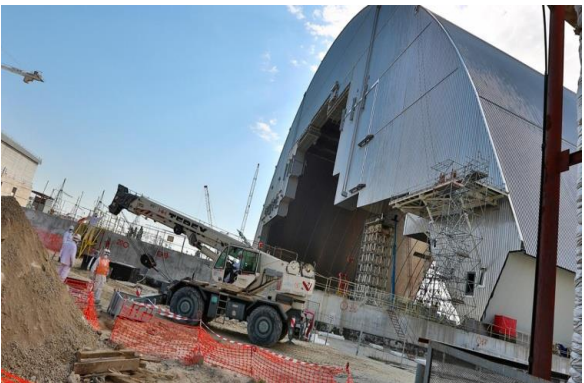
Πριν μερικά χρόνια, δεν θα υπήρχε η δυνατότητα, ασφαλούς τοποθέτησης του κλωβού, εξαιτίας της ραδιενέργειας. Σήμερα η αποτύπωση του χώρου γύρω από τον αντιδραστήρα, καθώς και η επιτήρηση τόσο της κατασκευής, όσο και της τοποθέτησης, πραγματοποιήθηκε με συστήματα **UAV** (drones). Η τεχνολογική πρόοδος, που έχουμε πλέον στα χέρια μας, επέτρεψε την ασφάλιση της μεγαλύτερης «ουλής» που υπάρχει στον πλανήτη μας.



Εικόνα 1.1: Το πυρηνικό ατύχημα του αντιδραστήρα 4 στις 26 Απριλίου του 1986 [2]



Εικόνα 1.2: Η παλιά σαρκοφάγος προστασίας [3]



Εικόνα 1.3: Η υπό κατασκευή, νέα σαρκοφάγος [4]



Εικόνα 1.4: Η καινούργια κατασκευή, τοποθετημένη και σε πλήρη λειτουργία [4]



HOME NOVARKA PROJECT WORKS JOIN US PRESS CONTACT

Joint Venture



THE CHERNOBYL NEW SAFE CONFINEMENT

a unique project carried out by two major construction leaders

NOVARKA, a 50/50 joint venture formed by VINCI CONSTRUCTION and BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS, is currently building the New Safe Confinement over the Unit 4 reactor at Chernobyl, which exploded on 26 April 1986.

This unparalleled project comprises the design and construction of a confinement shelter in the form of an arch that will cover the current Object Shelter, or Sarcophagus, built in 1986 just after the accident.

Standing on two concrete beams, the metal arch is being assembled in an area to the west of the damaged reactor and slid into place above the existing Object Shelter.

The purpose of the new structure is to contain the radioactive materials and protect the existing Object Shelter from weather damage. Ultimately, it will allow work to begin on deconstruction of Unit 4 of the Chernobyl power plant.

Two French construction groups have joined forces to carry out the outsized project, with each group providing its specific expertise.

Εικόνα 1.5: Η ιστοσελίδα της Κ/Ε NOVARKA (<http://www.novarka.com/en/>)

Ένα ακόμα παράδειγμα είναι η γέφυρα Bayonne. Από το 1931 η γέφυρα Bayonne έχει λειτουργήσει ως βασικός σύνδεσμος μεταξύ του Staten Island, της Νέας Υόρκης και του Bayonne, του Νιού Τζέρσεϋ. Το ύψος του καταστρώματος που είναι 46m (151 πόδια), επέτρεπε τη διέλευση εμπορικών πλοίων προς το λιμάνι της Νέας Υόρκης και του Νιού Τζέρσεϋ, τα δύο πιο πολυσύχναστα λιμάνια στην ανατολική ακτή. Μετά την ολοκλήρωση της επέκτασης του καναλιού του Παναμά, υπήρξε η ανάγκη διέλευσης μεγαλύτερων πλοίων και η γέφυρα είναι πολύ χαμηλή για να επιτρέψει τη διέλευση αυτών των πλοίων τέτοιου μεγέθους. Επομένως, για να μη χαθεί ένα σημαντικό έσοδο των ναυτιλιακών επιχειρήσεων σε άλλα λιμάνια της Ανατολικής ακτής, η γέφυρα αντιμετωπίζει την πιθανότητα κατεδάφισης και ανακατασκευής.

Η γέφυρα Bayonne είναι μία από τις μεγαλύτερες αψιδωτές γέφυρες με μήκος 1,6 χιλιόμετρα (5,322 πόδια) και κατατάσσεται ως η πέμπτη μεγαλύτερη στον κόσμο. Λόγω της ιστορικής της σημασίας αποφασίστηκε να μην κατεδαφιστεί, αλλά να ενισχυθεί η αψίδα και να ανυψωθεί το κατάστρωμα, οδηγώντας σε μια πολύπλοκη μελέτη και σε ένα εξαιρετικά περίπλοκο αριστούργημα τεχνικής. Την επιχείρηση τροποποίησης της γέφυρας, ανέλαβαν οι WSP USA και η HDR, σε συνεργασία με το

Λιμενικό Σώμα της Νέας Υόρκης και του Νιού Τζέρσεϋ. Εξαιτίας των εμπορευμάτων, που καταφθάνουν στα λιμάνια, εκατομμύρια οχήματα διασχίζουν τη γέφυρα και οι εναλλακτικές διαδρομές κυκλοφορίας είναι περιορισμένες, για αυτό το λόγο δεν ήταν πρακτικό να κλείσει η γέφυρα ή το ναυτιλιακό κανάλι κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Η πρωτοποριακή λύση του προβλήματος ήταν να μην τερματιστεί πλήρως η κυκλοφορία κατά τη διάρκεια της αύξησης του ύψους του καταστρώματος, κάτι που δεν είχε επιχειρηθεί ποτέ ξανά.

Ο σχεδιασμός ξεκίνησε το 2011, και το 2013 άρχισε η κατασκευή του έργου γνωστού ως **Bayonne Bridge Navigational Clearance Project**. Ο σχεδιασμός έγινε σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM, για ανύψωση του οδοστρώματος σε ύψος 65m (215 πόδια) πάνω από την πλωτή οδό, ακολουθούμενη από την καθαίρεση του αρχικού οδοστρώματος. Η WSP ήταν υπεύθυνη για όλα τα τμήματα του σχεδιασμού του έργου. Περισσότεροι από 4.000 τόνοι χαλύβδινων στοιχείων, χρησιμοποιήθηκαν για να ενισχύσουν τη γέφυρα, ώστε να αντέξει μεγαλύτερα φορτία ανέμου και να επιτρέψει και την κατασκευή σιδηροδρομικής γραμμής στο μέλλον. Αυτή η ενίσχυση έφερε τη γέφυρα σε συμμόρφωση με τα ισχύοντα πρότυπα σχεδιασμού της AASHTO.

Με προσεκτικά προγραμματισμένη σταδιακή κατασκευή, η γέφυρα παρέμεινε ανοιχτή στην κυκλοφορία κατά τη διάρκεια των ωρών αιχμής, με περιορισμένο κλείσιμο λωρίδων συνήθως τα σαββατοκύριακα και τις νύχτες και το κανάλι παρέμεινε ανοικτό κατά τη διάρκεια της κατασκευής.

Όταν το νέο βόρειο οδόστρωμα άνοιξε επίσημα την κυκλοφορία τον Φεβρουάριο του 2017, οι εργασίες μετατοπίστηκαν στην κατεδάφιση του κατωτέρου αρχικού οδοστρώματος, γεγονός που θα επέτρεπε τελικά τη διέλευση και σε πλοία τύπου Panamax και new Panamax (δηλαδή, πλοία που φέρουν φορτίο 52.500 DWT και 120.000 DWT αντίστοιχα). Στις 7 Σεπτεμβρίου 2017, το πρώτο πλοίο Panamax - ο T. Ρούσβελτ - πέρασε κάτω από το νέο άνοιγμα της γέφυρας Bayonne για να εισέλθει στο λιμάνι του Νιούαρκ-Ελίζαμπεθ.

Όλη η κυκλοφορία της γέφυρας Bayonne χρησιμοποιεί επί του παρόντος το κατάστρωμα στο οποίο θα γίνει τελικά ο αριστερός κλάδος, ενώ η κατασκευή συνεχίζεται για το δεύτερο κατάστρωμα που θα φιλοξενήσει τον δεξί κλάδο της οδού. Η ολοκλήρωση του έργου Bayonne Bridge Navigation Clearance έχει υπολογιστεί για τα μέσα του 2019. [5].

Χωρίς τις σύγχρονες μεθόδους αποτυπώσεως, ένα τέτοιο εγχείρημα δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί, με τέτοια ακρίβεια, ταχύτητα και ασφάλεια. Η αποτύπωση της αρχικής μορφής της γέφυρας ήταν κομβικό σημείο για τη μελέτη και την εύρεση καινοτόμας λύσης. Η μελέτη και ο σχεδιασμός έγιναν μέσω της υποστήριξης της τεχνολογίας BIM και LASER Scanning, κάτι που καθιστά ταχύτερη την οργάνωση και εκτέλεση των επιμέρους εργασιών για την τμηματική ολοκλήρωση του έργου (βλ. εικ. 1.6 – 1.8).



Εικόνα 1.6: Η κατασκευή του νέου καταστρώματος [6]



Εικόνα 1.7: Η γέφυρα Bayonne πριν την καθαίρεση του αρχικού καταστρώματος [7]



Εικόνα 1.8: Το ύψος του καταστρώματος πριν και μετά [8]

Αυτά τα δύο παραδείγματα, δείχνουν πόσο σημαντική είναι η τεχνολογική πρόοδος στον τομέα των αποτυπώσεων και πώς η τεχνολογία BIM συμβάλλει στη διαχείριση και ολοκλήρωση ακόμα και του πιο απαιτητικού τεχνικού έργου. Επίσης, καταδεικνύουν πόσο σημαντική είναι η παρακολούθηση των τεχνολογικών εξελίξεων σε αυτόν τον τομέα.

1.3 Τρόπος διερεύνησης και μεθοδολογία της διπλωματικής εργασίας

Η εργασία πραγματοποιήθηκε με βιβλιογραφική και διαδικτυακή έρευνα που καταγράφεται στο **κεφάλαιο 6**, καθώς και με προσωπική γνώση και εμπειρία του συγγραφέα, σε εργασίες πεδίου με τρισδιάστατο σαρωτή εδάφους, γεωδαιτικό σταθμό και G.P.S. με την ιδιότητα του τοπογράφου μηχανικού Τ.Ε. Αυτές οι εργασίες πεδίου έλαβαν μέρος εντός του Τ.Ε.Ι. Αθηνών και στα όμορα οικοδομικά τετράγωνα, αλλά η μεγαλύτερη εμπειρία με αυτόν τον εξοπλισμό κερδήθηκε στην αποτύπωση του Παρθενώνα και άλλων μνημείων της Ακρόπολης.

Επίσης, μέσα από συνεντεύξεις με τεχνικά γραφεία (εταιρείες) και πρωτοπόρους αυτών των τεχνολογικών εξελίξεων στον Ελλαδικό χώρο, αναπτύχθηκε μία καλύτερη αντίληψη της εφαρμογής τους στο πεδίο αλλά και της επεξεργασίας των δεδομένων στο γραφείο. Δυστυχώς, παρόλο που έγινε δήλωση ενδιαφέροντος για πρακτική άσκηση (ή παρακολούθηση) επί του ζητήματος ή για την παραλαβή κάποιων πρωτογενών δεδομένων όπως νέφος σημείων ενός εν εξελίξη έργου, δεν έγινε δεκτή από κανένα γραφείο, πιθανότατα λόγω της προστασίας των προσωπικών δεδομένων. Μόνο η τεχνική εταιρεία C.C.C. (Consolidated Contractors Company), διέθεσε μία μικρή περιγραφή αποτύπωσης με 3D laser scanner από το αρχείο της.

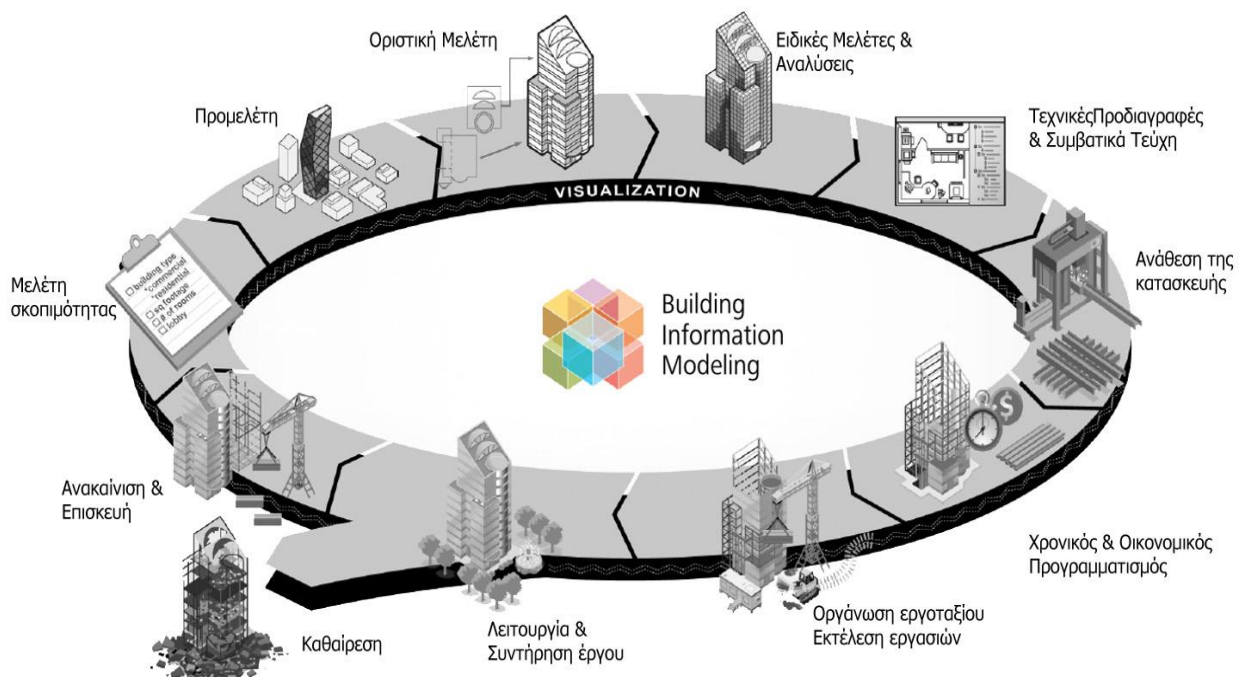
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ BIM

Σύνοψη:

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται ο ορισμός της τεχνολογίας BIM και γίνεται η ιστορική αναδρομή του, καθώς και η χρησιμότητα αυτής της τεχνολογίας στις μεθόδους αποτύπωσης που χρησιμοποιούνται σήμερα.

2.1 Ορισμός της τεχνολογίας BIM

Το BIM αποτελεί ακρωνύμιο του *Building Information Modeling*, το οποίο αποδίδεται στα ελληνικά ως *τεχνολογία μοντέλων δομικών πληροφοριών*. Το BIM είναι ένα «έξυπνο» τρισδιάστατο μοντέλο, που αναπαριστά τα φυσικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά ενός έργου, παρέχοντας στο μηχανικό τη γνώση και τα εργαλεία για να σχεδιάσει, να μελετήσει, να κατασκευάσει και να διαχειριστεί κτίρια και εγκαταστάσεις πιο αποδοτικά. Αυτή η ψηφιακή απεικόνιση ορίζει το έργο από τον αρχικό σχεδιασμό του έως την κατεδάφισή του (βλ. εικ 2.1). Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του BIM είναι ότι συντονίζει όλα τα επιμέρους τμήματα μιας μελέτης, καθώς όλοι οι εμπλεκόμενοι (μελετητές, μηχανικοί, κατασκευαστές, μηχανικοί, προμηθευτές μέχρι και οι διαχειριστές του έργου), έχουν πρόσβαση στις πληροφορίες του προς δημιουργία μοντέλου σε πραγματικό χρόνο. Αυτό σημαίνει ότι οποιαδήποτε αλλαγή, διόρθωση ή προσθήκη στο ψηφιακό μοντέλο και στις πληροφορίες του είναι άμεσα ορατή από τους ενδιαφερόμενους.

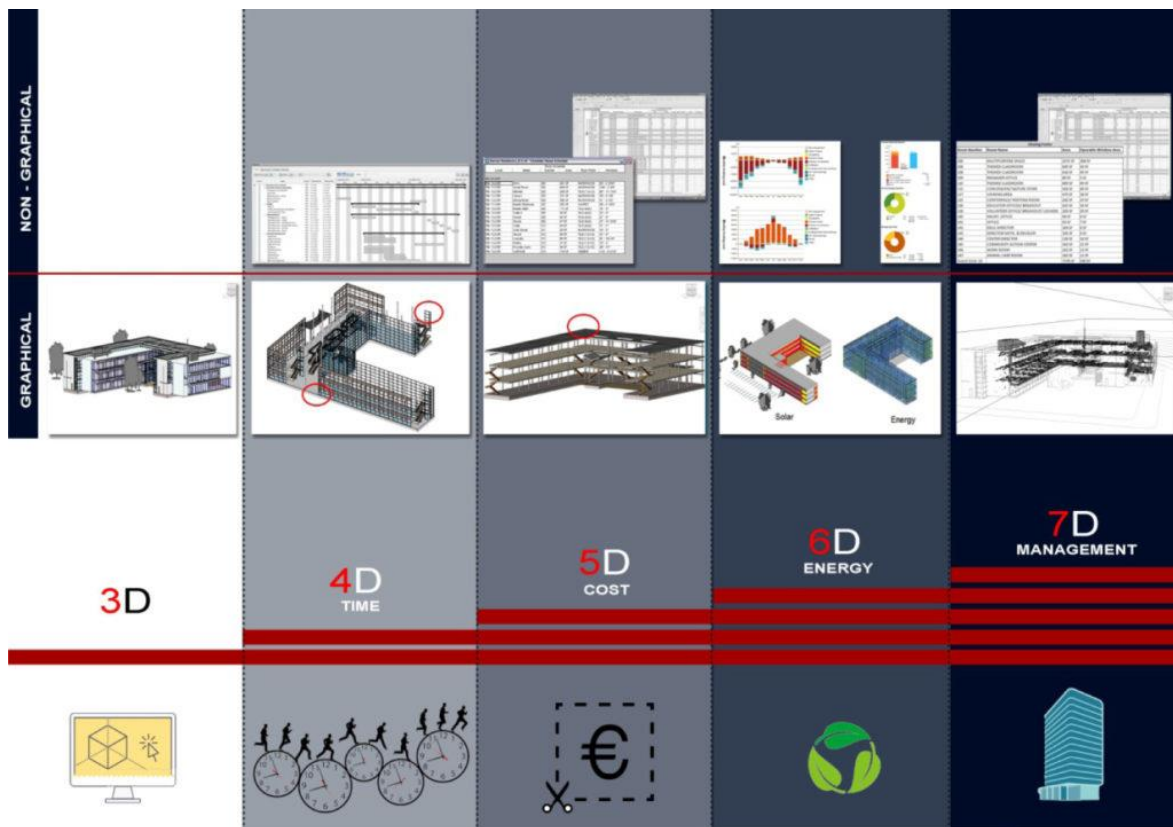


Εικόνα 2.1: Το μοντέλο BIM σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής ενός έργου [9]

2.2 Οι διαστάσεις σχεδιασμού του BIM

Τα σχεδιαστικά προγράμματα δύο διαστάσεων (2D CAD) εμπίπτουν στην έννοια του BIM, η οποία με τα διαθέσιμα εργαλεία της φέρνει τη σχεδίαση στην 7η διάσταση (βλ. εικ. 2.2). Μια σύντομη περιγραφή των σημερινών επτά διαστάσεων του BIM είναι:

- Η τρίτη διάσταση (3D) που είναι η 3-διάστατη απεικόνιση
- Η τέταρτη διάσταση (4D) που είναι η σύνδεση με το χρονοδιάγραμμα του έργου
- Η πέμπτη διάσταση (5D) που είναι η σύνδεση με το κοστολόγιο του έργου
- Η έκτη διάσταση (6D) είναι η σύνδεση με την ενεργειακή αποδοτικότητα
- Τέλος η έβδομη διάσταση (7D) είναι η σύνδεση με τη διαχείριση της λειτουργίας και συντήρησης του έργου



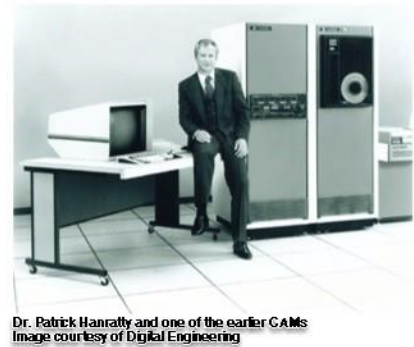
Εικόνα 2.2: Οι διαστάσεις του BIM – διάγραμμα [10] (www.breakwithanarchitect.com)

2.3 Ιστορική αναδρομή της τεχνολογίας BIM [11]

Ο σχεδιασμός με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή (CAD: Computer Aided Design) και η κατασκευή με υπολογιστή (CAM: Computer Aided Manufacturing) αναπτύχθηκαν ως δύο ξεχωριστές τεχνολογίες περίπου ταυτόχρονα τη δεκαετία του '60. Εκείνη την εποχή, κανείς δεν προέβλεπε ότι τόσο η CAM όσο και η CAD θα συγχωνεύονταν και θα αποτελούσαν τα βασικότερα εργαλεία στη βιομηχανική παραγωγή.

Το 1957, το Pronto, το πρώτο εμπορικό λογισμικό CAM, αναπτύχθηκε από τον Dr. Patrick J. Hanratty (βλ. εικ. 2.3). Ήταν μια τεχνολογία αριθμητικού ελέγχου που αργότερα εξελίχθηκε σε λογισμικό, το οποίο επέτρεπε μια αυτόματη διαδικασία σχεδιασμού ενός προϊόντος.

Λίγο αργότερα, το 1961 ανέπτυξε το DAC (Design Automated by Computer), το οποίο έγινε το πρώτο σύστημα CAM / CAD που χρησιμοποίησε διαδραστικά γραφικά (αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ του χειριστή και του περιβάλλοντος προσομοίωσης) και χρησιμοποιήθηκε για τα πολύπλοκα καλούπια της General Motors.



Εικόνα 2.3: Dr. Patrick Hanratty ο οραματιστής του BIM

Μετά από μερικές αποτυχίες που βασικά προκλήθηκαν από μια μη-δημοφιλή γλώσσα προγραμματισμού, ο Hanratty είχε να πει το εξής: *«Ποτέ μην παράγετε τίποτα στενά συνδεδεμένο με μια συγκεκριμένη αρχιτεκτονική. Και βεβαιωθείτε ότι διατηρείτε τα πράγματα ανοικτά για να επικοινωνείτε με άλλα συστήματα, ακόμα και τους ανταγωνιστές σας»*

Το 1962, ο Douglas C. Englebart δημοσίευσε μία εργασία με τίτλο *«Αύξηση του ανθρώπινου πνεύματος»* ("Augmenting human intellect"). Σε αυτήν περιέγραψε το ρόλο του μελλοντικού αρχιτέκτονα, πρότεινε σχεδιασμό με βάση έξυπνα αντικείμενα, παραμετρικό σχεδιασμό και σχεσιακή βάση δεδομένων:

«Ο αρχιτέκτονας έπειτα αρχίζει να εισάγει μια σειρά προδιαγραφών και δεδομένων - ένα πάτωμα πλάκας έξι ιντσών, τοίχους από σκυρόδεμα δώδεκα ιντσών οκτώ ποδών μέσα στην εκσκαφή κ.ο.κ. Όταν τελειώσει, εμφανίζεται στην οθόνη η αντίστοιχη εικόνα του έργου. Μία κατασκευή παίρνει μορφή. Το εξετάζει, το προσαρμόζει ... οι κατάλογοι αυτοί εξελίσσονται σε μια όλο και πιο λεπτομερή, αλληλένδετη δομή, η οποία αντιπροσωπεύει την ώριμη σκέψη πίσω από τον πραγματικό σχεδιασμό.»

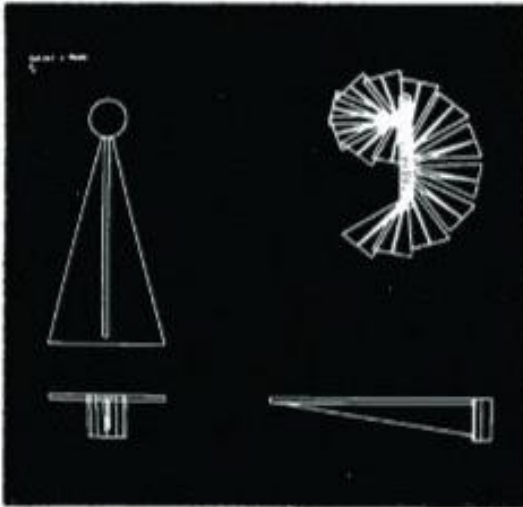
Κατά το διάστημα αυτό, αρκετοί ερευνητές σχεδίασης εργάζονταν σε μια τεχνολογία ισοδύναμη με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS). Μεταξύ αυτών των ερευνητών, το έργο του

Christopher Alexander ήταν αξιοσημείωτο, καθώς επηρέασε μια ομάδα πρώιμων επιστημόνων υπολογιστών να εργάζονται στον αντικειμενοστραφή προγραμματισμό.

Το 1963, ο πρώτος υπολογιστικός σχεδιασμός (CAD) με γραφικό περιβάλλον χρήστη, "Sketchpad", αναπτύχθηκε στα εργαστήρια του MIT (Lincoln Labs) από τον Ivan Sutherland. Συνολικά, πρωτοστάτησε στον τρόπο αλληλεπίδρασης ανθρώπου-ηλεκτρονικού υπολογιστή και αποτέλεσε σημαντική εξέλιξη στην ανάπτυξη των γραφικών υπολογιστών (Sutherland, 2003). Από την άποψη της τεχνολογίας κατασκευής, το Sketchpad έδωσε τη θέση του σε προγράμματα τρισδιάστατης μοντελοποίησης. Η υπολογιστική αναπαράσταση της γεωμετρίας αναπτύχθηκε περαιτέρω, γεγονός που επέτρεψε τη δυνατότητα εμφάνισης και καταγραφής πληροφοριών σχετικά με το σχήμα. Στη δεκαετία του '70 και του '80, οι δύο κύριες μέθοδοι που γεννήθηκαν ήταν η εποικοδομητική στερεά γεωμετρία (CSG) και η συνοριακή αναπαράσταση (brep).

2.3.1 Δημιουργία βάσης δεδομένων

Το 1975, Charles Eastman δημοσίευσε μια εργασία που περιγράφει ένα πρωτότυπο που ονομάζεται **Building Description System (BDS)** (βλ. εικ. 2.4). Παρουσίασε ιδέες παραμετρικού σχεδιασμού, υψηλής ποιότητας υπολογιστικών 3D απεικονίσεων, με μια «ενιαία ολοκληρωμένη βάση δεδομένων για γραφικά και μη-γραφικά στοιχεία» (βλ. εικ. 2.5). Η εργασία του Eastman περιγράφει βασικά το BIM όπως το γνωρίζουμε τώρα. Ο Eastman σχεδίασε ένα πρόγραμμα που έδωσε στον χρήστη πρόσβαση σε μια βάση δεδομένων, κατηγοριοποιημένη σε αρχεία, από την οποία οι πληροφορίες μπορούν να ανακτηθούν με βάση την κατηγορία των χαρακτηριστικών (συμπεριλαμβανομένων των υλικών και των προμηθευτών). Χρησιμοποίησε επίσης ένα γραφικό περιβάλλον χρήστη με 2-διάστατες και 3-διάστατες προβολές. Το BDS ήταν ένα από τα πρώτα εργαλεία στην ιστορία του BIM για τη δημιουργία αυτής της βάσης δεδομένων για τα κτίρια. Περιγράφει μεμονωμένα στοιχεία βιβλιοθήκης τα οποία μπορούν να ανακτηθούν και να προστεθούν σε ένα μοντέλο. Ο Eastman κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η BDS θα βελτιώσει την αποτελεσματικότητα της σύνταξης και της ανάλυσης και θα μειώσει το κόστος του σχεδιασμού σε ποσοστό μεγαλύτερο από 50%. Το BDS ήταν η πιλοτική εφαρμογή που συνέβαλε στην επίλυση των βασικών προβλημάτων του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού κατά τις επόμενες πέντε δεκαετίες. Το 1977, ο Charles Eastman δημιούργησε το GLIDE (Γραφική Γλώσσα για Διαδραστικό Σχεδιασμό) στο Εργαστήριο CMU και παρουσίασε τα περισσότερα από τα χαρακτηριστικά της σύγχρονης πλατφόρμας BIM.



Εικόνα 2.4: Παράδειγμα στο περιβάλλον BDS, που δείχνει σπειροειδή σκάλα [11]

Η δεκαετία του '80 ήρθε και τα συγκεκριμένα λογισμικά έχουν κερδίσει αρκετή δημοτικότητα μέσα στη βιομηχανία και ορισμένα εφαρμόστηκαν ακόμη και σε κατασκευαστικά έργα. Το 1986 χρησιμοποιήθηκε το RUCAPS για να βοηθήσει στην ανακαίνιση του τερματικού σταθμού 3 του αεροδρομίου του Heathrow. Ήταν το πρώτο πρόγραμμα CAD στην ιστορία που χρησιμοποιήθηκε στην προκατασκευή μεγάλου τεχνικού έργου. Θεωρείται πρόδρομος των σημερινών λογισμικών BIM (Eastman κ.α., 2008) [11].

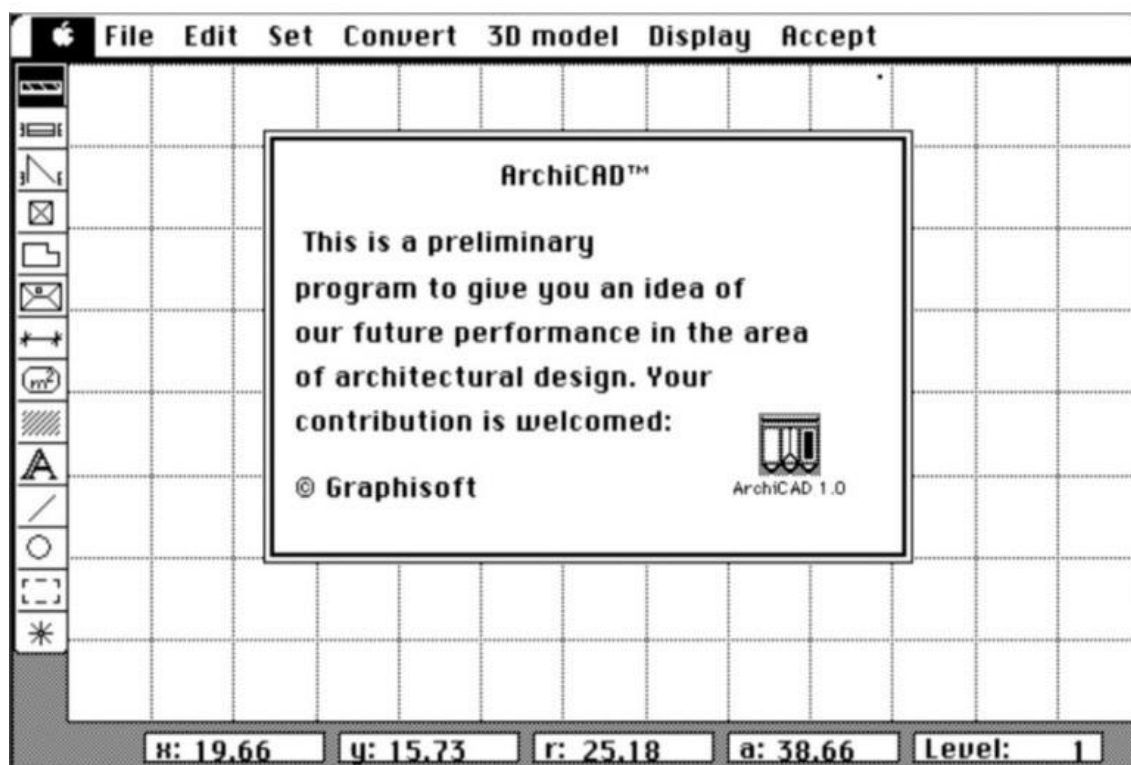
2.3.2 Τα πρώτα λογισμικά BIM

Ενώ οι εξελίξεις εκτυλίσσονταν γρήγορα στις Ηνωμένες Πολιτείες και στην Αγγλία, στην Ουγγαρία, το 1987 μια υπολογιστική ιδιοφυΐα ο **Gábor Bojár** ανέπτυξε ένα λογισμικό που αργότερα θα χαράξει την πορεία εξέλιξης της τεχνολογίας BIM όπως τη γνωρίζουμε σήμερα. Το λογισμικό καταλύτης ήταν το **ArchiCAD** (βλ. εικ. 2.6), το οποίο με παρόμοια τεχνολογία με το BDS, θεωρήθηκε ως το πρώτο λογισμικό BIM διαθέσιμο για προσωπικό υπολογιστή. Παράλληλα με την εμφάνιση του ArchiCAD, η Tekla ολοκλήρωσε τη συνδυασμένη γραφική και σχεσιακή βάση δεδομένων για την πρώτη έκδοση του συστήματος Tekla-BIM.



Εικόνα 2.5: Πρώιμη σχεδίαση BIM [11]

Κατά τη διάρκεια του 1985, στις ΗΠΑ, η **Diehl Graphisoft** ανέπτυξε το **Vectorworks**, ένα από τα πρώτα προγράμματα CAD, με βασικό χαρακτηριστικό τη 3D μοντελοποίηση. Το Vectorworks ήταν ένα από τα πρώτα προγράμματα που εισήγαγε τις δυνατότητες BIM. Ταυτόχρονα, η **Parametric Technology Corporation (PTC)** που ιδρύθηκε το 1985, κυκλοφόρησε το 1988 το **Pro/ENGINEER**, που θεωρείται το πρώτο εμπορικό λογισμικό σχεδιασμού παραμετρικών μοντέλων στην ιστορία του BIM. Διαχωρίζοντας τη θέση τους από την PTC, ο Irwin Jungreis και ο Leonid Raiz πήγαν να δημιουργήσουν τη δική τους εταιρία λογισμικού, την **Charles River Software**. Το δίδυμο θέλησε να αναπτύξει μια αρχιτεκτονική έκδοση Pro/ENGINEER που θα μπορούσε να χειριστεί πιο πολύπλοκα έργα από το ArchiCAD. Μέχρι το 2000 είχαν αναπτύξει ένα πρόγραμμα που ονομάζεται **Revit**, μια λέξη που υποτίθεται ότι συνίσταται από τις λέξεις αναθεώρηση και ταχύτητα. Το Revit έκανε επανάσταση στο BIM χρησιμοποιώντας μια μηχανή παραμετρικής αλλαγής που έγινε δυνατή μέσω αντικειμενοστρεφούς προγραμματισμού και δημιουργώντας μια πλατφόρμα που επέτρεπε την προσθήκη ενός ακόμα χαρακτηριστικού, του χρόνου.



Εικόνα 2.6: Η πρώτη έκδοση του ArchiCAD [11]

2.3.3 Η εξέλιξη στα λογισμικά BIM

Ο Robert Aish τεκμηρίωσε για πρώτη φορά τη χρήση του όρου "Building Modeling" σε εργασία που δημοσίευσε το 1986. Σε αυτή την εργασία, υποστήριξε αυτό που γνωρίζουμε τώρα ως BIM και την τεχνολογία για την εφαρμογή του. Λίγα χρόνια αργότερα, η πρώτη τεκμηριωμένη χρήση του όρου "**Building Information Modeling**" εμφανίστηκε το Δεκέμβριο του 1992 σε άρθρο των G.A. Van Nederveen και του F. Tolman για την αυτοματοποίηση κατασκευών τον.

Το 1995, η μορφή αρχείου **Industry Foundation Class (IFC)** αναπτύχθηκε για να επιτρέψει την ανταλλαγή δεδομένων στις διάφορες πλατφόρμες μέσω ενός αρχείου συμβατού με διαφορετικά προγράμματα BIM. Το 1997, η ArchiCAD κυκλοφόρησε την πρώτη λύση για την ομαδική ανταλλαγή αρχείων. Μία επαναστατική κίνηση για την ομαδική συνεργασία η οποία επέτρεψε σε περισσότερους μηχανικούς να δουλεύουν ταυτόχρονα στο ίδιο μοντέλο κτιρίου. Οι ενημερώσεις για την ομαδική εργασία αργότερα επέτρεψαν την απομακρυσμένη πρόσβαση στο ίδιο έργο μέσω του διαδικτύου και άνοιξαν δίοδο για τη συνεργασία και τον συντονισμό των σχεδίων σε μεγαλύτερη κλίμακα. Το 1999 στην Ιαπωνία, η Onuma επέτρεψε σε εικονικές (διαδικτυακές) ομάδες να δουλέψουν πάνω στο BIM μέσω του διαδικτύου και δημιούργησαν ένα σύστημα σχεδιασμού που βασίζεται σε βάσεις δεδομένων, κάτι που προετοίμασε το έδαφος για μία μελλοντική ενοποιημένη διαλειτουργική πλατφόρμα λογισμικού BIM και παραμετρικές τεχνολογίες. Το 2001, η NavisWorks ανέπτυξε και κυκλοφόρησε στο εμπόριο το JetStream, ένα 3D λογισμικό αναθεώρησης σχεδιασμού το οποίο προσφέρει ένα σύνολο εργαλείων για 3D πλοήγηση, συνεργασία και συντονισμό CAD. Το JetStream βασικά συντόνισε διαφορετικές μορφές δεδομένων και αρχείων, επιτρέποντας ταυτοχρόνως την προσομοίωση μιας κατασκευής και την ανίχνευση προβλημάτων. Όταν το Revit κυκλοφόρησε το 2004 την ενημερωμένη του έκδοση, το Revit 6, αυτό έθεσε τη βάση για μεγαλύτερες ομάδες αρχιτεκτόνων και μηχανικών να συνεργαστούν σε ένα ολοκληρωμένο λογισμικό μοντέλου. Καθώς η Autodesk αγωνίστηκε να είναι στην κορυφή του παιχνιδιού BIM, απέκτησε το Revit το 2002, το NavisWorks το 2007, μεταξύ άλλων "μικρότερων" συστημάτων BIM. Στα τέλη του 2012, η Autodesk ανέπτυξε το Formit. Το Formit είναι μια εφαρμογή που επιτρέπει το σχεδιασμό ενός μοντέλου BIM σε μια κινητή συσκευή.

2.3.4 Το μέλλον της τεχνολογίας BIM

Κλείνοντας την ιστορική αναδρομή του BIM, βλέπουμε ότι 40 χρόνια περίπου μετά την αρχική ιδέα αυτής της τεχνολογίας, αναγνωρίζεται πλέον το τεράστιο δυναμικό της στον τομέα του σχεδιασμού και της κατασκευής τεχνικών έργων, αλλά και στον τομέα των αποτυπώσεων που θα μας απασχολήσει στα επόμενα κεφάλαια.

2.4 Μέθοδοι αποτυπώσεων και BIM λογισμικά

Στις μέρες μας, διαμέσου των επιτευγμάτων της ψηφιακής τεχνολογίας και των υπολογιστικών συστημάτων, υπάρχει η δυνατότητα ταχύτερης και οικονομικότερης αποτύπωσης κτηρίων, εκτάσεων γης, μνημείων, καθώς και εσωτερικών χώρων.

Ο Τοπογράφος Μηχανικός, αλλά και οι περεμφερείς κλάδοι, διαθέτουν πλέον στο «οπλοστάσιό τους» εξοπλισμό και μεθόδους όπως: Drones, 3D Laser scanners, GPS, 3D handheld scanners και συστήματα σάρωσης με laser – LiDAR.

Η χρησιμότητα των συγκεκριμένων συσκευών επεκτείνεται και πέρα των αποτυπώσεων και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για χαρτογράφηση, γεωδαίτηση, δημιουργία ψηφιακού μοντέλου κτηριακών εγκαταστάσεων και μνημείων ή έργων υποδομής, καθώς και για την επιτήρηση και την καταγραφή της πορείας κατασκευής ενός έργου (drones, laser scanning).

Με την ψηφιακή τεχνολογία παράγεται ένα επεξεργάσιμο προϊόν, **το νέφος σημείων (point cloud)**, το οποίο μπορεί στη συνέχεια να διαμορφωθεί και να τροποποιηθεί με τέτοιο τρόπο, που να δίνει τελικά μία πιστή ψηφιακή 3διάστατη αναπαράσταση του φυσικού μοντέλου. Επομένως, το επόμενο στάδιο μετά την αποτύπωση είναι η επεξεργασία του νέφους σημείων με ένα λογισμικό, ώστε να αποδοθεί το εικονικό – ψηφιακό είδωλο. Σε αυτό το σημείο έρχεται η τεχνολογία BIM να συμβάλει και να συμπληρώσει το εικονικό – ψηφιακό είδωλο με τις απαιτούμενες γραφικές και μη-γραφικές πληροφορίες. Σε πολλές περιπτώσεις, η εργασία του πεδίου, δηλαδή η αποτύπωση δεν διαχωρίζεται από την εργασία του γραφείου, δηλαδή την επεξεργασία των μετρητικών προϊόντων. Αυτό συμβαίνει γιατί πολλές από αυτές τις «έξυπνες μηχανές» συνοδεύονται από το ανάλογο BIM λογισμικό.

2.5 Αποτύπωση με συμβατικές μεθόδους

Ως αποτύπωση με συμβατικές μεθόδους νοείται το σύνολο των διεργασιών που σκοπό έχουν να απεικονίσουν το αποτέλεσμα των μετρήσεων μιας φυσικής οντότητας (κτίριο, μνημείο, αγροτεμάχιο κ.α.) μέσω του σχεδιασμού του στο «χαρτί», αποδίδοντας πιστά τις διαστάσεις του, τα μορφολογικά, τα δομικά και γενικά τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του.

Ο σχεδιασμός γίνεται σύμφωνα με τις αρχές της παραστατικής γεωμετρίας και στο τελικό αποτέλεσμα πρέπει να εμπεριέχονται όλα τα αναγκαία στοιχεία που προέρχονται από την παρατήρηση του προς αποτύπωση αντικειμένου και τις εργασίες που πραγματοποιήθηκαν στο πεδίο.

2.5.1 Μετρητικά όργανα παλιάς τεχνολογίας [12]

1. Το ξύλινο μέτρο (ή σπαστό ή γαλλικό)



2. Το μεταλλικό μέτρο



3. Η μετροταινία (κορδέλα)

Χρησιμοποιείται για τις περισσότερες μετρήσεις κατόψεως, πρέπει πάντα είναι οριζόντια και καλά τεντωμένη για την αποφυγή σφαλμάτων στις μετρήσεις.



4. Αποστασιόμετρο (laser)

Υπολογίζει την απόσταση χρησιμοποιώντας δέσμη laser.



5. Προφιλόμετρο

Είναι όργανο κατάλληλο για την μεταφορά με μεγάλη ακρίβεια, ακόμη και των πιο περίπλοκων προφίλ.



6. Παχύμετρο

Το παχύμετρο χρησιμοποιείται για την ακριβέστερη μέτρηση του μήκους.



7. Μικόμετρο

Είναι όργανο ακριβείας για τη μέτρηση των διαστάσεων μικρών αντικειμένων.



8. Το νήμα της στάθμης (Λιναίη ή Ζύγι)

Είναι ένα σκοινί, με βαρίδι στην κάτω άκρη του, το οποίο εξαιτίας της βαρύτητας, όταν ηρεμεί παίρνει πάντα την κατεύθυνση της κατακόρυφου. Με τη λιναίη ελέγχονται οι αποκλίσεις των τοίχων, λαμβάνονται σωστά οι οριζόντιες μετρήσεις σε κεκλιμένα εδάφη και κατακορυφώνονται ακόντια σήμανσης.



9. Αεροστάθμη (αλφάδι)

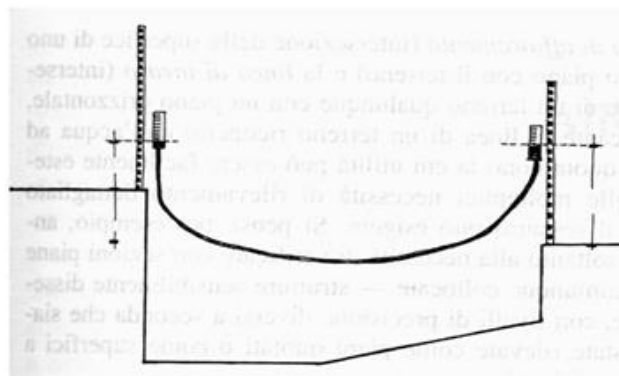
Το αλφάδι έχει την ιδιότητα να δείχνει ποιες επιφάνειες είναι οριζόντιες, βασιζόμενο στην μηχανική των ρευστών. Διαθέτει δύο είδη αεροστάθμης, τις σφαιρικές και τις σωληνωτές.



10. Το αλφαδολάστιχο

Βασίζεται στην ιδιότητα των συγκοινωνούντων δοχείων.

Είναι ένας απλός σωλήνας, ο οποίος γεμίζει με νερό, χωρίς να έχει βουλωμένα τα άκρα του, για να επιδρά η ατμοσφαιρική πίεση στην επιφάνεια του υγρού. Τότε σε οποιαδήποτε απόσταση και αν βρίσκονται τα δύο άκρα, η στάθμη του νερού και στα δύο θα είναι στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο.



11. Η Πυξίδα

Η πυξίδα χρησιμοποιείται μόνο για μετρήσεις οριζόντιων γωνιών. Μετρά αζιμούθιες γωνίες, δηλαδή γωνίες, που σχηματίζουν οι ευθυγραμμίες με τη διεύθυνση του μαγνητικού βορρά.



12. Το Θεοδόλιχο

Το θεοδόλιχο είναι μηχανικό τοπογραφικό όργανο μέτρησης αποστάσεων και οριζοντίων γωνιών. Το όργανο τοποθετείται σε σταθερή βάση (τρίποδα) η οποία εξασφαλίζει την ακινησία του καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων.



13. Η Σταδία

Η σταδία είναι δευτερεύον όργανο και χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με το χωροβάτη και το θεοδόλιχο καθώς και άλλα τοπογραφικά όργανα για τη λήψη υψομετρικών διαφορών. Στη μια επιφάνεια η σταδία είναι αριθμημένη με εμφανείς υποδιαιρέσεις ανά εκατοστό του μέτρου (cm). Οι υποδιαιρέσεις έχουν χρωματισθεί εναλλάξ, ώστε να είναι ορατές από μεγάλη απόσταση.



14. Ο Χωροβάτης

Ο χωροβάτης είναι το τοπογραφικό όργανο, που χρησιμοποιείται στη μέτρηση των υψομέτρων σημείων. Αποτελείται από ένα τηλεσκόπιο, προσαρμοσμένο σε ένα κατακόρυφο άξονα. Στη βάση του οργάνου υπάρχει ένας οριζόντιος δίσκος, αριθμημένος σε βαθμούς.



2.5.2 Η εξέλιξη της γεωδαισίας και των αποτυπώσεων

Το 1971, πραγματοποιήθηκε μια αλματώδης εξέλιξη στον τομέα των αποτυπώσεων, με την δημιουργία του **πρώτου γεωδαιτικού σταθμού (total station)**. Ήταν η πρώτη φορά που η απόσταση και οι γωνίες (οριζόντιες και κατακόρυφες) μπορούσαν να καταγραφούν από ένα και μόνο όργανο.

Όμως η εξέλιξη δεν σταμάτησε εκεί, καθώς στις μέρες μας ο γεωδαιτικός σταθμός απέκτησε ρομποτική μορφή (βλ. εικ. 2.7), μειώνοντας τον χρόνο εκπόνησης των εργασιών πεδίου και το βασικότερο πλεονέκτημά του είναι ότι πλέον δεν χρειάζεται ολόκληρη ομάδα για την αποτύπωση ή την εκάστοτε εργασία, αλλά ένα μόνο άτομο.



Εικόνα 2.7: Ρομποτικός γεωδαιτικός σταθμός Trimble s6 [13]

Η γεωδαισία περιλαμβάνει τους τομείς της γεωγραφικής τοποθέτησης, της χαρτογράφησης και της διαχείρισης χωρικά προσανατολισμένων δεδομένων μέσω ηλεκτρονικών υπολογιστών. Εξελίχθηκε ως νέος τομέας με την ολοκλήρωση αντίστοιχων προγραμμάτων σπουδών (γεωδαισιακής μηχανικής) στα οποία συγχωνεύονται και τα αντικείμενα της τηλεπισκόπησης και γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών (GIS). Με λίγα λόγια η γεωδαισία είναι μια αποτύπωση μεγάλου εύρους, η οποία περιέχει γεωγραφική και χωρική πληροφορία.

Είναι σαφές ότι ο μηχανικός του εικοστού πρώτου αιώνα είναι ένας επαγγελματίας μέσα σε ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο επάγγελμα. Συγκεκριμένα για τη γεωδαισία, η ταχεία εξέλιξη και εκτεταμένη λειτουργία της οφείλεται στην εξέλιξη της τεχνολογίας των υπολογιστών, της τεχνολογίας λογισμικού και της διαστημικής τεχνολογίας.

Η εμφάνιση νέων και απλουστευμένων τεχνολογιών, που περιλαμβάνουν τα Παγκόσμια Δορυφορικά Συστήματα Πλοήγησης (GNSS), την Τηλεπισκόπηση, τη σάρωση με λέιζερ, κλπ., έχουν προσδώσει ένα πνεύμα τεχνολογικής επανάστασης στο επάγγελμα του τοπογράφου κατά τα τελευταία 30 χρόνια. Αυτή η τάση θα συνεχιστεί και στο μέλλον, καθώς ο μηχανικός θα εξαρτάται περισσότερο από τη νέα και προηγμένη τεχνολογία.

Οι τρισδιάστατοι σαρωτές, σε αντίθεση με τα παραδοσιακά όργανα μετρήσεων, είναι σε θέση να συλλέγουν ένα μεγάλο όγκο δεδομένων σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα. Αυτό σε συνδυασμό με το γεγονός ότι τα δεδομένα σάρωσης με λέιζερ είναι χρήσιμα για πολλούς σκοπούς, κάνει τους μελετητές να το υιοθετήσουν ως το κύριο μέσο συλλογής δεδομένων για

σκοπούς που κυμαίνονται από απλές τοπογραφικές έρευνες έως πολύ ακριβείς εργασίες όπως παρακολούθηση παραμορφώσεων.

Μία άλλη σύγχρονη τάση είναι η απεικόνιση του μοντέλου του έργου σε ψηφιακό περιβάλλον:

- **Εικονική πραγματικότητα (VR)**

Η τεχνολογία απεικόνισης έχει φτάσει στο σημείο όπου ένα άτομο μπορεί να περιηγηθεί μέσα σε ένα εικονικό μοντέλο κτιρίου και να αισθάνεται σαν να υπάρχει στην πραγματικότητα μπροστά του, κάτι το οποίο προσθέτει μια συναρπαστική νέα διάσταση στη βιομηχανία των αποτυπώσεων. Η VR (virtual reality) θα χρησιμοποιηθεί στη βιομηχανία με πολλούς τρόπους, παρέχοντας αμέτρητες εφαρμογές στον τομέα της δόμησης. Για παράδειγμα, μία μάσκα εικονικής πραγματικότητας μπορεί να επιτρέψει σε κάποιον να παρακολουθήσει την πτήση ενός μη επανδρωμένου αεροσκάφους (drone), δίνοντας μία νέα μορφή στην επιτήρηση και την αυτοψία ενός τεχνικού έργου.

- **Επαυξημένη πραγματικότητα (augmented reality – AR)**

Αντίθετα από την τεχνολογία εικονικής πραγματικότητας (VR) που επιχειρεί να μεταφέρει τον χρήστη σε έναν κόσμο διαφορετικό απ' τον πραγματικό, η τεχνολογία επαυξημένης πραγματικότητας (AR) έχει στόχο να «εμπλουτίσει» τον κόσμο μας, παρεμβάλλοντας μεταξύ των ματιών μας και του φυσικού περιβάλλοντος ένα «στρώμα» ψηφιακών πληροφοριών (βλ. εικ. 2.8). Ένα εμπορικό προϊόν επαυξημένης πραγματικότητας είναι η συσκευή **google glass**. Η τεχνολογία αυτή, απεικονίζει ένα πλήθος πληροφοριών για το έργο του μηχανικού, καθώς και την τεκμηρίωση της ορθότητας της μελέτης.



Εικόνα 2.8: Παράδειγμα επαυξημένης πραγματικότητας [14]

2.5.3 Παραδείγματα μελετών [14]

- **Εργαστήριο ερευνών OSU και εικονική πραγματικότητα**

Το εργαστήριο ερευνών Γεωδαιτών και Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου του Όρεγκον (OSU) έχει κατασκευάσει ένα σύστημα απεικόνισης *Immersive Virtual Reality (VR)* με σκοπό την απεικόνιση ψηφιακών τρισδιάστατων (3D) δεδομένων, πιο συγκεκριμένα, σύννεφα σημείων lidar και ψηφιακά μοντέλα εδάφους (DTM).

Τοποθετώντας και προσανατολίζοντας την εναρκτήρια θέση του χρήστη εντός του ψηφιακού μοντέλου διαμέσου της συσκευής διασύνδεσης, το σύστημα VR προσαρμόζει την εμφανιζόμενη 3D σκηνή για την οπτική γωνία του χρήστη (POV: point of view). Η βελτιστοποίηση της απεικόνισης για το POV του χρήστη επιτρέπει την αναδημιουργία ρεαλιστικής γεωμετρίας και προοπτικής καθώς και τη δυνατότητα τοποθέτησης ενός εικονικού δρομέα, ο οποίος χειρίζεται από τη φορητή συσκευή διασύνδεσης (Wii Remote) και είναι ένα απαραίτητο στοιχείο για τον χρήστη, για να εντοπίσει τον εαυτό του μέσα στο σύνολο των δεδομένων.

Χρησιμοποιώντας το σύστημα VR, μπορεί κανείς να εκτελέσει εικονική, επιτόπια εργασία για την επιθεώρηση κατοικιών που έχουν υποστεί βλάβη από σεισμική δραστηριότητα. Ορισμένες παρατηρήσεις και μετρήσεις που έγιναν στο σύστημα VR δεν θα ήταν απλώς δυνατές στο πραγματικό έργο λόγω ανησυχιών για την ασφάλεια. Επιπροσθέτως, η δυνατότητα εφαρμογής διαφορετικών χρωμάτων, φωτισμού σε πραγματικό χρόνο και επεξεργασίας πολλαπλών σημείων ή μεμονωμένων αντικειμένων, επιτρέπει στον χρήστη να εντοπίζει λεπτομέρειες και να παρατηρεί συσχετίσεις μεταξύ των σημείων ενδιαφέροντος που δεν θα ήταν δυνατές στον πραγματικό κόσμο.

- **Μικρότερα, ελαφρύτερα drones στις βιομηχανίες πετρελαίου και αερίου**

Τα drones, γνωστά και ως μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV), δεν είναι πλέον απλώς μία εικονοληπτική συσκευή. Για τους μηχανικούς, η χρήση αυτών των αεροσκαφών μπορεί να εξοικονομήσει πολύ χρόνο και χρήμα.

Το 2012, η BP (BP Petrol) άρχισε για πρώτη φορά να χρησιμοποιεί drones για την επιθεώρηση εκτεταμένου δικτύου αγωγών στην Αλάσκα, για να διευκολύνει την επιτήρηση σε δύσβατο έδαφος και ως τρόπο μείωσης των κινδύνων ασφαλείας. Για να επιθεωρήσει τις υφιστάμενες δομές αγωγών η BP χρησιμοποίησε ένα απλό τετράπτερο (βλ. εικ. 2.9), μειώνοντας δραματικά τον χρόνο της εργασίας. Παρόλο που υπάρχει ένας χειριστής στην περιοχή πτήσης του drone, άλλοι μηχανικοί χιλιόμετρα μακριά μπορούν να έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες και εικόνες σε πραγματικό χρόνο. Αυτό επιτρέπει την αντιμετώπιση των προβλημάτων, νωρίτερα, πριν να προκληθούν δαπανηρές καταστροφές. Το drone μπορεί

να σαρώσει έως και 2400 τετραγωνικά μίλια από ένα σημείο, με διαστάσεις μόνο 1,8m x 2m και βάρους 7 κιλών. Αυτό δεν είναι μόνο ένας αποτελεσματικός τρόπος έρευνας, αλλά μειώνει την πιθανότητα εργατικών ατυχημάτων σε επικίνδυνο έδαφος. Το UAV χρησιμοποιεί τη μέθοδο Lidar για να χαρτογραφήσει την περιοχή, να επιθεωρήσει την υποδομή του πεδίου και ακόμα να ελέγξει την οδική ασφάλεια των εκατοντάδων χιλιομέτρων που διανύουν οι αγωγοί της BP για να εξυπηρετήσουν τις δραστηριότητές της εταιρείας. Μικρότερα, ελαφρύτερα αεροσκάφη κοστίζουν λιγότερο και είναι πιο εύκολα στη μεταφορά. Με την πρόοδο της τεχνολογίας τα αεροσκάφη αυτά είναι πιθανό να συνεχίσουν να συρρικνώνονται στο μέλλον.



Εικόνα 2.9: Ερευνητικά quadcopter drones [14]

Η SKYCATCH [<https://www.skycatch.com/>] είναι μια εταιρεία που κατασκευάζει μη επανδρωμένα αεροσκάφη, καθώς και την τεχνολογία επεξεργασίας δεδομένων που χρησιμοποιείται για την πτήση τους. Μία από τις ειδικότητές της είναι στον κλάδο των κατασκευών, όπου οι επιβλέποντες πρέπει να χαρτογραφούν χώρους που μπορεί να αλλάζουν σε τακτική βάση. Η νέα τάση εδώ είναι το "πλήρως αυτόνομο" μέρος. Σε αντίθεση με τα drones της BP στην προηγούμενη περίπτωση που χρησιμοποιούν χειριστές, το SkyCatch drone (επίσης ένα quadcopter) είναι σε θέση να καθορίσει αυτόματα τη διαδρομή της πτήσης του, να σαρώνει το χώρο εργασίας και να προσγειώνεται σε προκαθορισμένες συντεταγμένες. Οι χρήστες απλώς προγραμματίζουν την περιοχή μελέτης και εκκινούν το αεροσκάφος από ένα "μαύρο κουτί" που χρησιμεύει ως αποθηκευτικός χώρος. Αυτά τα drones είναι εξαιρετικά χρήσιμα στην κατασκευαστική βιομηχανία και αυτό γιατί δημιουργούν καθημερινά νέες 2D και 3D εικόνες ολόκληρου του εργοταξίου. Αυτό επιτρέπει εύκολη διασταύρωση των νέων στοιχείων με τις προηγούμενες σαρώσεις του χώρου, για να συγκριθεί η εξέλιξη του έργου.

Η δημοτικότητα και οι χρήσεις των πλήρως αυτόνομων αεροσκαφών στον τομέα των κατασκευών είναι βέβαιο ότι θα αυξηθούν στο μέλλον.

2.5.4 Τεχνολογία και εκπαίδευση [14]

Η προηγμένη αυτή τεχνολογία (BIM, ΣμηΕΑ, κλπ.), επαναπροσδιορίζει το επάγγελμα του μηχανικού. Παρόλα αυτά τα κονδύλια για τέτοια συστήματα είναι περιορισμένα και υπάρχει έλλειψη καλά καταρτισμένων επαγγελματιών. Η τεχνολογία σίγουρα βοηθά, αλλά μόνο η τεχνολογία δεν είναι η λύση. Θεμελιώδης λίθος αυτού του προβλήματος είναι η γνώση. Η σύγχρονη γεωδαισία είναι πράγματι ένα εργαλείο για την υπέρβαση των κοινωνικών προκλήσεων της σύγχρονης εποχής, αλλά όχι μόνο με την έννοια του υλικού και των προϊόντων λογισμικού. Είναι επίσης απαραίτητο να υπάρχει σε βάθος γνώση των μεθόδων και των εφαρμογών και όχι να γίνεται απλή χρήση τους. Δηλαδή απαιτείται συνεχής εκπαίδευση.

Δυστυχώς, όπως και με την εκμάθηση σχεδιασμού σε περιβάλλον CAD η οποία προσαρτήθηκε στο πρόγραμμα σπουδών του πολιτικού μηχανικού εντελώς ετεροχρονισμένα, το ίδιο συνέβη και με την τεχνολογία BIM. Μόλις το ακαδημαϊκό έτος 2017-2018 προστέθηκε το μάθημα στο πρόγραμμα σπουδών των πολιτικών μηχανικών του Ε.Μ.Π. με τίτλο «Τεχνολογία μοντέλων δομικών πληροφοριών».

Επιπροσθέτως, όλη η εκπαίδευση ενός πολιτικού μηχανικού στις μεθόδους αποτυπώσεων περιλαμβάνει πλέον σε ένα και μόνο μάθημα γεωδαισίας και με την εξοικείωσή του με μετρητικά όργανα όπως: θεοδόλιχο, γεωδαιτικός σταθμός και χωροβάτης.

Από την άλλη, η εκπαίδευση δεν πρέπει να επικεντρώνεται μόνο στη σύγχρονη τεχνολογία, τις τεχνικές έρευνας, στη συλλογή και μοντελοποίηση δεδομένων κ.λπ., αλλά και στο σύνολο του περιβάλλοντος των γειτονικών επιστημών και στην κατανόηση και τη συνεργασία με αυτά. Σαφέστατα σε ένα πολυδιάστατο επάγγελμα, όπως αυτό του μηχανικού, υπάρχει υπέρμετρη γνώση η οποία πρέπει να συμπυκνωθεί σε ένα πενταετές πλάνο σπουδών, αυτός είναι και ο λόγος που η εκπαίδευση πρέπει να γίνεται με άρτια προγραμματισμό και εύστοχη επιλογή της διδακτέας ύλης.

2.5.5 Αλλαγές στις ανάγκες του χρήστη [14]

Παρόλο που αυτή η νέα τεχνολογία μειώνει σημαντικά τους χρόνους ολοκλήρωσης των έργων, δημιουργεί μια σειρά προκλήσεων, συμπεριλαμβανομένου του γεγονότος ότι η τεχνολογία αλλάζει με ταχείς ρυθμούς. Αυτό σημαίνει ότι οι μηχανικοί για να παράγουν καλύτερες εργασίες και έργα, πρέπει να είναι πλήρως ενημερωμένοι για τις τρέχουσες τεχνολογικές εξελίξεις.

Η βάση χρηστών αυτής της βιομηχανίας επεκτείνεται. Οι κλασικοί χρήστες, για παράδειγμα πολιτικοί μηχανικοί, εξακολουθούν να είναι πολύ σημαντικοί, τώρα όμως αυτή η βιομηχανία απευθύνεται και σε κατηγορίες επαγγελματιών που δεν είχε πριν είκοσι χρόνια, όπως αρχιτέκτονες, αρχαιολόγοι, κατασκευαστές μηχανημάτων, ιατροδικαστές κ.ο.κ. Η εξέλιξη

αυτή θα συνεχιστεί και το πιθανότερο σενάριο είναι ότι θα δημιουργηθούν νέοι κλάδοι για την εξυπηρέτηση αυτών των αναγκών. Επίσης, η δυνατότητα «σύντηξης» δεδομένων έχει προκαλέσει μια σημαντική αλλαγή: όταν αντιμετωπίζεται ένα πρόβλημα μέτρησης, δεν χρειάζεται πλέον να το επιλυθεί χρησιμοποιώντας μια συγκεκριμένη μέθοδο τοπογραφίας, φωτογραμμετρικής έρευνας, έρευνας LiDAR, GPS ή οποιασδήποτε άλλης μεθόδου έρευνας, καθώς η προσέγγιση του προβλήματος μπορεί να γίνει με μια ομοιογενή μίξη μεθόδων.

Η διάδοση των χωρικών πληροφοριών μέσω του Διαδικτύου δεν ήταν δυνατή πριν από δέκα χρόνια. Ο κόσμος έχει μετακινηθεί από μια εποχή όπου η γνώση ήταν εξουσία και η διάδοσή της ιεραρχική στα κοινά δίκτυα γνώσης. Υπάρχουν διαθέσιμα περισσότερα ελεύθερα λογισμικά ανοιχτού κώδικα και διαθέσιμα δεδομένα για τους πελάτες, οι οποίοι πλέον μπορούν να έχουν πλήρη γνώση του τι πρέπει να ζητήσουν και να λάβουν για την κάθε εργασία. Επομένως, δημιουργείται ένα ακόμα πρόβλημα, καθώς ο μηχανικός θα πρέπει να διδάξει στον πελάτη του πώς να διαβάσει και να αξιοποιήσει τα παραδοτέα του δεδομένα.

Ο μηχανικός έχει εξελιχθεί σε έναν πολυτάλαντο επαγγελματία, κάτι που τον καθιστά περιζήτητο. Όμως, ακόμα και στις μέρες μας πάσχει στον τομέα της εκπαίδευσής του. Ορισμένα πανεπιστήμια του ανεπτυγμένου κόσμου δεν έχουν ακόμη αναθεωρήσει τα προγράμματα σπουδών τους, ώστε να αντικατοπτρίζουν τις τελευταίες εξελίξεις στα όργανα μέτρησης και τα σύγχρονα λογισμικά, ώστε να αποκτήσει ο μελετητής τις απαραίτητες δεξιότητες, που ζητάει πλέον η αγορά. Αυτός είναι και ο λόγος που τα ακαδημαϊκά μέλη πρέπει να αναθεωρήσουν τα προγράμματα σπουδών τους ώστε να αντανakλούν τη νέα τεχνολογία.

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Κεφάλαιο 2^ο: Αποτυπώσεις και τεχνολογία BIM

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : 3D LASER SCANNER

Σύνοψη:

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται ο τρισδιάστατος σαρωτής (3d laser scanner), με την ιστορική πορεία και εξέλιξη της συγκεκριμένης τεχνολογίας, τη χρησιμότητά της στις τρέχουσες εργασίες αποτυπώσεως, καθώς και τις τάσεις για τη μελλοντική της εξέλιξη. Επιπλέον, παρατίθενται μελέτες και αποτυπώσεις ιστορικών μνημείων, με τη χρήση του 3d σαρωτή και σε κάποιες από αυτές τις εφαρμογές πραγματοποιείται η επεξεργασία της αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM.

3.1 Τρόπος λειτουργίας του 3d laser scanner

Η τρισδιάστατη σάρωση με λέιζερ είναι ανέπαφη τεχνολογία, η οποία καταγράφει ψηφιακά το σχήμα των υφιστάμενων αντικειμένων, χρησιμοποιώντας μια δέσμη λέιζερ. Οι 3D σαρωτές δημιουργούν ένα πλήθος δεδομένων από την επιφάνεια ενός αντικειμένου, τα «σύννεφα σημείων» ή αλλιώς point clouds, δημιουργώντας σε ψηφιακή μορφή μια τρισδιάστατη αναπαράσταση του αντικειμένου. Η ακρίβεια αυτής της αναπαράστασης, δεν εξαρτάται μόνο από το σχήμα και το μέγεθος του αντικειμένου, αλλά και από την τοποθέτησή του στο χώρο, καθώς καταγράφονται οι συντεταγμένες του καθενός από τα σημεία του «νέφους» σε ένα τοπικό σύστημα συντεταγμένων.

Η τρισδιάστατη σάρωση με λέιζερ είναι ιδανική για τη μέτρηση και την επιθεώρηση των περιμετρικών επιφανειών και των πολύπλοκων γεωμετριών, που απαιτούν τεράστιο όγκο δεδομένων για την ακριβή περιγραφή τους κάτι το οποίο, δεν είναι πρακτικό με τη χρήση παραδοσιακών μεθόδων μέτρησης, καθώς αυτές είναι χρονοβόρες και δαπανηρές.

3.2 Ιστορική αναδρομή του 3d laser scanner [15]

Οι στρατιωτικές δυνάμεις των Ηνωμένων Πολιτειών, από το 1953, άρχισαν να πειραματίζονται με μια οπτική συσκευή μέτρησης χρησιμοποιώντας δέσμες φωτός και φωτοφράκτες υψηλής ταχύτητας. Στο έργο (και τη συσκευή) δόθηκε το όνομα **LiDAR (Light Detection And Ranging)** και αυτό συνέβη πολύ πριν εφευρεθούν τα λέιζερ. Παράλληλα, η εταιρεία Ferranti της Σκωτίας κυκλοφόρησε μια ηλεκτρονική μηχανή ανίχνευσης, για ακριβή μέτρηση που ονομάζεται μηχανή μέτρησης συντεταγμένων (**CMM: coordinate-measuring machine**). Η πρώτη που κυκλοφόρησε ήταν έκδοση 2 αξόνων. Αυτά τα δύο έργα, αποτέλεσαν τη τεχνολογική βάση για τη δημιουργία του τρισδιάστατου σαρωτή.

Το 1963, το Σώμα Μηχανικών του Στρατού των Ηνωμένων Πολιτειών αναβάθμισε το σύστημα LiDAR με την ενσωμάτωση laser, για ακριβή μέτρηση απόστασης σε τοπογραφικές και ερευνητικές εργασίες, συμπεριλαμβανομένων φορητών και αερομεταφερόμενων συσκευών. Αυτή η φορητή συσκευή μέτρησης, αποχαρακτήριστηκε σύντομα και έγινε δημοφιλής και για μη στρατιωτικές εφαρμογές.

Περίπου την ίδια εποχή, η εταιρία DEA στην Ιταλία, σχεδίασε ένα νέο CMM τριών αξόνων, το οποίο διέθετε ένα πιο ισχυρό σύστημα μέτρησης συντεταγμένων για φυσικά αντικείμενα. Και μέσα σε λίγα μόνο χρόνια, στις αρχές της δεκαετίας του '70, η DEA είχε ενσωματώσει τον απομακρυσμένο έλεγχο μέσω υπολογιστή στο CMM, δημιουργώντας μια πιο γρήγορη και ακριβέστερη επιλογή σάρωσης για βιομηχανική χρήση. Το σύστημα εξακολουθούσε να είναι υπερβολικά αργό για πολύ λεπτομερείς εφαρμογές, αλλά οι δυνατότητές του δημιούργησαν πολλές καινοτομίες τα επόμενα χρόνια.

Χρησιμοποιώντας τις ιδέες ανίχνευσης της DEA, αλλά σε μια πολύ πιο εντατική διαδικασία, οι σπουδαστές και οι καθηγητές του τμήματος πληροφορικής του πανεπιστημίου της Γιούτα ανέπτυξαν εξ' ολοκλήρου νέους αλγόριθμους για να επιτρέψουν σε έναν υπολογιστή να μεταφράσει αποτελεσματικά τα τρισδιάστατα μοντέλα που βασίζονται σε δεδομένα πραγματικού κόσμου. Στη συνέχεια το 1972, χαρτογράφησαν και μέτρησαν με το χέρι σημεία και γραμμές στην επιφάνεια ενός αυτοκινήτου VW Beetle. Το σύνολο δεδομένων που προέκυψε εισήχθη στα προγράμματα της Sutherland και παρήγαγε το πρώτο τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο που υπήρξε ποτέ.

Καθώς οι διάφορες τεχνολογίες που οδήγησαν στη σύγχρονη 3D σάρωση με λέιζερ συνέχισαν να εξελίσσονται, κατέστη προφανές ότι οι φυσικοί περιορισμοί του διαθέσιμου υλικού και λογισμικού παρουσίαζαν ένα ανώτατο όριο που θα κρατούσε πίσω την καινοτομία. Καθώς η ταχύτητα επεξεργασίας, η χωρητικότητα μνήμης και η τεχνολογία απεικόνισης άρχισαν να εξελίσσονται γρηγορότερα και ταχύτερα, αυτά τα όρια αυξήθηκαν αργά για να αποκαλυφθεί το πλήρες δυναμικό της τεχνολογίας, αυτής.

Στις αρχές της δεκαετίας του '80, αναπτύχθηκε η μέθοδος οπτικής σάρωσης "**stripe**" (**λωρίδα**), η οποία αποδεικνύεται ταχύτερη και ακριβέστερη από τις μεθόδους "**point**" ή "**area**". Ως αποτέλεσμα, η "**stripe**" έγινε η προτιμώμενη μέθοδος σάρωσης για τις εμπορικές εφαρμογές που αναπτύχθηκαν αργότερα. Το 1984, αποτελεί σημαντικό ορόσημο καθώς το Cyberware Laboratories του Λος Άντζελες, κυκλοφόρησε το σαρωτή κεφαλής, ένα ανιχνευτή λέιζερ βασισμένο στην οπτική μέθοδο της λωρίδας, που σχεδιάστηκε για να δημιουργήσει μια ψηφιακή τρισδιάστατη εικόνα της ανθρώπινης κεφαλής, για να χρησιμοποιηθεί για κινούμενα σχέδια στη βιομηχανία ψυχαγωγίας. Αυτή η ίδια τεχνολογία τελικά εξελίχθηκε σε ένα σχέδιο σαρωτή πλήρους σώματος το οποίο είναι (με τις απαραίτητες ενημερώσεις και βελτιώσεις με την πάροδο του χρόνου) ακόμα σε χρήση σήμερα.

Το 1992, η γαλλική εταιρεία **MENSI** (τώρα πλέον θυγατρική της **Trimble**) εισήγαγε τη σειρά τρισδιάστατων σαρωτών S, που χρησιμοποιούνται κυρίως σε βιομηχανικές εφαρμογές όπως οι πυρηνικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής. Το 1993, η **Cyra Technologies** παρήγαγε τον 3D λέιζερ σαρωτή, ο οποίος ήταν γρήγορος, ακριβής και φθηνός ώστε να αποκτήσει την ευρεία αποδοχή των μηχανικών. Σε σύγκριση με τους σημερινούς σαρωτές, η τεχνολογία εκείνης της εποχής ήταν απίστευτα αργή και ατελής. Αλλά σε σύγκριση με τις τεχνικές χειρωνακτικής αποτύπωσης και μέτρησης, ήταν μία τεράστια καινοτομία και ένας προϋδεασμός για τη τεχνολογική ανάπτυξη που μπορεί να προσφέρει η συνεχώς αναπτυσσόμενη υπολογιστική δύναμη (βλ και Πίνακα 3.1) .

Χρονολογία	CPU/RAM	Εικονική μνήμη	Χωρητικότητα HD	Ανάλυση κάμερας
1980	64 KB	512 KB	5 MB	Αναλογική κάμερα
1985	512 KB	2 MB	20 MB	256 KB
1990	2 MB	16 MB	100 MB	1 MB
2000	200 MB	100 MB	GB	4 MB
2010	4 GB	2 GB	TB	8 MB
2014	64 GB	32 GB	10 TB	16 MB

Πίνακας 3.1: Τυπικές προδιαγραφές του εξοπλισμού επεξεργασίας εικόνων

Το αμέσως επόμενο έτος, κυκλοφόρησε το μοντέλο τρισδιάστατου σαρωτή **REPLICA**, με το οποίο έγινε ένα μεγάλο άλμα στην ταχύτητα και ακρίβεια για εξαιρετικά λεπτομερείς σαρώσεις, και το οποίο απέκτησε ευρεία αποδοχή στο βιομηχανικό τομέα. Δύο χρόνια αργότερα, το 1996, τελειοποιήθηκε η σχεδίαση με τον **ModelMaker**, ο οποίος προσφέρει ένα συνδυασμό χειροκίνητης ψηφιοποίησης και σάρωσης με λωρίδα laser που έγινε ευρέως αποδεκτός ως το πρώτο παγκοσμίως σύστημα καταγραφής πραγματικότητας. Ο ModelMaker κατάφερε να παράγει με ακρίβεια πολύπλοκα σχήματα και να ψηφιοποιεί αυτά τα μοντέλα με υφή και χρώμα σε λίγα μόνο λεπτά.

Στις αρχές του 21ου αιώνα, ο ModelMaker παρέμεινε το χρυσό πρότυπο των τρισδιάστατων σαρώσεων. Η πραγματική ανάπτυξη ήρθε στις αρχές της δεκαετίας του 2000, εξαιτίας της εκρηκτικής προόδου στην υπολογιστική ταχύτητα και δύναμη, καθιστώντας, τόσο εφικτές όσο και πρακτικές, ακόμα και τις εξαιρετικά πολύπλοκες και λεπτομερείς σαρώσεις σε πολλούς βιομηχανικούς τομείς, μειώνοντας ταυτόχρονα το κόστος.

Το 2001, η MENSΙ εξέδωσε τους σαρωτές λέιζερ σειράς GS που ήταν οι πρώτοι που περιστρέφονταν κατά 360° οριζόντια, καθιστώντας τη σάρωση με λέιζερ πιο αποδεκτή για γεωδαιτικές και τοπογραφικές εφαρμογές. Το 2005, η **Trimble** κυκλοφόρησε τη σειρά GX που προσφέρει μια πραγματικά ομαλή ροή τοπογραφικών εργασιών και επιπρόσθετως επιτρέπει την κέντρωση και οριζοντίωση του οργάνου για την εφαρμογή του σε κάθε είδους τοπογραφική μελέτη. Το 2007, η τεχνολογία σάρωσης χαμηλού επιπέδου συνδυάστηκε σε με έναν ρομποτικό γεωδαιτικό σταθμό με την κυκλοφορία του **Trimble VX**. Ακολούθως, το 2016 η έκδοση του **Trimble SX10** συνδυάζει ισχυρή τεχνολογία σάρωσης, απεικόνισης και περιλαμβάνει όλες τις δυνατότητες ενός γεωδαιτικού σταθμού σε ένα όργανο, καθιστώντας το χρήσιμο σε καθημερινή βάση για τους μελετητές.

Ο στενά συνδεδεμένος τομέας της τρισδιάστατης εκτύπωσης είδε παρόμοια ταχεία ανάπτυξη, με βάση την υπολογιστική ικανότητα και την πτώση του κόστους της τεχνολογίας τρισδιάστατης εκτύπωσης.

Τον Δεκέμβριο του 2014, η NASA έγραψε ιστορία αποστέλλοντας μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου τα αποτελέσματα μιας 3D σάρωσης με λέιζερ σε έναν 3D εκτυπωτή μικροβαρύτητας στον διεθνή

διαστημικό σταθμό (ISS), με αποτέλεσμα ένα ειδικό γαλλικό κλειδί να είναι το πρώτο αντικείμενο που σχεδιάστηκε στη γη, αλλά κατασκευάστηκε εκτός του πλανήτη.

Η σημερινή ροή των κατασκευαστικών εργασιών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ψηφιακή τεχνολογία. Από το σχεδιασμό και τη λεπτομερή περιγραφή σε περιβάλλον λογισμικού BIM, σε λογισμικό που βοηθά στη διαχείριση σύνθετων έργων, οι κατασκευαστικές εταιρείες και οι επαγγελματίες του κατασκευαστικού χώρου, δεν μπορούν να είναι ανταγωνιστικοί στις μέρες μας, χωρίς να βασίζονται σε λύσεις υλικού και λογισμικού που αποσκοπούν στην αύξηση της αποτελεσματικότητας και στην αυτοματοποίηση των διαδικασιών καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του έργου.

Η τρισδιάστατη σάρωση αποδείχθηκε ανεκτίμητη προσθήκη στην εργαλειοθήκη της ψηφιακής τεχνολογίας που χρησιμοποιούν οι αρχιτέκτονες, οι μελετητές, οι αναλυτές και πολλοί άλλοι επαγγελματίες για να ενημερώσουν τα κατασκευαστικά σχέδια και να παράγουν πολύτιμα στοιχεία πριν και κατά τη διάρκεια του έργου. Με τους σημερινούς υπολογιστές που προσφέρουν μεγάλο αποθηκευτικό χώρο και μεγάλες ταχύτητες επεξεργασίας, ο σύγχρονος επαγγελματικός 3D laser scanner, που χρησιμοποιείται στο χώρο των κατασκευών προσφέρει λεπτομέρειες σάρωσης και επιλογές που ήταν αδιανόητες πριν από μερικά χρόνια.

Δεδομένου ότι οι επιδόσεις των ηλεκτρονικών υπολογιστών βελτιώνονται συνεχώς αναμένεται να δημιουργηθούν νέα πεδία εφαρμογών από τα οποία θα μπορούν να επωφεληθούν άτομα από περισσότερους επαγγελματικούς χώρους, καθώς η ακρίβεια, η ταχύτητα και οι επιδώσεις αυξάνονται συνεχώς. Είναι αναμενόμενο οι τρισδιάστατοι λέιζερ σαρωτές, μαζί με το υλικό και το λογισμικό που τους υποστηρίζει, να συνεχίσουν να αναπτύσσονται και καθώς αυτή η τεχνολογία γίνεται πιο προσιτή, και οι μικρότερες εταιρείες θα αρχίσουν να επωφελούνται από τις δυνατότητες αυτών των συσκευών. Επομένως, δεν υπάρχει αμφιβολία ότι οι σημερινοί ειδικοί σε τρισδιάστατες σαρώσεις θα πρέπει να συνεχίσουν να μαθαίνουν και να επεκτείνουν τους ορίζοντές τους για να συμβαδίζουν με τα όσα θα προσφέρονται τα επόμενα χρόνια.

Το επόμενο σημαντικό βήμα αναμένεται στο λογισμικό απόδοσης, το οποίο θα εξαλείψει τις τρέχουσες μη-αυτόματες πτυχές της διαδικασίας καταχώρησης «νέφους σημείων». Ενώ το σημερινό λογισμικό κάνει εξαιρετική δουλειά για τον εντοπισμό των δομικών στοιχείων, τις περισσότερες φορές, εξακολουθεί να υπάρχει περιθώριο για σφάλμα, το οποίο οδηγεί σε χειροκίνητη επαλήθευση σχεδόν σε κάθε τμήμα της σάρωσης. Σε συνδυασμό με ισχυρές βιβλιοθήκες εφαρμογών ενσωματωμένων στο λογισμικό, ένας εξειδικευμένος επαγγελματίας BIM μπορεί να δημιουργήσει γρήγορα μια άψογη απόδοση των δεδομένων του σαρωτή (point cloud). Στο εγγύς μέλλον, οι χειροκίνητες πτυχές της διαδικασίας θα καταργηθούν, καθώς το λογισμικό έξυπνης απόδοσης του νέφους σημείων με τεχνολογία τεχνητής νοημοσύνης φτάνει σε 100% αξιοπιστία.

3.3 Τεχνικές τρισδιάστατης σάρωσης

Η τρισδιάστατη σάρωση ενός αντικειμένου ή μιας περιοχής μελέτης, μπορεί να πραγματοποιηθεί με παραπάνω από έναν τρόπους. Οι δύο βασικές κατηγορίες σάρωσης είναι: i) επαφής και ii) ανέπαφης σάρωσης. Μεγαλύτερο ενδιαφέρον για το επάγγελμα του μηχανικού έχει η τεχνική της ανέπαφης σάρωσης, η οποία χωρίζεται σε δύο υποκατηγορίες, τις ενεργητικές και τις παθητικές σαρώσεις.

3.3.1 Τρισδιάστατες σαρώσεις επαφής (contact)

Χαρακτηριστικό παράδειγμα ενός σαρωτή επαφής, είναι το όργανο μέτρησης συντεταγμένων CMM (**C**oordinate **M**easuring **M**achine) (βλ. εικ 3.1), το οποίο μέσω της φυσικής επαφής δίνει τις σχετικές συντεταγμένες του προς μελέτη αντικειμένου. Το μηχάνημα αυτό αποτελείται από τρία τμήματα: το κύριο μέρος της μηχανής, τον αισθητήρα μετρήσεων και τον υπολογιστή που με το απαραίτητο λογισμικό πραγματοποιεί τον έλεγχο.

Τα συστήματα αυτά, δίνουν αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα, όσων αφορά τις συντεταγμένες των φυσικών αντικειμένων και χρησιμοποιούνται κυρίως σε βιομηχανικές εφαρμογές. Υπάρχουν όμως και αρνητικά στοιχεία στη χρήση τους. Η φυσική τους επαφή με το αντικείμενο μπορεί να το παραμορφώσει ή να το καταστρέψει, επομένως αποφεύγεται η χρήση τους σε εύθραυστα και πολύτιμα αντικείμενα, όπως έργα τέχνης και αρχαιολογικά ευρήματα. Ένα ακόμα μειονέκτημα είναι η ταχύτητα σάρωσης, η οποία είναι αρκετά αργή.



Εικόνα 3.1: Σαρωτής επαφής CMM [16]



Εικόνα 3.2: Σαρωτής επαφής με βραχίονα [17]



Εικόνα 3.3: Φορητός σαρωτής επαφής [18]

Οι σαρωτές επαφής, όπως φαίνεται και στις εικόνες (βλ. εικ. 3.1 – 3.3) χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τους σταθερούς (τύπου γέφυρας) και τους φορητούς.

Εφαρμογές που περιλαμβάνουν τη χρήση σαρωτών επαφής:

- Κινηματογραφικές εφαρμογές, κυρίως για τη σάρωση προκατασκευασμένων αντικειμένων και χαρακτήρων για την εικονική τους απεικόνιση.
- Σχεδιασμός ηλεκτρονικών παιχνιδιών, για την ψηφιακή εισαγωγή αντικειμένων και χαρακτήρων στο εικονικό περιβάλλον.
- Βιομηχανικός σχεδιασμός, για τη σάρωση αντικειμένων, εξαρτημάτων, εργαλείων κ.α., προκειμένου να γίνει αναπαραγωγή τους σε βιομηχανικό επίπεδο.

3.3.2 Ανέπαφες τρισδιάστατες σαρώσεις (non contact)

Οι τρισδιάστατοι σαρωτές μη-επαφής, όπως υπονοεί και το όνομά τους, δεν έρχονται σε φυσική επαφή με την επιφάνεια του αντικειμένου. Οι τεχνικές για τη σάρωση ενός αντικειμένου, σε αυτή την κατηγορία, χωρίζονται σε παθητικές και ενεργητικές. Το τελικό αποτέλεσμα είναι ένα πολύ ακριβές νέφος σημείων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αντίστροφη μηχανική, εικονική συναρμολόγηση, τεχνική ανάλυση, επιθεώρηση χαρακτηριστικών και επιφάνειας, καθώς και δημιουργία προτύπων.

3.3.3 Ανέπαφες ενεργητικές τεχνικές

Οι ενεργητικοί σαρωτές προκειμένου να αποτυπώσουν ένα αντικείμενο ή τον περιβάλλοντα χώρο, εκπέμπουν κάποιο είδος ακτινοβολίας ή φωτός με τη μορφή δέσμης laser και ανιχνεύουν την αντανάκλαση του. Οι πιθανές εκπομπές που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν φωτισμό, υπερήχους ή ακτίνες X. Η ενεργητική τρισδιάστατη σάρωση χωρίζεται σε τρεις κύριες κατηγορίες: χρόνος πτήσης ή αλλιώς καθυστέρηση διάδοσης (time

of flight), μετατόπιση φάσης (phase shift) και τριγωνισμός λέιζερ (laser triangulation). Αυτές οι τεχνικές σάρωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν ξεχωριστά ή σε συνδυασμό για τη δημιουργία ενός πιο ευέλικτου συστήματος σάρωσης.

- **Χρόνος πτήσης (time of flight)**

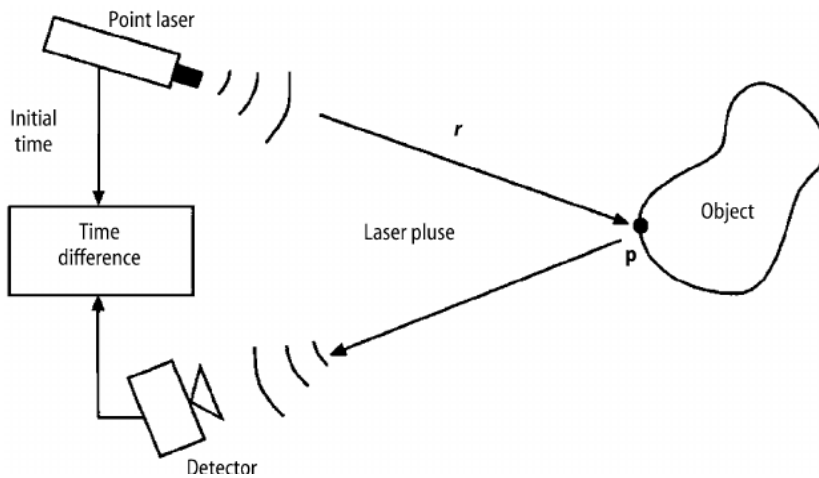
Οι συσκευές που υποστηρίζουν αυτή την τεχνική, βρίσκουν χρήση κυρίως στην αποτύπωση κτιρίων, μνημείων, εξωτερικών χώρων κ.α. για την απόδοση τρισδιάστατων μοντέλων, αποτελούμενων από «νέφη σημείων». Αυτοί οι σαρωτές είναι, επίσης, γνωστοί και ως **LiDAR** (**L**ight **D**etection **A**nd **R**anging ή αλλιώς **L**aser **I**nduced **D**ifferential **A**bsorption **R**adar). Η βασική τους λειτουργία είναι η μέτρηση της απόστασης ενός αντικειμένου ή επιφάνειας με την εκπομπή μιας δέσμης λέιζερ και το χρονικό διάστημα που χρειάζεται η δέσμη αυτή, για να αναπηδήσει πίσω. Η κεφαλή του οργάνου έχει τη δυνατότητα περιστροφής κατά 360° στο οριζόντιο επίπεδο και ειδικά κάτοπτρα που κατευθύνουν τη δέσμη φωτός στο κατακόρυφο επίπεδο, μετρώντας την οριζόντια και κατακόρυφη γωνία.

Δεδομένου ότι η ταχύτητα του φωτός c είναι γνωστή, ο χρόνος που κάνει η δέσμη από το σαρωτή μέχρι την επιφάνεια και πίσω στον αισθητήρα του σαρωτή, καθορίζει την απόσταση διαδρομής, η οποία είναι διπλάσια από την απόσταση μεταξύ του σαρωτή και της επιφάνειας. Εάν t είναι ο χρόνος «ταξιδιού» της δέσμης, τότε η απόσταση είναι ίση με $s = (c \cdot t) / 2$.

Η ακρίβεια ενός τρισδιάστατου σαρωτή λέιζερ σε πραγματικό χρόνο, εξαρτάται από την ακρίβεια που μπορούμε να μετρήσουμε το χρόνο (t): **3,3 picoseconds περίπου ($3,3 \cdot 10^{-12}$ seconds) είναι ο χρόνος που απαιτείται για να διανύσει το φως 1 χιλιοστόμετρο. [19]**

Ο μετρητής ανιχνεύει και καταγράφει την απόσταση ενός σημείου την κάθε φορά (βλ. εικ. 3.4). Έτσι, σαρώνεται ολόκληρο το πεδίο προβολής κατά ένα σημείο τη φορά, αλλάζοντας την κατεύθυνση της δέσμης λέιζερ για να σαρωθούν διαφορετικά σημεία. Η αλλαγή στην κατεύθυνση της δέσμης φωτός μπορεί να αλλάξει είτε με περιστροφή της κεφαλής του οργάνου είτε με τη χρήση συστήματος περιστρεφόμενων κατόπτρων στο εσωτερικό του σαρωτή.

Συνήθως χρησιμοποιείται η τελευταία μέθοδος, διότι τα κάτοπτρα είναι πολύ ελαφρύτερα και μπορούν να περιστραφούν πολύ πιο γρήγορα και με μεγαλύτερη ακρίβεια. Οι τυπικοί 3D σαρωτές λέιζερ μπορούν να μετρήσουν και να αποτυπώσουν 10.000 ~ 100.000 σημεία το δευτερόλεπτο (βλ. εικ. 3.5).



Εικόνα 3.4: Μέτρηση απόστασης *time of flight* [20]



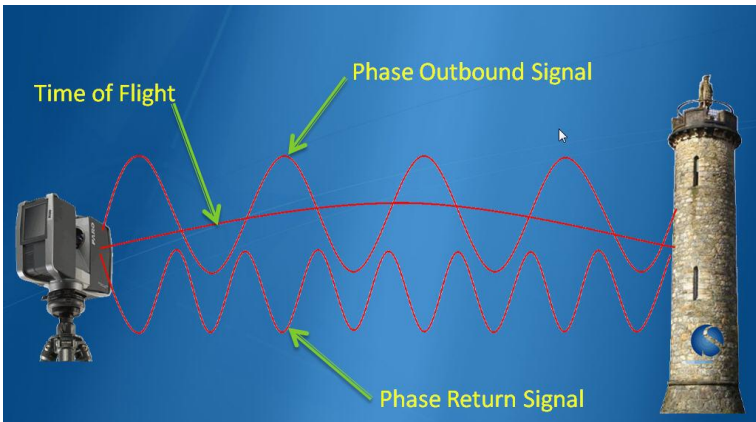
Εικόνα 3.5: Leica ScanStation II Time of Flight 3D Laser Scanner [21]

- **Μετατόπιση φάσης (phase shift)**

Οι σαρωτές λέιζερ μετατόπισης φάσης έχουν πολλά κοινά στοιχεία με την ανίχνευση καθυστέρησης της διάδοσης, εκτός από το ότι η φάση του ανακλώμενου φωτός λέιζερ βελτιώνει την ανίχνευση της απόστασης (βλ. εικ. 3.6). Δουλεύουν συγκρίνοντας κατά πόσο έχει μετατοπιστεί η γωνία του ανακλώμενου φωτός λέιζερ, με μία πρότυπη γωνία.

Στη συγκεκριμένη μέθοδο, η μετατόπιση φάσης μεταξύ του εκπεμπόμενου και λαμβανόμενου σήματος, για ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος, είναι προκαθορισμένη. Η απαιτούμενη απόσταση μπορεί στη συνέχεια να υπολογιστεί ανάλογα με τη μετατόπιση αυτή. Η μέγιστη απόσταση που μπορεί να μετρηθεί από μία συγκεκριμένη διαμόρφωση είναι το μισό του μήκους κύματος αυτής της διαμόρφωσης. Η μέτρηση μέσω μιας διαμόρφωσης με υψηλή συχνότητα δίνει ακριβείς αποστάσεις αλλά μικρότερο εύρος. Η μέτρηση της απόστασης μπορεί να γίνει ασαφής, διότι αυξάνοντας την απόσταση πάνω από τη μέγιστη εμβέλεια, η φάση θα ποικίλλει περιοδικά. Η ασάφεια αυτή, μπορεί εύκολα να αποφευχθεί εάν γίνει μέτρηση με δύο διαφορετικές συχνότητες διαμόρφωσης.

Ενώ η ταχύτητα των σαρωτών μετατόπισης φάσης (βλ. εικ. 3.7) είναι μεγαλύτερη από αυτή των σαρωτών *time of flight*, το νέφος σημείων που θα δημιουργηθεί από τους σαρωτές που χρησιμοποιούν τη μετατόπιση φάσης σαν τεχνική σάρωσης έχει πιο πολύ θόρυβο (σφάλματα και περιττά στοιχεία) σε σχέση με το νέφος σημείων που θα προκύψει από τους άλλους. Το μετρητικό εύρος των σαρωτών που χρησιμοποιούν την *time of flight* μέθοδο (200-300 m) είναι μεγαλύτερη από αυτή των σαρωτών που χρησιμοποιούν τη μετατόπιση φάσης (70-80 m). [22]



Εικόνα 3.6: Σύγκριση τεχνικών phase shift και time of flight [23]

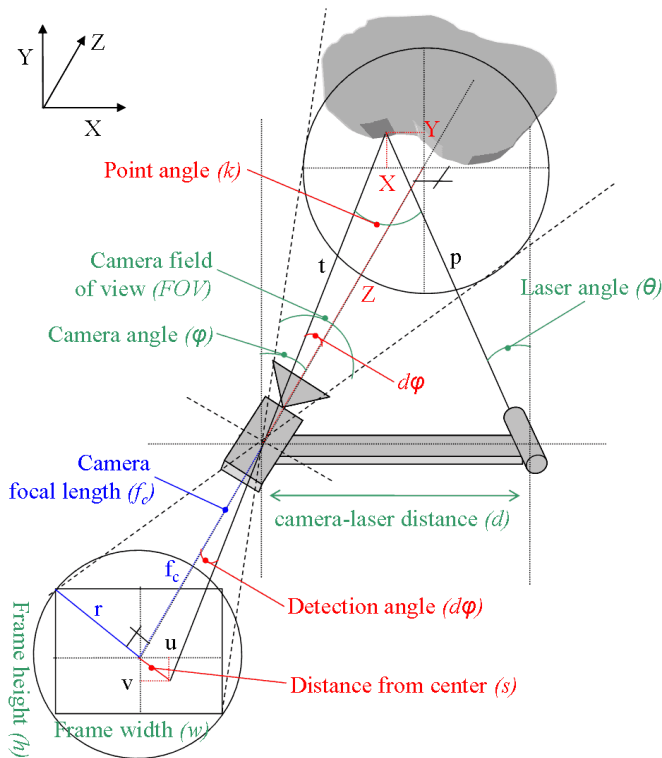


Εικόνα 3.7: Leica HDS7000 Laser Scanner (Phase-Shift Type Scanning) [24]

- **Τριγωνισμός (triangulation)**

Οι σαρωτές που χρησιμοποιούν την τεχνική τριγωνισμού, βασίζονται σε τελείως διαφορετικές αρχές από τους σαρωτές που αναλύθηκαν προηγουμένως. Το όργανο τριγωνισμού εκπέμπει δέσμη λέιζερ προς το εξεταζόμενο αντικείμενο και εκμεταλλεύεται την κάμερα που διαθέτει για να αναζητήσει τη θέση της κουκκίδας λέιζερ πάνω στο αντικείμενο. Ανάλογα με το πόσο μακριά το λέιζερ χτυπά μια επιφάνεια ή ένα αντικείμενο, η κουκίδα λέιζερ εμφανίζεται σε διαφορετικά σημεία στο οπτικό πεδίο της κάμερας. Αυτή η τεχνική ονομάζεται τριγωνισμός, εξαιτίας του τριγώνου που σχηματίζουν η κουκίδα λέιζερ, η κάμερα και ο πομπός λέιζερ (βλ. εικ. 3.8). Το μήκος της μιας πλευράς του τριγώνου, συγκεκριμένα η απόσταση μεταξύ της κάμερας και του πομπού λέιζερ, είναι γνωστή από τον κατασκευαστή του οργάνου. Η γωνία που είναι τοποθετημένος ο πομπός λέιζερ, για την εκπομπή της δέσμης λέιζερ πάνω στο αντικείμενο, καθώς και η γωνία που σχηματίζει η κάμερα στο εσωτερικό του οργάνου, για την ανίχνευση του αντικειμένου, είναι γνωστές για την κάθε μέτρηση. Γνωρίζοντας τη μία πλευρά και τις δύο γωνίες του τριγώνου, μπορούν να καθοριστούν πλήρως το σχήμα και το μέγεθος του τριγώνου, δίνοντας τη θέση της κουκκίδας του λέιζερ στην κεφαλή του τριγώνου.

Οι τεχνολογικά πιο ανεπτυγμένοι σαρωτές τριγωνισμού, αντί για μία κουκίδα λέιζερ, χρησιμοποιούν λωρίδα, αυξάνοντας με αυτό τον τρόπο την ταχύτητα της σάρωσης (βλ. εικ. 3.9).



Εικόνα 3.8: Τεχνική τριγωνισμού [24]



Εικόνα 3.9: Topcon GLS-2000 laser scanner [25]

3.4 Εφαρμογές ενεργητικών ανέπαφων τρισδιάστατων σαρωτών

3.4.1 Σαρωτές χειρός (handheld scanners)

Αυτός ο τύπος σαρωτή χρησιμοποιεί, κατά κύριο λόγο, τη μέθοδο του τριγωνισμού για την αποτύπωση αντικειμένων. Δηλαδή, εκπέμπει λέιζερ πάνω στο αντικείμενο με σχήμα κουκίδας ή λωρίδας και δύο ή περισσότεροι αισθητήρες μετρούν την απόσταση. Η ακρίβεια της αποτύπωσης ενισχύεται χρησιμοποιώντας «στόχους» (αυτοκόλλητες αντανακλαστικές ταινίες) για τη σήμανση σημείων ή αντικειμένων στο χώρο της μελέτης. Τα σημεία που έχουν πάνω τους τη σήμανση αποτελούν κοινά στοιχεία μεταξύ των διαδοχικών σαρώσεων και χρησιμεύουν ως κόμβοι ένωσης για τη δημιουργία του τελικού τρισδιάστατου μοντέλου. Κατά τη διάρκεια της σάρωσης παθητικοί δέκτες καταγράφουν τα χρωματικά δεδομένα των αντικειμένων, έτσι ώστε να αποδοθεί ένα ρεαλιστικό ψηφιακό μοντέλο. Η μοντελοποίηση και η εξαγωγή του τελικού προϊόντος γίνεται σε υπολογιστή με το κατάλληλο λογισμικό BIM, ώστε ο πελάτης να λάβει ένα άρτιο ψηφιακό μοντέλο.

Συχνές εφαρμογές του σαρωτή χειρός (βλ. εικ. 3.10):

- Αρχιτεκτονική και εσωτερικός σχεδιασμός
- Ανακαίνιση και τρισδιάστατος σχεδιασμός
- Κατασκευή και διαχείριση κατασκευών
- Εγκληματολογικές έρευνες
- Αναπαράσταση ατυχημάτων
- Τρισδιάστατη καταγραφή της ροής κατασκευαστικών και άλλων εργασιών



Εικόνα 3.10: Faro freestyle 3d scanner (handheld) [26]

3.4.2 Ιπτάμενη σάρωση LiDAR

Οι ενεργητικοί σαρωτές LiDAR, μπορούν να τοποθετηθούν σε αεροσκάφος και να δουλέψουν συμπληρωματικά με δέκτες όπως οι μηχανές αεροφωτογραφήσεως ή αυτόνομα (βλ. εικ. 3.11). Αυτή η εφαρμογή προσφέρει μια διαφορετική αποτύπωση από αυτήν της συμβατικής φωτογραμμετρίας.

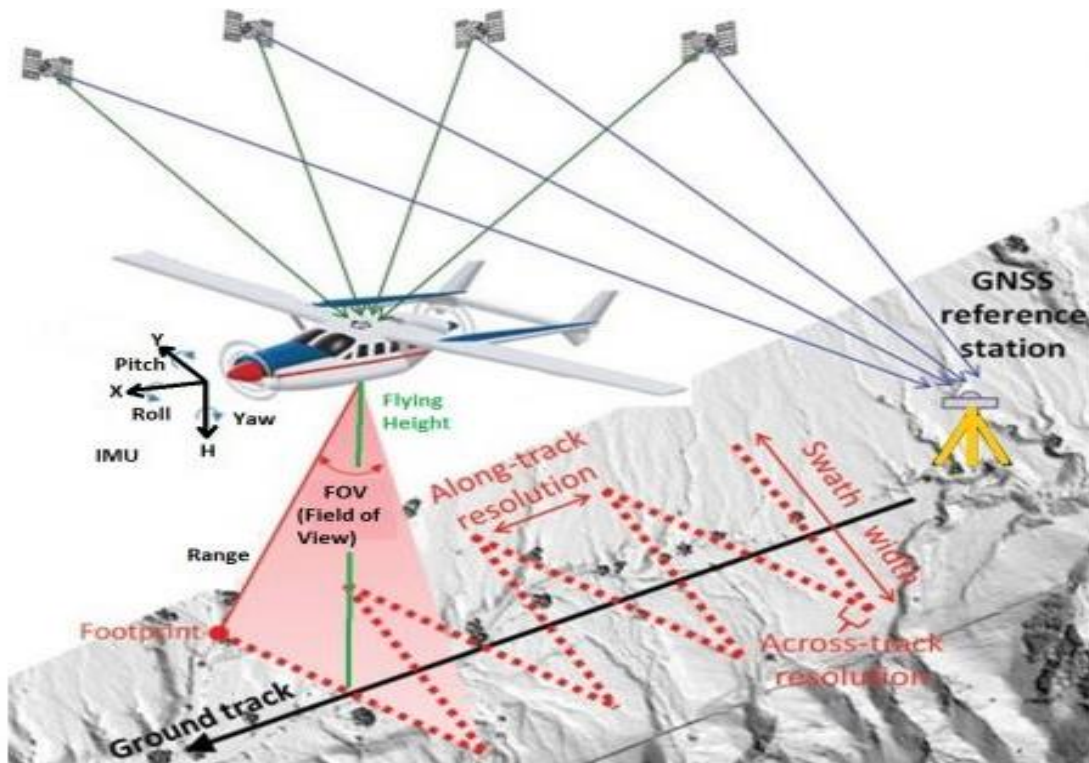
Η συσκευή LiDAR εκπέμπει παλμούς φωτός οι οποίοι ανακλώνται στην επιφάνεια που πρέπει να σαρωθεί και επιστρέφουν στο δέκτη. Χρονόμετρο ακριβείας μετράει το χρόνο της διαδρομής του παλμού και τον μετατρέπει σε απόσταση, χρησιμοποιώντας την τεχνική time of flight. Με τα όργανα του αεροσκάφους που προσδίδουν τη θέση και τον προσανατολισμό του (INS: Inertial Navigation System & GPS: Global Positioning System), καθώς και με την απόσταση που μετρήθηκε, πραγματοποιείται ο προσδιορισμός των συντεταγμένων του στόχου. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα αυτών των σαρωτών είναι ότι αποδίδουν υψόμετρα, κάτι που ήταν αδύνατο μέχρι την εμφάνισή τους.

Τα εναέρια συστήματα LiDAR μπορούν να χρησιμοποιηθούν για:

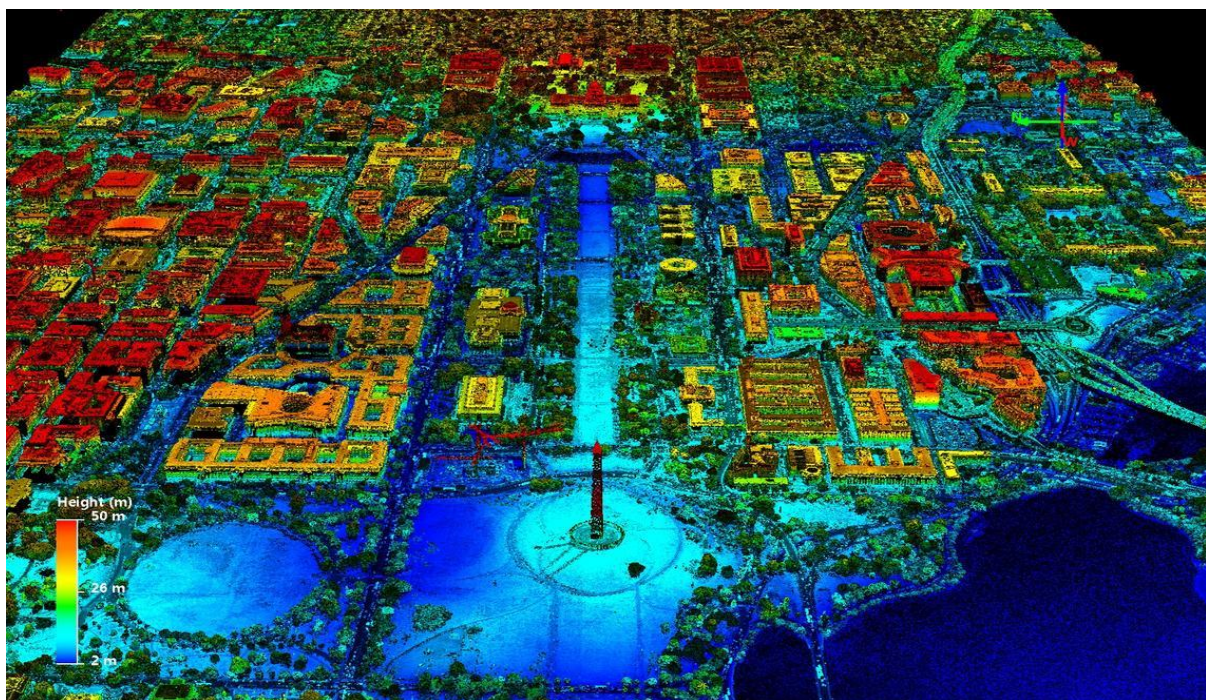
- Αποτύπωση και χαρτογράφηση
- Τρισδιάστατη χαρτογράφηση δρόμων
- Σχεδιασμός αστικού περιβάλλοντος
- Μοντελοποίηση πλημμυρικών φαινομένων
- Διαχείριση δασικών περιοχών και σχεδιασμός
- Υδρογραφία (χρήση υδρογραφικών LiDAR)
- Αρχαιολογία
- Στρατιωτικές επιχειρήσεις – ανίχνευση στόχων

Η φωτογραμμετρία και οι σαρωτές LiDAR, έχουν παρόμοιες εφαρμογές, όμως οι μεταξύ τους διαφορές είναι μεγάλες. Η φωτογραμμετρία δίνει αποδεκτά αποτελέσματα κατά τη διάρκεια της μέρας. Προσφέρει πολλές πληροφορίες για το περιβάλλον της σάρωσης και χρησιμοποιείται κυρίως για οριζοντιογραφική αποτύπωση, καθώς ο προσδιορισμός υψόμετρων είναι μία πολύπλοκη διαδικασία. Τα όργανα LiDAR, μπορούν να σαρώσουν σε οποιαδήποτε ώρα της ημέρας (24ωρη λειτουργία), αλλά το νέφος των σημείων δεν μπορεί να δώσει πληροφορίες για το περιβάλλον της σάρωσης. Αποδίδει τρισδιάστατα το έδαφος, δίνοντας την ακριβή θέση του σαρωμένου αντικειμένου στο χώρο (βλ. εικ. 3.12).

Το μέλλον των εναέριων σαρώσεων LiDAR είναι η ενσωμάτωσή τους σε μη επανδρωμένο αεροσκάφος (Drone).



Εικόνα 3.11: Σάρωση LiDAR [27]



Εικόνα 3.12: Νέφος σημείων LiDAR, Washington DC [28]

3.4.3 Σαρωτές δομημένου φωτός (Structured light scanners)

Αυτοί οι σαρωτές, χρησιμοποιούν ανάλογη τεχνολογία με αυτή του τριγωνισμού. Βασική αρχή της λειτουργίας τους, είναι η εκπομπή λέιζερ σε μορφή λωρίδας ή πλέγματος (κάναβος) και η μελέτη της παραμόρφωσης αυτών των προτύπων πάνω στο αντικείμενο. Η παραμόρφωση του προτύπου ανιχνεύεται από μία κάμερα και ο υπολογισμός της απόστασης από κάθε σημείο πάνω στο πρότυπο πραγματοποιείται με τη χρήση κατάλληλων υπολογιστικών αλγορίθμων.

Όταν το αντικείμενο είναι ιδόρρυθμο στη μορφή του, δηλαδή έχει τρύπες ή πτυχώσεις, υπάρχει πρόβλημα ασάφειας καθώς η ανάλυση γίνεται σε λωρίδες οι οποίες ενδέχεται να κρύβονται ή να αλλάζουν σειρά.[19] Για την επίλυση αυτού του προβλήματος, χρησιμοποιείται η τεχνολογία της χρήσης αλγορίθμων **MLT (Multistripe Laser Triangulation)**.

Το βασικότερο πλεονέκτημα αυτών των σαρωτών (βλ. εικ. 3.13) είναι η ταχύτητά τους. Μπορούν να σαρώσουν ολόκληρο το οπτικό πεδίο με μία λήψη και επί πλέον μπορούν να σαρώσουν σε πραγματικό χρόνο.



Εικόνα 3.13: Σαρωτής δομημένου φωτός David SLS-2 [29]

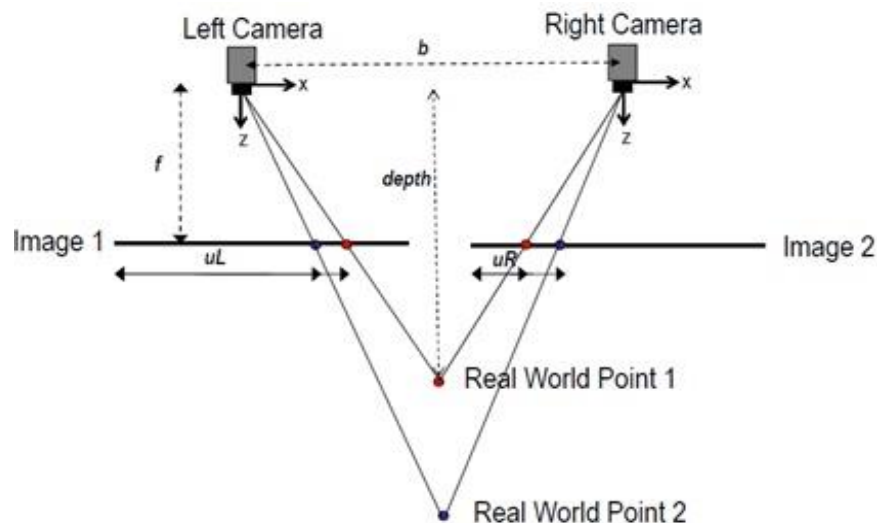
3.5 Παθητικές τεχνικές σάρωσης

Οι τεχνικές αυτές χρησιμοποιούν απλές ψηφιακές κάμερες, πράγμα που καθιστά τους σαρωτές αυτού του τύπου φθηνότερη επιλογή από αυτούς που χρησιμοποιούν ενεργητικές τεχνικές. Βασίζονται στην ανακλώμενη ακτινοβολία του περιβάλλοντος ανιχνεύοντας το ορατό φως, επομένως δεν ακτινοβολούν ενέργεια με τη μορφή δέσμης φωτός στο αντικείμενο.

3.5.1 Εφαρμογές παθητικών ανέπαφων τρισδιάστατων σαρωτών

- Στερεοσκοπικό σύστημα (Stereoscopic system)

Χρησιμοποιούν συνήθως δύο βιντεοκάμερες, ελαφρώς διαφορετικές, κοιτάζοντας την ίδια σκηνή (βλ. εικ. 3.14). Αν αναλύσουμε τις μικρές διαφορές μεταξύ των εικόνων που βλέπουμε σε κάθε κάμερα, είναι δυνατό να καθορίσουμε την απόσταση από κάθε σημείο των εικόνων. Αυτή η μέθοδος βασίζεται στις ίδιες αρχές στις οποίες στηρίζεται η ανθρώπινη στερεοσκοπική όραση. [19]

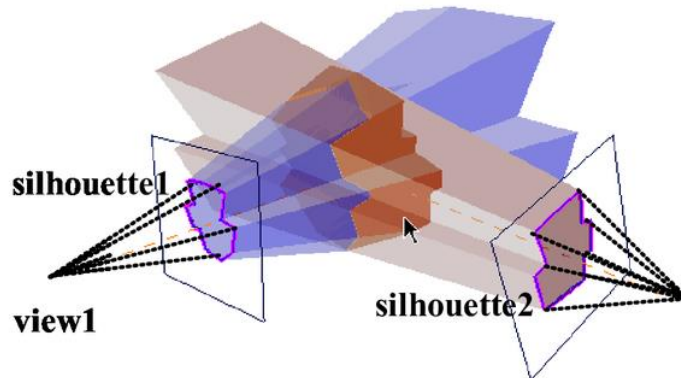


Εικόνα 3.14: Στερεοσκοπικό σύστημα [30]

- Τεχνική σκιαγράφησης (Silhouette technique)

Χρησιμοποιούνται τα περιγράμματα που δημιουργήθηκαν από μια ακολουθία φωτογραφιών γύρω από το αντικείμενο που θα αποτυπωθεί, σε ένα καλά αντιπαραβαλλόμενο υπόβαθρο. Αυτά τα περιγράμματα διασταυρώνονται για να σχηματίσουν την οπτική προσέγγιση του

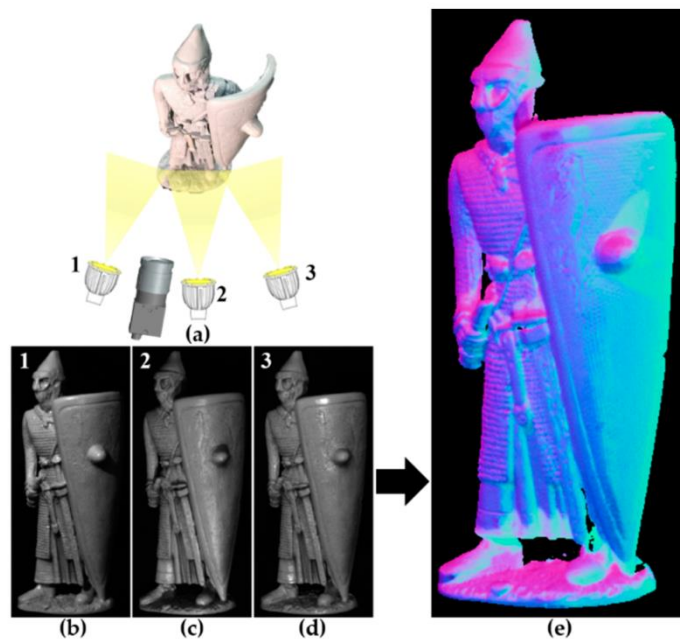
αντικειμένου (βλ. εικ. 3.15). Το αρνητικό αυτής της τεχνικής είναι ότι με αυτές τις προσεγγίσεις δεν μπορούν να αποδοθούν οι κοιλότητες ενός αντικειμένου.



Εικόνα 3.15: Τεχνική σκιαγράφησης [31]

- **Φωτομετρικό σύστημα (Photometric system)**

Χρησιμοποιείται συνήθως μία κάμερα, αλλά λαμβάνονται πολλές εικόνες υπό διαφορετικές συνθήκες φωτισμού (βλ. εικ. 3.16). Αυτές οι τεχνικές επιχειρούν να αντιστρέψουν το μοντέλο σχηματισμού εικόνας προκειμένου να ανακτήσουν τον προσανατολισμό της επιφάνειας σε κάθε εικονοστοιχείο.



Εικόνα 3.16: Φωτομετρικό σύστημα [32]

3.6 Παραδείγματα Μελετών με 3d laser scanner

3.6.1 Εικονική ανασυγκρότηση και μελέτη αποκατάστασης του αρχαίου ρωμαϊκού θεάτρου της Νικόπολης [33]

Η μελέτη αυτή πραγματοποιήθηκε με τη χρήση τρισδιάστατου σαρωτή και φωτογραμμετρικών τεχνικών από τους αρχιτέκτονες Θ. Μπιλή, Τ. Κουίμτζόγλου, Μ. Μαγνήσαλη και τον Τοπογράφο Μηχανικό Π. Τοκμακίδη. Η εκπόνησή της είχε σκοπό να καταστεί σαφής η πρόταση της αποκατάστασης του μνημείου, για το ευρύ κοινό και για τις αρμόδιες αρχές.

Το θέατρο της Νικόπολης βρίσκεται στην Ήπειρο, κοντά στην πόλη της Πρέβεζας. Η ανέγερσή του στις αρχές του 1^{ου} μ.χ. αιώνα έγινε από τον αυτοκράτορα Οκταβιανό με σκοπό την αναβίωση των «Ακτίων», αγώνων με θρησκευτικό χαρακτήρα προς την τιμή του Απόλλωνα. Το θέατρο ανασυγκροτήθηκε κατά τον 2^ο μ.χ. αιώνα και έγινε ακόμα πιο πολυτελές, με ένα τεράστιο σύστημα σκίασης και χωρητικότητα 8.000 θεατών. Η μεγάλη κλίμακα αρκετών τμημάτων του μνημείου είναι εντυπωσιακή, καθιστώντας το μεγαλύτερο σε μέγεθος και χωρητικότητα από το Ωδείο Ηρώδου του Αττικού.

Το θέατρο έχασε τον λειτουργικό του σκοπό αλλά και τη συμβολική του αξία με την πάροδο του χρόνου (βλ. εικ. 3.17). Τα πολυτελή υλικά έχουν αφαιρεθεί και ο χρόνος καθώς και οι ανθρώπινες παρεμβάσεις, έχουν αφήσει το μνημείο με αρκετά αρχιτεκτονικά και δομικά προβλήματα. Βασικός στόχος αυτής της μελέτης είναι η παρουσίαση και αποκατάσταση της αρχικής αρχιτεκτονικής μορφής του μνημείου (βλ. εικ. 3.18). Είναι δύσκολο να συλληφθεί η ιδέα της αρχικής μορφής του κτιρίου εξαιτίας της σχεδόν πλήρους απώλειας μαρμάρου, της ανεπάρκειας σε αρχιτεκτονική επένδυση και της σοβαρής απώλειας μεγάλων τμημάτων της αρχικής του δομής. Σπάνιο και αξιοθαύμαστο είναι ότι πολλά δομικά στοιχεία καθορίζουν ακριβώς τη διάσταση του ύψους της αρχαίας κατασκευής, κάτι πολύ σπάνιο για ένα μνημείο της αρχαιότητας.

Μηχανισμοί καταστροφής, όπως οι ερπυσμοί και οι ανισότροπες συμπεριφορές των θεμελίων, κυρίως λόγω της αστάθειας του εδάφους και της πίεσης του ολισθηρού εδάφους του λόφου, αλλά και λόγω της σεισμικής δραστηριότητας της περιοχής, έχουν προκαλέσει σοβαρές ζημιές και παραμορφώσεις στο οριζόντιο και κατακόρυφο επίπεδο του μνημείου.

Για την αποτύπωση του μνημείου χρησιμοποιήθηκε μία μέθοδος που συνδυάζει τη φωτογραμμετρία και τη τρισδιάστατη σάρωση. Με αυτό τον τρόπο δημιουργήθηκε ένα υψηλότερο επίπεδο λεπτομέρειας, χρήσιμο για τη μελέτη των βλαβών της κατασκευής, καθώς τέτοιου είδους αρχαίες κατασκευές αποτελούνται από μικρότερα δομικά μέρη. Οι στόχοι της αποκατάστασης του θεάτρου κρύβουν μία πολυπλοκότητα ως προς την εφαρμογή τους, κάτι που λύνουν οι ψηφιακές εφαρμογές δημιουργώντας, μέσω των οπτικών αποτελεσμάτων, ένα διαδραστικό οπτικό προϊόν.

Το τρισδιάστατο μοντέλο της πρότασης χρησιμοποιήθηκε για την καλύτερη κατανόηση της μορφής της αποκατάστασης και των επιπτώσεων αυτής στο μνημείο και τον περιβάλλοντα χώρο. Το τελικό μοντέλο είναι η συναρμογή του αρχικού τοπογραφικού 3d μοντέλου και της τρισδιάστατης γεωμετρίας της προτεινόμενης αποκατάστασης, η οποία εξελίχθηκε παράλληλα με την αρχιτεκτονική μελέτη.



Εικόνα 3.17: Αρχαίο θέατρο Νικόπολης[34]



Εικόνα 3.18: Τρισδιάστατη αναπαράσταση της πρότασης για αποκατάσταση [33]

Οι μελετητές πιστεύουν πως η ακριβής τεκμηρίωση των παραμορφώσεων και ελαττωμάτων αυτής της έντονα ενισχυμένης κατασκευής, παρέχουν τις απαραίτητες πληροφορίες για τον αρχικό αρχιτεκτονικό σχεδιασμό. Για τη μέγιστη ακρίβεια και την τεκμηρίωση αυτής της πρότασης, οι παραδοσιακές μέθοδοι αποτύπωσης και τοποθέτησης της μελέτης στο χώρο, ενισχύθηκαν με τη χρήση τρισδιάστατου σαρωτή και των απαραίτητων λογισμικών για την ψηφιακή ανακατασκευή και αναδιαμόρφωση του θεάτρου (βλ. εικ. 3.19 & 3.20). Επομένως, διαμορφώνεται με αυτό το ψηφιακό μοντέλο η γνώση του πώς θα μοιάζει το μνημείο μετά την αποκατάστασή του, πολύ πριν ξεκινήσουν οι εργασίες, ώστε να ληφθούν οι καλύτερες δυνατές αποφάσεις.



Εικόνα 3.19: Νέφος σημείων του θεάτρου [33]



Εικόνα 3.20: Νέφος σημείων τοίχου [33]



Εικόνα 3.21: Το σκηνικό οικοδόμημα του θεάτρου της Νικόπολης, άποψη από δυτικά [34]



Εικόνα 3.22: Ο τοίχος της περιμετρικής στοάς του θεάτρου. Διακρίνονται μορφολογικά στοιχεία και παραμορφώσεις. Η κατασκευή διατηρεί σε μεγάλο ποσοστό το αρχικό της ύψος [34]

Προκειμένου να καταγραφεί η αρχική κατάσταση του μνημείου, συνδυάστηκαν ένας τρισδιάστατος σαρωτής λέιζερ και φωτογραμμετρικές τεχνικές. Το πρώτο βήμα ήταν η συμπλήρωση ενός χάρτη του μνημείου με τη γύρω περιοχή για να προγραμματιστεί το υπόλοιπο της έρευνας. Για το σκοπό αυτό η ταχύτερη μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν η αεροφωτογραφία με τη χρήση UAV.

Δεκάξι τεχνητοί στόχοι τοποθετήθηκαν στην ευρύτερη περιοχή του μνημείου και μέσα σε αυτό, όλοι μετρήθηκαν με δέκτη GNSS (Global Navigation Satellite System) χρησιμοποιώντας την τεχνική Network RTK, με μέσο όρο 30 μετρήσεων ανά σημείο στόχου. Στη συνέχεια η πτήση UAV σχεδιάστηκε σε χάρτη και τέλος το UAV ακολούθησε αυτόνομα τα σχέδια πτήσης για τη λήψη των αεροφωτογραφιών. Χρειάστηκαν τρεις πτήσεις για να συλλέξει φωτογραφίες ολόκληρης της σκηνής από ύψος περίπου 30 μέτρων. Το UAV ταξινόμησε όλες τις εικόνες χρησιμοποιώντας τον ενσωματωμένο δέκτη GNSS. Το αποτέλεσμα αυτής της ροής εργασιών ήταν η δημιουργία ενός ψηφιακού 3d μοντέλου εδάφους της γύρω περιοχής και ενός ορθοφωτοχάρτη.

Ο ορθοφωτοχάρτης τυπώθηκε και χρησιμοποιήθηκε για τον προγραμματισμό των μετρήσεων με τον σαρωτή λέιζερ. Έγιναν 65 σαρώσεις μέσα στα σκηνικά και το κοίλο του θεάτρου και άλλες 69 για την περίμετρο του κοίλου. Χρησιμοποιήθηκαν σφαιρικοί στόχοι ως κοινά σημεία μεταξύ των σαρώσεων, ορισμένοι από τους οποίους χρησιμοποιήθηκαν και για τη λήψη των φωτογραφιών με το UAV. Τέλος, προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερη έγχρωμη λεπτομέρεια στην τελική τρισδιάστατη απεικόνιση, όλες οι όψεις έχουν

φωτογραφηθεί χρησιμοποιώντας ψηφιακή φωτογραφική μηχανή DSLR (Digital Single-Lens Reflex).

Τα αποτελέσματα της μελέτης ήταν ένα λεπτομερές τρισδιάστατο νέφος σημείων ολόκληρου του μνημείου, ένα σχέδιο δαπέδου, υψόμετρα και διατομές σε συγκεκριμένες περιοχές και ένα σχέδιο ανύψωσης της περιμέτρου του κοίλου. Η σάρωση με λέιζερ σαρωτή αποτέλεσε ανεκτίμητο εργαλείο, για την αξιολόγηση της υπάρχουσας κατάστασης του μνημείου και τη διαμόρφωση της πρότασης για την αποκατάστασή του, βελτιώνοντας την ακρίβεια της αρχιτεκτονικής μελέτης και αποκαλύπτοντας την αρχική μορφή του κτιρίου. Όλα αυτά τα εργαλεία στη διάθεση του μηχανικού, δεν του προσφέρουν μόνο τη δυνατότητα να αποδώσει με ακρίβεια την ιδέα του, αλλά και να κάνει την πρότασή του απολύτως κατανοητή από το ευρύτερο κοινό.

Συγκεντρωτικά η μελέτη περιλαμβάνει: [34]

- Πλάνο εξέλιξης των ανασκαφικών τομών.
- Αποτυπώσεις των απαραίτητων συνόλων και λεπτομερειών για την εκπόνηση της πρότασης (Έχει εκπονηθεί ήδη μελέτη τρισδιάστατης σάρωσης μόνο για τμήμα του μνημείου η οποία, όμως, χρειάζεται ενημέρωση, επέκταση και απόδοση της σε αρχιτεκτονικά σχέδια).
- Σχέδια αναπαράστασης της αρχικής μορφής του μνημείου (με επισήμανση του βαθμού βεβαιότητας κατά τμήματα).
- Σχέδια παθολογίας και χαρακτηρισμού επικινδυνότητας των περιοχών του μνημείου.
- Πρόταση καθορισμού των ορίων του αρχαιολογικού χώρου μετά το πέρας του έργου.
- Πρόταση κίνησης του κοινού μέσα και γύρω από το μνημείο σε επίπεδο οριστικής μελέτης με επιλογή μορφής και υλικών των διαδρόμων.
- Πρόταση διαμόρφωσης του κοίλου (χώροι θέασης, διάδρομοι κίνησης κοινού) σε επίπεδο οριστικής.
- Πρόταση του αρχιτεκτονικού ζητήματος διαχείρισης του σκηνικού οικοδομήματος σε επίπεδο προμελέτης
- Πρόταση μερικής αποκατάστασης του περιμετρικού ορίου – εξωτερικές αντηρίδες.
- Πρόταση αποκατάστασης των αναλημματικών τοίχων

Παράλληλα πρέπει να εκπονηθούν :

- Πρόταση εργοταξιακών διατάξεων ανύψωσης, μετακίνησης και ανάταξης λιθοσωμάτων σε επίπεδο οριστικής μελέτης.
- Στατική επίλυση της αποκατάστασης των αναλημματικών τοίχων.

- Μελέτη συντήρησης υλικών της αποκατάστασης των αναλημματικών τοίχων-συνδετικών στερεωτικών κονιαμάτων θόλων.
- Μελέτη ψηφιακής σάρωσης

Προϋπολογισμός μελετών - εργασιών

Μελέτη	Κόστος μελετών
Αρχιτεκτονική μελέτη αποκατάστασης θεάτρου Νικόπολης	€ 75.000,00
Μελέτη εργοταξιακών διατάξεων ανύψωσης, μετακίνησης και ανάταξης λιθοσωμάτων σε επίπεδο οριστικής μελέτης	€ 15.000,00
Στατική μελέτη αποκατάστασης των αναλημματικών τοίχων	€ 11.000,00
Μελέτη συντήρησης υλικών της αποκατάστασης των αναλημματικών τοίχων - συνδετικών στερεωτικών κονιαμάτων θόλων	€ 12.000,00
Μελέτη τρισδιάστατης απεικόνισης και απόδοσης	€ 12.000,00
Σύνολο 1	€ 125.000,00
Ανασκαφικές εργασίες και ΦΠΑ μελετών	€ 75.000,00
Σύνολο	€ 200.000,00

Συντάκτης : Θεμιστοκλής Μπιλής, Αρχιτέκτων μηχανικός Ε.Μ.Π. MSc

3.6.2 Τρισδιάστατη αποτύπωση Βυζαντινού ναού των Αγίων Αποστόλων Θεσσαλονίκης [35]

Η αποτύπωση του ναού με σαρωτή Laser, πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας του κ. Κατσούλη Ε. Γεώργιου. Η εργασία εκπονήθηκε το 2013 για το Αριστοτέλειο πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης και συγκεκριμένα για το πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών «Γεωπληροφορική», με επιβλέποντα Καθηγητή τον κ. Τοκμακίδη Κωνσταντίνο.

Ο ναός των αγίων Αποστόλων βρίσκεται στο δυτικό τμήμα της Θεσσαλονίκης, νοτιοανατολικά από τη Ληταία Πύλη και κοντά στα δυτικά τείχη της πόλης. Προσεγγιστικά οι συντεταγμένες του ναού είναι 40°38'34.00" Β, 22°56'14.86" Α (WGS '84). Κτίστηκε στις αρχές του 14^{ου} αιώνα (1312-1325), την εποχή των Παλαιολόγων. Το 1430 η Θεσσαλονίκη αλώθηκε από τους Τούρκους και το 1432 ο ναός μετατράπηκε σε τζαμί, ονόματι Σοούκ-Σου, δηλαδή τζαμί του κρύου νερού. Μετά την απελευθέρωση και συγκεκριμένα τον 19^ο αιώνα, ο ναός με το όνομα Άγιοι Απόστολοι, επανήλθε στην αρχική του χρήση. Το 1978, μετά από σεισμικές δραστηριότητες πραγματοποιήθηκαν εργασίες αναστήλωσης. Από το 1988 ο ναός συμπεριλήφθηκε στα Παλαιοχριστιανικά και Βυζαντινά μνημεία της Θεσσαλονίκης, που αποτελούν ελληνικά μνημεία παγκόσμιας κληρονομιάς της Unesco. Τέλος, το 2002, έγιναν εργασίες καθαρισμού των ψηφιδωτών ώστε να αναδειχθεί ο χρωματικός τους πλούτος.

Για την αποτύπωση του ναού χρησιμοποιήθηκε ο σαρωτής μετατόπισης φάσης Laser Focus 3D της εταιρείας Faro.

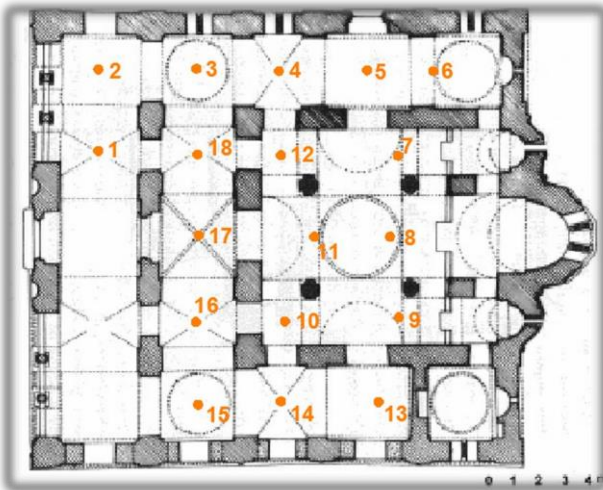
Μετρήσεις πεδίου:

Οι μετρήσεις για την αποτύπωση είχαν διάρκεια τρεις μέρες. Ο συνολικός αριθμός στάσεων του οργάνου, εσωτερικά και εξωτερικά του ναού, ήταν 48 και ο συνολικός χρόνος των μετρήσεων κάλυψε 16 ώρες.

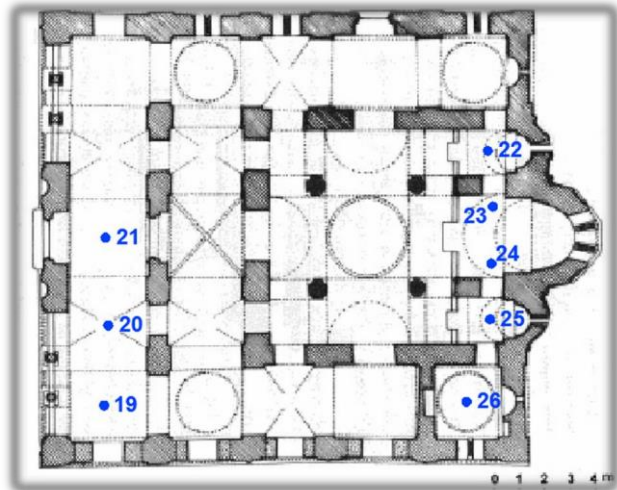
- 1^η ημέρα μετρήσεων (εσωτερικό του ναού): Πραγματοποιήθηκαν 18 σαρώσεις σε διάστημα περίπου 4 ωρών στο εσωτερικό του ναού (βλ. εικ. 3.23). Η διάρκεια της κάθε μέτρησης ήταν περίπου 6 λεπτά και το εύρος της αποτύπωσης 360°. Για την σύνδεση των σαρώσεων μεταξύ τους χρησιμοποιήθηκαν ειδικοί επίπεδοι στόχοι που τοποθετήθηκαν διάσπαρτα σε απόσταση μεγαλύτερη των 60cm από το όργανο και με δυνατότητα θέασης τους από δύο τουλάχιστον διαδοχικές σαρώσεις.
- 2^η ημέρα μετρήσεων (εσωτερικό και εξωτερικό του ναού): Πραγματοποιήθηκαν 24 σαρώσεις, 8 εσωτερικά και 16 εξωτερικά σε διάστημα περίπου 7 ωρών (βλ. εικ. 3.24 & 3.25). Εσωτερικά του ναού αποτυπώθηκε τμήμα του έξω νάρθηκα και το Ιερό. Για την αποτύπωση του Ιερού, δεν χρησιμοποιήθηκαν οι ειδικοί στόχοι αλλά κοινές επιφάνειες, με σκοπό να μην γίνουν

παρεμβάσεις στον χώρο αυτό. Εξωτερικά του ναού αποτυπώθηκε όλη η πρόσοψη, καθώς και τμήματα των τρούλων και της σκεπής.

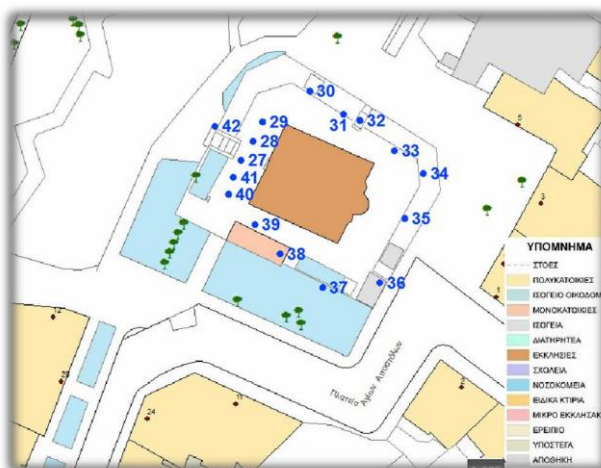
- 3^η ημέρα μετρήσεων (η στέγη του ναού): Πραγματοποιήθηκαν 6 σαρώσεις σε διάστημα περίπου 4 ωρών, περιμετρικά του ναού, πάνω σε ταράτσες παρακείμενων οικοδομών με σκοπό την αποτύπωση της στέγης και των τρούλων (βλ. εικ. 3.26).
- Προβλήματα και δυσκολίες της αποτύπωσης: Οι δυσκολίες που αντιμετωπίστηκαν αφορούσαν το ωράριο λειτουργίας του ναού, με αποτέλεσμα να δαπανηθεί περισσότερος χρόνος στο πεδίο και συγκεκριμένα μία ακόμα μέρα για την αποτύπωση του εσωτερικού του ναού. Επίσης, δεν υπήρχε πρόσβαση στη στέγη του ναού και η στέγη της δυτικής όψης, δεν αποτυπώθηκε ικανοποιητικά, λόγω μη ύπαρξης ψηλού κτιρίου στην δυτική πλευρά του.



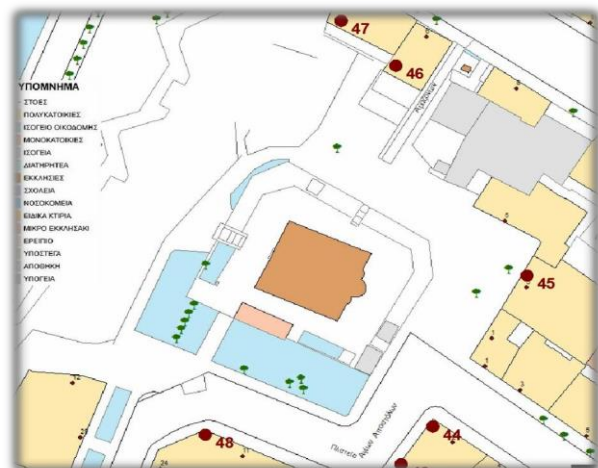
Εικόνα 3.23: 1^η ημέρα μετρήσεων [35]



Εικόνα 3.24: 2^η ημέρα μετρήσεων [35]



Εικόνα 3.25: 2^η ημέρα μετρήσεων [35]

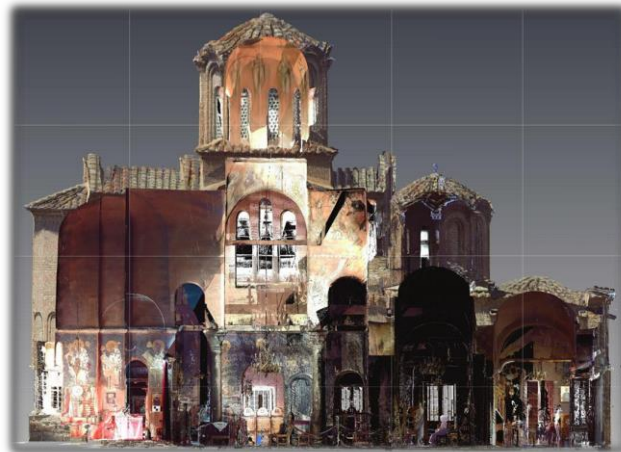


Εικόνα 3.26: 3^η ημέρα μετρήσεων [35]

Η διαδικασία της συνένωσης των νεφών σημείων υλοποιήθηκε σε τρία στάδια. Αρχικά έγινε η συνένωση του εσωτερικού του ναού, έπειτα του εξωτερικού με το εσωτερικό και τέλος της σκεπής με το εξωτερικό (βλ. εικ. 3.27 & 3.28).



Εικόνα 3.27: Εξωτερικές λήψεις του ναού [35]



Εικόνα 3.28: Η Α-Δ τομή του ναού [35]

Σύγκριση τρισδιάστατης σάρωσης με τοπογραφική μέθοδο:

α/α	ΚΑΤΟΨΗ			ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ		
	Μέθοδος με Σαρωτή Laser	Τοπογραφική Μέθοδος	Διαφορές	Μέθοδος με Σαρωτή Laser	Τοπογραφική Μέθοδος	Διαφορές
	S(m)	S(m)	ΔS(cm)	S(m)	S(m)	ΔS(cm)
1	19.3735	19.3227	5.08	19.3635	19.4050	4.15
2	17.5662	17.535	3.12	5.339	5.36	2.1
3	13.3148	13.3829	6.81	2.2297	2.224	0.57
4	3.2485	3.2088	3.97	19.3635	19.3910	2.75
5	5.7481	5.7364	1.17	3.7203	3.6306	8.97
	M.O. = 4.03cm RMSE = 4.45cm			M.O. = 3.71cm RMSE = 4.69cm		
α/α	ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ			ΤΟΜΗ Α-Δ		
	Μέθοδος με Σαρωτή Laser	Τοπογραφική Μέθοδος	Διαφορές	Μέθοδος με Σαρωτή Laser	Τοπογραφική Μέθοδος	Διαφορές
	S(m)	S(m)	ΔS(cm)	S(m)	S(m)	ΔS(cm)
1	17.6039	17.5503	5.36	15.7992	15.773	2.62
2	5.3023	5.3102	0.79	7.3492	7.402	5.28
3	10.8849	10.9035	1.86	6.4986	6.534	3.54
4	4.9299	4.8726	5.73	5.7660	5.7	6.6
5	10.4262	10.3528	7.34	10.9445	10.93	1.45
	M.O. = 4.22cm RMSE = 4.89cm			M.O. = 3.9cm RMSE = 4.31cm		
	M.O. = 3.96cm RMSE = 4.59cm					

Πίνακας 3.2: Σύγκριση μέτρησης αποστάσεων με laser scanner και με τοπογραφική μέθοδο

Μεταξύ των δύο μεθόδων υπάρχουν διαφορές όσων αφορά τις αποστάσεις και το τελικό προϊόν της αποτυπώσεως. Συγκεκριμένα, στις αποστάσεις παρατηρείται μια διαφορά της τάξεως των 4-5cm, που οφείλεται στη διαφορετική ακρίβεια των μεθόδων καθώς και στο γεγονός ότι ο σαρωτής laser αποτυπώνει εκατομμύρια σημεία σε κάθε του λήψη. Το συμπέρασμα που εξήλθε από αυτή τη σύγκριση είναι ότι η αποτύπωση με το σαρωτή είναι καταλληλότερη για αποτυπώσεις όψεων και αρχιτεκτονικών λεπτομερειών, ενώ η τοπογραφική ενδείκνυται για τις αποτυπώσεις αρχαιολογικών χώρων ή για εξαρτήσεις των μετρήσεων του τρισδιάστατου σαρωτή.

Στερεοσκοπικές λήψεις με 3D κάμερα:

Για την προσθήκη τρισδιάστατων στοιχείων με αρχιτεκτονικές λεπτομέρειες στο τελικό προϊόν, κρίθηκε αναγκαία η αποτύπωση με τη χρήση 3D κάμερας (βλ. εικ. 3.29 & 3.30). Με τη τεχνολογία της ανάγλυφης 3D εικόνας υπήρχε η δυνατότητα στερεοσκοπικής θέασης των αντικειμένων. Η φωτογραφική μηχανή που χρησιμοποιήθηκε είναι η Fujifilm Real 3D W1.



Εικόνα 3.29: Στερεοσκοπική εικόνα κιονόκρανου [35]

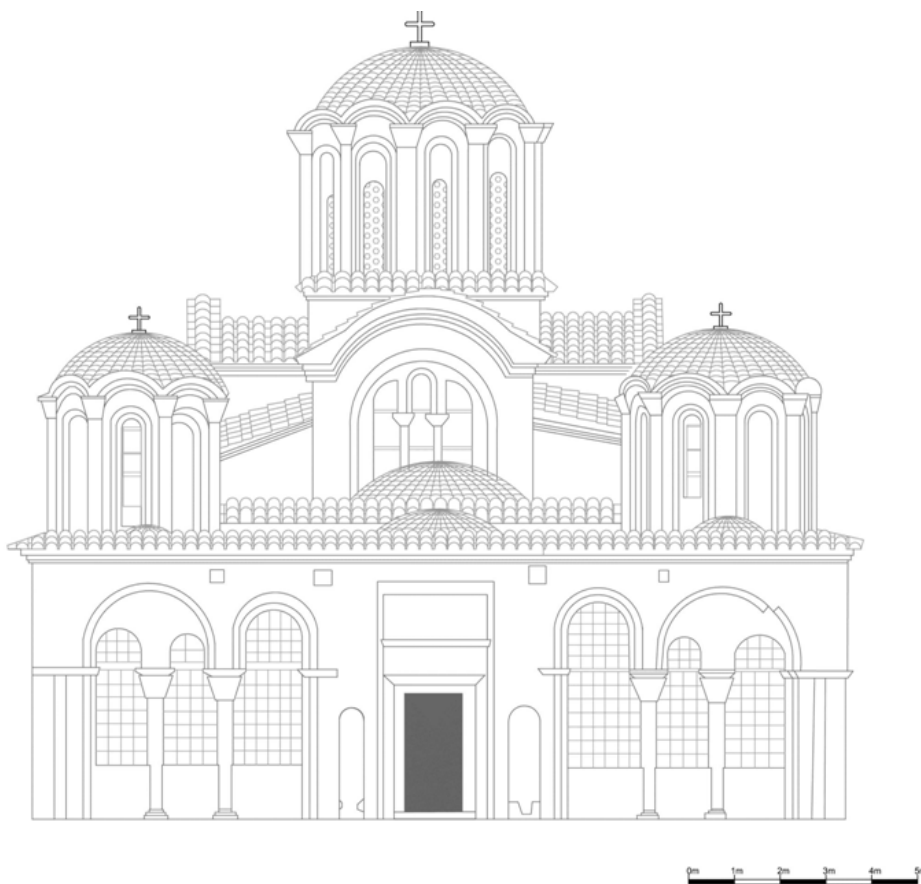


Εικόνα 3.30: Στερεοσκοπική εικόνα του τρούλου [35]

Συμπεράσματα εργασίας

Διαμέσου της αποτύπωσης μνημειακής πολιτιστικής κληρονομιάς, όπως είναι ο Βυζαντινός ναός των Αγίων Αποστόλων Θεσσαλονίκης, παρουσιάστηκε η δυνατότητα που παρέχει η σύγχρονη μετρητική τεχνολογία. Η επιλογή του laser scanner ελαχιστοποίησε την παραμονή στο πεδίο σε σύγκριση με έναν γεωδαιτικό σταθμό που θα απαιτούσε περισσότερες εργατώρες. Η αποτύπωση με το σαρωτή έδωσε αποτελέσματα μεγάλης ακριβείας, η επεξεργασία των οποίων ήταν γρηγορότερη από τη φωτογραμμετρική μέθοδο, η οποία θα απαιτούσε πολύ χρόνο στο γραφείο.

Η ποιότητα του τελικού προϊόντος, η ακρίβεια και η ταχύτητα έναντι άλλων μεθόδων, καθιστούν τον σαρωτή laser το καταλληλότερο εργαλείο για την αποτύπωση αρχιτεκτονικών λεπτομερειών. Το μειονέκτημα της μεθόδου είναι το μεγάλο κόστος του εξοπλισμού πεδίου. Τέλος, παρατηρήθηκε ότι ο συνδυασμός του σαρωτή με άλλες μεθόδους και εργαλεία μπορεί να μειώσει το κόστος, αυξάνοντας ταυτοχρόνως την ταχύτητα της αποτυπώσεως.



ΦΟΡΕΑΣ	ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΤΜΗΜΑ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΒΥΖΑΝΤΙΝΟΥ ΝΑΟΥ ΤΩΝ ΑΓΙΩΝ ΑΠΟΣΤΟΛΩΝ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΜΕ ΣΑΡΩΤΗ LASER
ΘΕΣΗ	Ι.Ν. ΑΓΙΩΝ ΑΠΟΣΤΟΛΩΝ, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
ΕΚΠΟΝΗΤΗΣ	ΚΑΤΣΟΥΛΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΣ ΦΟΙΤΗΤΗΣ ΤΑΤΜ
ΕΠΙΒΛΕΨΩΝ	ΤΟΚΜΑΚΙΔΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΤΑΤΜ ΑΠΘ
ΘΕΜΑ ΣΧΕΔΙΟΥ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ
ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ ΝΑΟΥ	6
	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2013

Εικόνα 3.31: Δυτική όψη ναού [35]

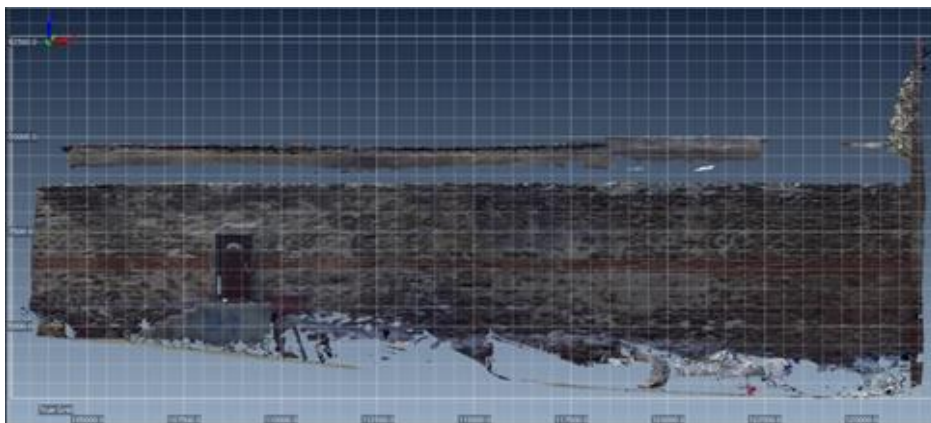
3.6.3 Αποτύπωση τμήματος των Βυζαντινών τειχών της Θεσσαλονίκης με laser scanner [36]

Η αποτύπωση των Βυζαντινών τειχών, πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας του κ. Παυλίδη Μιλτιάδη. Η εργασία εκπονήθηκε το 2011 για το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης και συγκεκριμένα για το Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Γεωπληροφορική», με κατεύθυνση τις τοπογραφικές εφαρμογές υψηλής ακρίβειας και επιβλέποντα Καθηγητή τον κ. Τοκμακίδη Κωνσταντίνο.

Τα τείχη της Θεσσαλονίκης αποτελούν σημαντικό στοιχείο της οχύρωσης της βυζαντινής πόλης με μοναδική αρχαιολογική, αρχιτεκτονική και καλλιτεχνική σημασία. Η περίμετρός τους ήταν περίπου 7 χιλιόμετρα από τα οποία έχουν διασωθεί μόνο 3 χιλιόμετρα. Με ύψος από 8,3m έως 10,5m, είναι χτισμένα με πέτρες και κονίαμα και στο σχεδιασμό τους υπάρχουν επαναλαμβανόμενες σειρές από πλατιές οριζόντιες ζώνες τούβλων που αυξάνουν τη στερεότητά και λειαίνουν την επιφάνεια του τείχους. Επιπλέον, υπάρχουν επαναλαμβανόμενα τυφλά πλινθόκτιστα τόξα σε τμήματα του τείχους. Κατά την περίοδο της τουρκοκρατίας οικοδομήθηκε μέρος των τειχών με απλούς πλίνθους. Σώζονται περίπου 60 πύργοι, με τετράγωνη διατομή. Ο Λευκός Πύργος και ο πύργος Τριγωνίου θεωρούνται χτίσματα του 15^{ου} αιώνα και έχουν χτιστεί πάνω σε παλαιότερους πύργους.

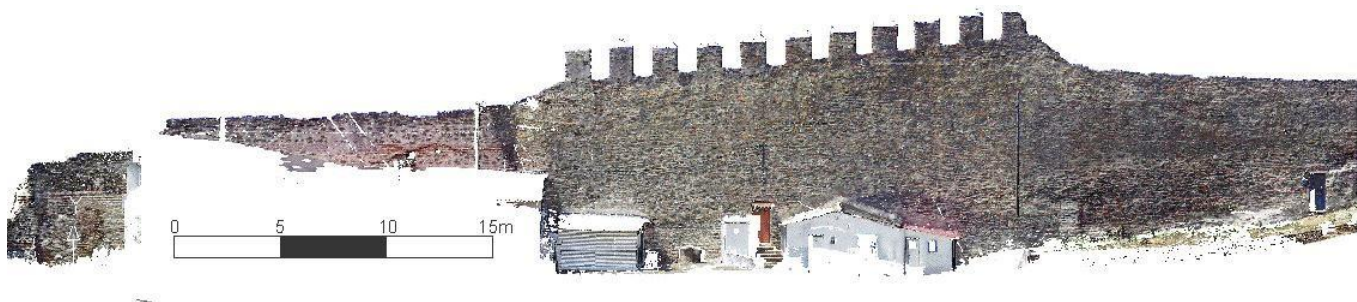
Μετρήσεις πεδίου:

Οι εργασίες πεδίου, ολοκληρώθηκαν με δύο μεθόδους για παράθεση και σύγκριση των τελικών αποτελεσμάτων. Η αποτύπωση έγινε με τρισδιάστατο σαρωτή και με τη φωτογραμμετρική μέθοδο. Για την τρισδιάστατη αποτύπωση χρησιμοποιήθηκε ο σαρωτής Faro Focus 3D και για τη φωτογραμμετρική αποτύπωση η κάμερα Cannon Eos 50D. Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 21 σαρώσεις οι οποίες διήρκησαν μία μέρα και ο συνολικός χρόνος μαζί με τη λήψη των φωτογραφιών ήταν περίπου 10 λεπτά για κάθε στάση.



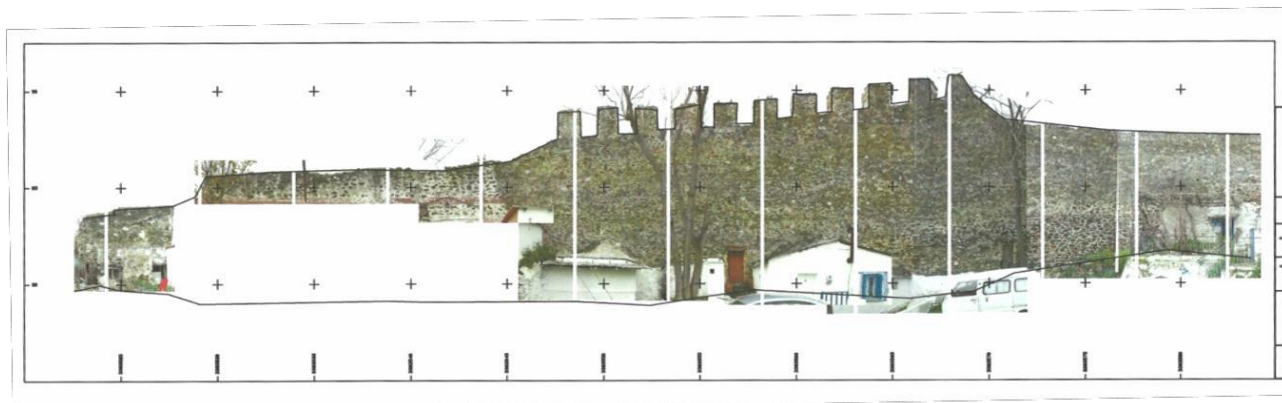
Εικόνα 3.32: Όψη νέφους σημείων 9^{ης} σάρωσης [36]

Για τη φωτογραμμετρική αποτύπωση των τειχών της Θεσσαλονίκης έγινε λήψη 80 φωτογραφιών στις οποίες σημειώθηκαν ευδιάκριτα σημεία ως φωτοσταθερά, τα οποία αποτυπώθηκαν και με τοπογραφικές μεθόδους ώστε να δημιουργηθούν ανηγμένες εικόνες των φωτογραφικών λήψεων και στη συνέχεια να σχηματιστεί ένα φωτομωσαϊκό (βλ. εικ. 3.33).



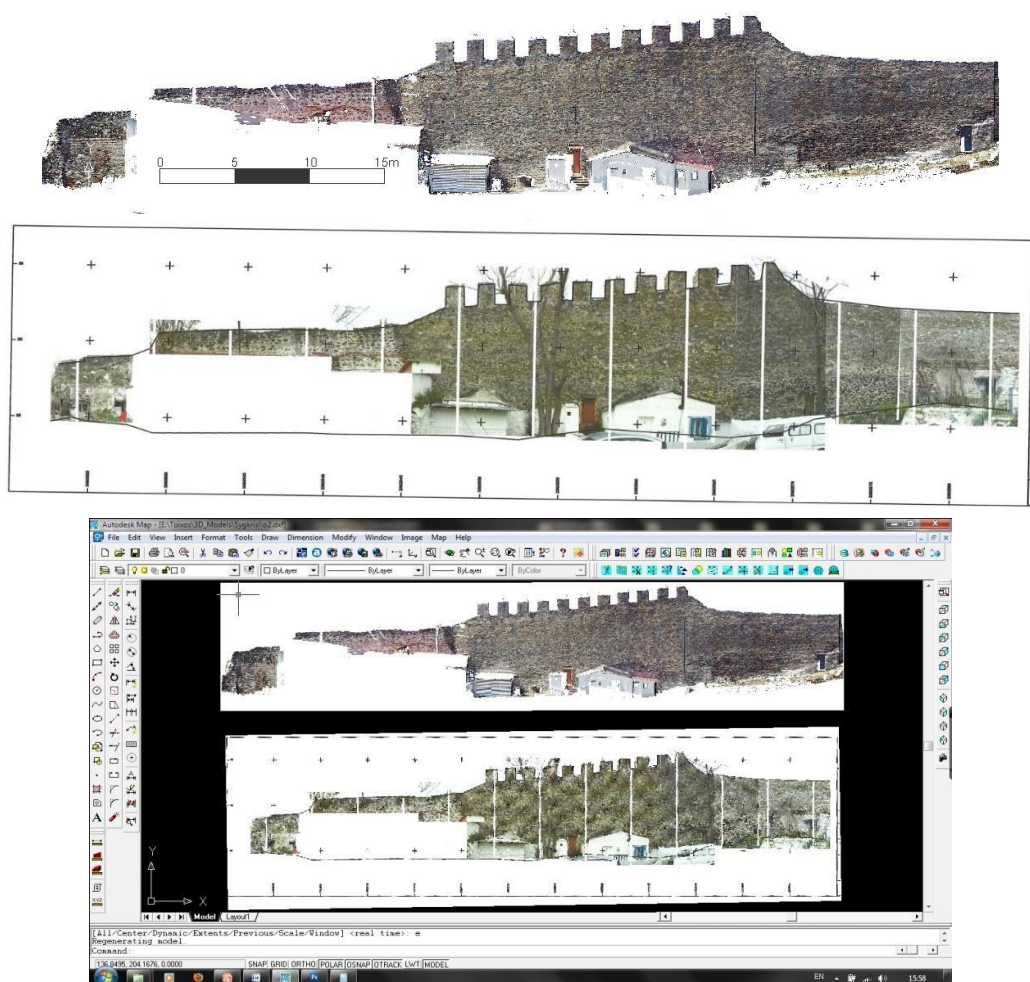
Εικόνα 3.33: Ανηγμένη όψη 1^{ης} – 2^{ης} – 3^{ης} σάρωσης [36]

Εξαιτίας των παρακείμενων κτισμάτων, της μορφολογίας του εδάφους και της βλάστησης, προέκυψαν προβλήματα, τα οποία επηρέασαν την ποιότητα των φωτογραφικών λήψεων. Η βλάστηση που ήταν πυκνή σε κάποια σημεία σε συνδυασμό με κάποια εγκαταλελειμμένα οχήματα και μέρη στα οποία δεν επιτράπηκε η πρόσβαση, δεν επέτρεψαν στις λήψεις να έχουν την απαιτούμενη επικάλυψη (βλ. εικ. 3.34). Επίσης στη δυτική πλευρά των τειχών εξαιτίας της απότομης κλίσης του εδάφους και την ύπαρξη γκρεμού σε απόσταση μερικών μέτρων οι φωτογραφίες λήφθηκαν αρκετά πλάγια, αλλά για να αποφευχθεί μεγάλη παραμόρφωση επιδιώχθηκαν πυκνότερες λήψεις και μεγαλύτερη επικάλυψη.



Εικόνα 3.34: Φωτογραμμετρική όψη τείχους [36]

Η σύγκριση των δύο μεθόδων έγινε σε περιβάλλον CAD (βλ. εικ. 3.35) ύστερα από αναγωγή των ανοιγμένων όψεων στις πραγματικές τους διαστάσεις. Η σύγκριση είχε ως στόχο την μελέτη της διαφοράς κλίμακας των όψεων του τείχους και όχι τη θέση ή την πιθανή παραμόρφωσή τους. Ο λόγος είναι ότι το σύστημα αναφοράς της σάρωσης ήταν ανεξάρτητο ενώ το σύστημα αναφοράς των φωτογραμμετρικών σχεδίων είναι το ΕΓΣΑ87. Έτσι μια αποδεκτή διαφορά κλίμακας είναι της τάξης των 300ppm λόγω του συντελεστή γραμμικής παραμόρφωσης της περιοχής που είναι $m_0=0.9997$. Η σύγκριση όψεων έδωσε μια διαφορά κλίμακας της τάξης των 50000ppm. Για τη σύγκριση μετρήθηκε η απόσταση των άκρων των επεκτάσεων του τείχους στο κεντρικό τους μέρος και βρέθηκε 22,12m στην όψη της σάρωσης και 21m στη φωτογραμμετρική όψη. Η σύγκριση αποδεικνύει ότι οι laser σαρωτές αποτελούν την ιδανική λύση αν θέλουμε να ελαχιστοποιήσουμε την παραμονή μας στο πεδίο συγκεντρώνοντας ταυτόχρονα μεγάλο και αξιόπιστο αριθμό δεδομένων.



Εικόνα 3.35: Σύγκριση όψεων σε περιβάλλον CAD [36]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΒΛΕΨΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΜΕ ΣμηΕΑ – DRONES

Σύνοψη:

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα συστήματα μη επανδρωμένων αεροσκαφών (ΣμηΕΑ, UAV-DRONES) και αναλύονται η πορεία και εξέλιξη της τεχνολογίας τους. Αναφέρεται η χρησιμότητά τους στις τρέχουσες εργασίες αποτυπώσεων, καθώς και στη διαχείριση των δεδομένων της αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM. Επιπλέον, παρατίθενται μελέτες αποτύπωσης και εργασίες επίβλεψης τεχνικών έργων με τη χρήση ενός ή περισσότερων drones.

4.1 Τα ΣμηΕΑ – Drones (ή UAV)

Η τεχνολογία των Drones εξελίσσεται συνεχώς, καθώς οι νέες καινοτομίες και η μεγάλη ζήτηση από μέρους των χρηστών αυτής της τεχνολογίας, φέρνουν στην αγορά κάθε λίγους μήνες πιο προχωρημένα αεροσκάφη με περισσότερες δυνατότητες. Ο ρυθμός της τεχνολογικής καινοτομίας στον τομέα των UAV είναι εξαιρετικά γρήγορος. Ένα τυπικό μη-επανδρωμένο αεροσκάφος είναι φτιαγμένο από ελαφρά συνθετικά υλικά για τη μείωση του βάρους και την αύξηση της ευελιξίας. Η πρωταρχική χρήση των UAV, πριν αυτά βγουν στην αγορά όπως τα ξέρουμε σήμερα, ήταν στρατιωτική, για επιτήρηση και ανίχνευση σε εχθρικό πεδίο. Η δυναμική των συνθετικών υλικών του αεροσκάφους του επιτρέπει να ταξιδεύει σε εξαιρετικά μεγάλα ύψη, μένοντας απαρατήρητο και κυρίως βγάζοντας τον ανθρώπινο παράγοντα από τη ζώνη κινδύνου.

Τα αεροσκάφη είναι εξοπλισμένα με διάφορα συστήματα τεχνολογίας αιχμής, όπως υπέρυθρες κάμερες, GPS και λείζερ. Ένα σύστημα μη-επανδρωμένου αεροσκάφους έχει δύο μέρη, το ίδιο το σκάφος και το σύστημα ελέγχου πλοήγησης. Τα αεροσκάφη ελέγχονται με τηλεχειρισμό του συστήματος πλοήγησης και ο χειριστής τους βρίσκεται στο έδαφος. Στη μύτη του σκάφους βρίσκονται όλοι οι αισθητήρες και τα συστήματα πλοήγησης, ενώ το κυρίως σώμα είναι γεμάτο από τεχνολογικά συστήματα υπεύθυνα για τη λειτουργία και τις εφαρμογές του. Τα μηχανικά υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του έχουν σχεδιαστεί για να απορροφούν τους κραδασμούς, κάτι που μειώνει τον παραγόμενο ήχο και είναι ελαφριά προσδίδοντάς του τα αεροδυναμικά χαρακτηριστικά.

4.2 Η τεχνολογία των ΣμηΕΑ – Drones – UAV [37]

Τα μη-επανδρωμένα αεροσκάφη διατίθενται σε μια ευρεία ποικιλία μεγεθών, με τα μεγαλύτερα (UAV) να χρησιμοποιούνται κυρίως για στρατιωτικούς σκοπούς. Η επόμενη κατηγορία με μικρότερο μέγεθος είναι τα μη-επανδρωμένα αεροσκάφη, τα οποία έχουν σταθερά πτερύγια και απαιτούν μικρούς διαδρόμους για την από- και προσγείωσή τους. Αυτά χρησιμοποιούνται γενικά για την κάλυψη μεγάλων εκτάσεων, από προσωπικό που εργάζεται σε τομείς όπως η γεωδαισία (τοπογραφική γεωγραφία) ή για την εποπτεία μεγάλων εκτάσεων, όπως για παράδειγμα σε εθνικούς δρυμούς, ενάντια στη λαθροθηρία άγριων ζώων, αγροτικές καλλιέργειες κλπ.

Ακόμα μικρότερο μέγεθος έχουν τα drones που είναι γνωστά ως VTOL (Vertical Take-Off and Landing), δηλαδή έχουν τη δυνατότητα να απογειώνονται, να πετούν, να αιωρούνται και να προσγειώνονται κατακόρυφα. Τα περισσότερα (όχι όλα) είναι με 4 έλικες (quadcopters) και μερικά από τα τελευταία μοντέλα όπως π.χ. είναι το DJI Mavic Air (βλ. εικ. 4.1) και το DJI Spark, μπορούν να ξεκινήσουν από την παλάμη του χεριού, παρέχοντας αυτονομία και δυνατότητα πτήσης, ακόμα και όταν το έδαφος είναι ακατάλληλο για τις διαδικασίες απογείωσης και προσγείωσης.

Τα αεροσκάφη τελευταίας τεχνολογίας διαθέτουν διπλά παγκόσμια δορυφορικά συστήματα πλοήγησης (GNSS) όπως το GPS και το GLONASS. Τα αεροσκάφη μπορούν να πετάξουν τόσο σε GNSS όσο και σε μη δορυφορικές λειτουργίες. Για παράδειγμα, τα αεροσκάφη τύπου DJI μπορούν να πετούν σε λειτουργία P-Mode (GPS & GLONASS) ή ATTI, η οποία δεν χρησιμοποιεί GPS. Η εξαιρετικά ακριβής πλοήγηση σε γνωστό σύστημα συντεταγμένων είναι πολύ σημαντική, ιδιαίτερα όταν η αποστολή του drone είναι η δημιουργία τρισδιάστατων χαρτών, οι τοπογραφικές αποτυπώσεις και οι αποστολές αναζήτησης και διάσωσης. Όταν αρχικά ενεργοποιηθεί, αναζητά και ανιχνεύει δορυφόρους GNSS. Τα συστήματα υψηλής τεχνολογίας GNSS χρησιμοποιούν την τεχνολογία Satellite Constellation, που σημαίνει ότι μια ομάδα δορυφόρων που δουλεύουν μαζί δίνουν συντονισμένη κάλυψη έτσι ώστε να επικαλύπτονται πάνω από τον τοπικό ορίζοντα, δίνοντας συντεταγμένες μεγαλύτερης ακρίβειας.

Πριν την απογείωση, ο χειριστής ενημερώνεται από την οθόνη του τηλεχειριστηρίου, αν έχουν εντοπιστεί αρκετοί δορυφόροι για την απόδοση συντεταγμένων και αν το αεροσκάφος είναι έτοιμο προς απογείωση. Επιπλέον, εμφανίζεται η θέση του drone σε σχέση με τον πιλότο, ώστε να καταγραφεί ένα χαρακτηριστικό σημείο αναφοράς για την επιλογή «επιστροφή στο σπίτι», μία επιλογή που θα ενεργοποιηθεί αυτόματα, αν τα επίπεδα της μπαταρίας είναι χαμηλά ή υπάρξει απώλεια επαφής μεταξύ του UAV και του τηλεχειριστηρίου του.

Ένα ακόμα πλεονέκτημα των drones τελευταίας τεχνολογίας είναι η ανίχνευση εμποδίων κατά την αυτόματη επιστροφή στο σημείο αναφοράς. Αυτά τα συστήματα αποφυγής συγκρούσεων, χρησιμοποιούν αισθητήρες ανίχνευσης εμποδίων για τη σάρωση του περιβάλλοντος χώρου, ενώ οι αλγόριθμοι λογισμικού παράγουν τις εικόνες σε τρισδιάστατους χάρτες επιτρέποντας στο drone να ανιληφθεί και να αποφεύγει μια επερχόμενη σύγκρουση. Ο αισθητήρας ανίχνευσης που χρησιμοποιεί το αεροσκάφος μπορεί να είναι ένας από τους παρακάτω:

- Αισθητήρα ορατότητας
- Υπέρηχος
- Υπέρυθρη ακτινοβολία
- Lidar (σαρωτής τύπου Light detection and ranging)
- Τηλεσκοπικός φακός

Τα τελευταία μοντέλα *Mavic 2 Pro* (βλ. εικ. 4.2) και *Mavic 2 Zoom* της εταιρείας DJI, ανιχνεύουν εμπόδια σε έξι πλευρές. Το *Mavic 2* χρησιμοποιεί αισθητήρες ορατότητας και υπερύθρων συγχωνευμένους σε ένα ενιαίο σύστημα αποφυγής σύγκρουσης γνωστό ως Omni-directional Obstacle Sensing. Το *Mavic 2* μπορεί να αντιληφθεί τα αντικείμενα και στη συνέχεια να παρακάμψει τα εμπόδια αυτά, ακολουθώντας την πορεία πτήσης. Μπορεί να κάνει το ίδιο όταν πετάει προς τα πίσω ή αιωρείται χωρίς να προσκρούσει αν δεν είναι δυνατό να πετάξει γύρω από το εμπόδιο. Αυτή η τεχνολογία των αεροσκαφών *DJI Mavic 2* και *Mavic Air* είναι γνωστή ως APAS (Advanced Pilot Assistance System).



Εικόνα 4.1: *DJI Mavic Air*, μικρό, ελαφρύ και εύκολο στη μεταφορά. Διαθέτει τεχνολογία εντοπισμού εμποδίων, αναγνώριση προσώπου και μπορεί να δεχθεί εντολές με κινήσεις των χεριών



Εικόνα 4.2: *DJI Mavic Pro*, μπορεί να χρησιμοποιηθεί από επαγγελματίες για λήψη φωτογραφιών και βίντεο, για επιτήρηση τεχνικών έργων, καθώς και για τρισδιάστατη αποτύπωση εδάφους και κτιρίων

Για ομαλή πτήση και σταθεροποίηση του αεροσκάφους, χρησιμοποιείται το γυροσκόπιο, το οποίο αισθάνεται και αντισταθμίζει τις δυνάμεις που ασκούνται στο drone, άμεσα. Το γυροσκόπιο παρέχει βασικές πληροφορίες πλοήγησης στον κεντρικό ελεγκτή πτήσης. Ένα ακόμα εξάρτημα ελέγχου της πτήσης είναι ο μετρητής αδρανείας (**Inertia Measurement Unit**, IMU), ο οποίος λειτουργεί ανιχνεύοντας τον τρέχοντα ρυθμό επιτάχυνσης, χρησιμοποιώντας ένα ή περισσότερα επιταχυνσιόμετρα. Το IMU ανιχνεύει αλλαγές στην περιστροφή του αεροσκάφους, με τη βοήθεια ενός ή περισσότερων γυροσκοπίων. Ορισμένες μονάδες IMU περιλαμβάνουν ένα μαγνητόμετρο για την υποβοήθηση της βαθμονόμησης ενάντια σε οποιαδήποτε μετατόπιση προσανατολισμού. Το γυροσκόπιο είναι ένα συστατικό στοιχείο του IMU και το IMU αποτελεί βασικό στέλεχος του ελεγκτή πτήσης. Ο ελεγκτής πτήσης είναι ο κεντρικός εγκέφαλος του drone.

Τέλος, για να μετακινηθεί το UAV στον αέρα οι κινητήρες και οι έλικες είναι τα μηχανικά εξαρτήματα που το κάνουν εφικτό. Σε ένα quadcopter, οι κινητήρες και οι έλικες δουλεύουν σε ζεύγη με τους δύο κινητήρες και τις δύο έλικες να περιστρέφονται δεξιόστροφα (CW Propellers) και τους άλλους δύο κινητήρες μαζί με τις άλλες δύο έλικες να περιστρέφονται αντισωρολογιακά (CCW Propellers).

4.3 Παράμετροι πτήσης και λειτουργία των drones [37]

Σχεδόν όλοι οι τύποι drones διαθέτουν έναν ελεγκτή εδάφους (**Ground Station Controller**) ή μια εφαρμογή για smartphones, η οποία επιτρέπει την παρακολούθηση τηλεμετρικά της πτήσης και την προβολή στην οθόνη του κινητού της εικόνας που βλέπει το drone. Με αυτόν τον τρόπο υπάρχει άμεσος έλεγχος στις κινήσεις του αεροσκάφους, καθώς και εποπτεία καθ' όλη τη διάρκεια της πτήσης σε πραγματικό χρόνο.

Όμως υπάρχουν ζώνες και περιοχές που απαγορεύεται η πτήση παντός είδους UAV, λόγω κινδύνου ή εξαιτίας μίας απόρρητης τοποθεσίας (στρατιωτική βάση). Προκειμένου να αυξηθεί η ασφάλεια των πτήσεων και να αποφευχθούν τα ατυχήματα, τα τελευταία drones περιλαμβάνουν μια λειτουργία "*No Fly Zone*", δηλαδή τη δυνατότητα καθορισμού ζωνών στις οποίες απαγορεύεται η πτήση και οι οποίες καθορίζονται, ρυθμίζονται και κατηγοριοποιούνται από την Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας. Οι κατασκευαστές μπορούν να αλλάξουν αυτές τις ζώνες, σύμφωνα με τις ισχύουσες νομοθετικές διατάξεις, με χρήση ενημερώσεων λογισμικού των UAV.

Όταν η εσωτερική πυξίδα του UAV ρυθμιστεί, τότε αναζητά τη θέση των δορυφόρων μέσω του GPS που διαθέτει. Όταν εντοπιστούν περισσότεροι από έξι δορυφόροι, είναι δυνατή η ενεργοποίηση της λειτουργίας **«έτοιμο προς πτήση»** ("*Ready to fly*"). Αυτή η λειτουργία επιτρέπει στο αεροσκάφος να γνωρίζει την ακριβή του θέση σε όλη τη διάρκεια της πτήσης και να δημιουργήσει ένα σημείο ασφαλούς επιστροφής σε περίπτωση που αποσυνδεθεί από το χειριστήριο, τελειώσει η μπαταρία ή ο χειριστής αποφασίσει ότι πρέπει να γίνει επείγοντως προσγείωση.

Η λήψη της εικόνας, πραγματοποιείται με μια βιντεοκάμερα, η οποία τοποθετείται στο μη επανδρωμένο όχημα και αυτή η κάμερα μεταδίδει το ζωντανό βίντεο στον πιλότο στο έδαφος. Η λήψη αυτή ονομάζεται **«λήψη πρώτου προσώπου»** ("*First person view*"). Δηλαδή, ο χειριστής στο έδαφος βλέπει την εικόνα που θα έβλεπε αν πέταγε ο ίδιος μαζί με το αεροσκάφος. Η προβολή πρώτου προσώπου επιτρέπει πιο εύκολη και ακριβή πτήση, ιδίως γύρω από εμπόδια, εντός εσωτερικών χώρων, μέσα σε δάση και γύρω από κτήρια. Για τη μετάδοση και λήψη του ζωντανού βίντεο, χρησιμοποιείται ραδιοφωνικό σήμα. Το drone διαθέτει ενσωματωμένο ασύρματο πομπό πολλαπλών ζωνών μαζί με μια κεραία. Ανάλογα με τον τύπο του αεροσκάφους, ο δέκτης των ζωντανών σημάτων βίντεο μπορεί να είναι είτε το τηλεχειριστήριο, είτε ένας φορητός υπολογιστής, tablet ή συσκευή smartphone. Αυτή η ζωντανή ροή του βίντεο σχετίζεται με την ένταση του σήματος μεταξύ του δέκτη στο έδαφος και στο αεροσκάφος. Το τελευταίο μοντέλο *DJI Mavic 2* διαθέτει ακτίνα ζωντανής μετάδοσης 8 χιλιομέτρων (5 μιλίων), με ποιότητα μετάδοσης βίντεο 1080p. Άλλα, ελαφρώς μεγαλύτερα σε μέγεθος drones, όπως το *DJI Mavic* και το *Phantom 4 Pro*, μπορούν να μεταδώσουν ζωντανό βίντεο σε ακτίνα έως και 7 χιλιόμετρα.

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Κεφάλαιο 4ο: Αποτύπωση και επιτήρηση τεχνικών έργων με ΣμηΕΑ – drones

Τα drones όπως το *DJI Mavic* χρησιμοποιούν ενσωματωμένους ελεγκτές και ευφυείς αλγόριθμους για να θέσουν ένα νέο πρότυπο για ασύρματη μετάδοση εικόνας υψηλής ευκρίνειας, μειώνοντας την καθυστέρηση και αυξάνοντας το μέγιστο εύρος κάλυψης και την αξιοπιστία.

Μια πολύ απλή περιγραφή ενός drone είναι ότι είναι ένας ιπτάμενος υπολογιστής συνδεδεμένος με μια φωτογραφική μηχανή ή έναν αισθητήρα καταγραφής. Όπως και οι υπολογιστές, τα drones διαθέτουν λογισμικό, το οποίο στέλνει εντολές στις φυσικές συνιστώσες του αεροσκάφους ή του τηλεχειριστηρίου. Οι κατασκευαστές εκδίδουν αναβαθμίσεις λογισμικού για να διορθώσουν τα σφάλματα και να προσθέσουν νέες λειτουργίες στο αεροσκάφος, στο τηλεχειριστήριο ή στο λογισμικό πτήσης, εάν χρησιμοποιείται για να πετάξει το αεροσκάφος. Χρησιμοποιείται δίκτυο ταχύτητας 4G/LTE για τη μετάδοση της εικόνας και για τη λήψη ενημερώσεων. Μελλοντικά η σύνδεση θα γίνεται μέσω δικτύου 5G για ταχύτερη ανταπόκριση. Η συσκευή ασύρματης επικοινωνίας μεταξύ του χειριστηρίου και του αεροσκάφους, σχεδόν για όλα τα τελευταία μοντέλα, χρησιμοποιεί ζώνη συχνοτήτων 2,4 GHz και 5,8 GHz και πρέπει ήδη ο κατασκευαστής να έχει κάνει την απαραίτητη σύζευξη, στην ίδια συχνότητα μεταξύ του χειριστηρίου και του drone.



Εικόνα 4.3: Χειριστήριο του Phantom 4 Pro

Τα περισσότερα από τα drones σήμερα μπορούν να λειτουργήσουν μέσω ενός τηλεχειριστηρίου (βλ. εικ. 4.3) ή μιας εφαρμογής smartphone, η οποία μπορεί να μεταφορτωθεί από το Google Play ή το Apple Store. Η εφαρμογή επιτρέπει τον πλήρη έλεγχο του κυκλώματος και κάθε κατασκευαστής έχει τη δική του εφαρμογή όπως η εφαρμογή Go 4 της εταιρίας DJI.

Πλέον, οι κατασκευαστές περιλαμβάνουν κάμερες, οι οποίες μπορούν να τραβήξουν ταινία σε ανάλυση 4k και μπορούν να αποδώσουν φωτογραφίες ποιότητας 12 megapixel. Τα drones προηγούμενης τεχνολογίας χρησιμοποιούσαν κάμερες, οι οποίες δεν ήταν εντελώς κατάλληλες για αεροφωτογράφιση. Αυτές οι εναέριες λήψεις είχαν παραμόρφωση εξαιτίας του ευρυγώνιου φακού.

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Κεφάλαιο 4ο: Αποτύπωση και επιτήρηση τεχνικών έργων με ΣμηΕΑ – drones

Ωστόσο, τα πιο πρόσφατα μοντέλα των 4k, διαθέτουν κάμερα ειδικά σχεδιασμένη για αεροφωτογραφήσεις και βίντεο. Ένα από τα καλύτερα drones για την επαγγελματική αεροφωτογράφιση είναι το *DJI Inspire 2*, έχοντας τοποθετημένη τη φωτογραφική μηχανή DJI Zenmuse X7 και με το σύστημα επεξεργασίας εικόνας Inspire 2 CineCore 2.1, να καταγράφει βίντεο έως και 6k. Το Inspire 2 χρησιμοποιείται από τους παραγωγούς του Χόλιγουντ. Στην πραγματικότητα, το Inspire 2 γύρισε όλα τα εναέρια και τα γήινα πλάνα σε μια ταινία μικρού μήκους που ονομάζεται The Circle με κινηματογραφική ποιότητα.

Την 3ετία 2016 έως 2018, κυκλοφόρησαν στην αγορά ορισμένα ολοκληρωμένα συστήματα ρύθμισης ισορροπίας με οπτικό και ψηφιακό ζουμ. Η εταιρεία DJI κυκλοφόρησε το Zenmuse Z3, το οποίο διαθέτει 7x ζουμ αποτελούμενο από 3,5x οπτικό και 2x ψηφιακό χωρίς απώλειες στην ποιότητα της εικόνας, δημιουργώντας εύρος εστιακής απόστασης 22 έως 77 mm, καθιστώντας το ιδανικό για βιομηχανικές εφαρμογές. Τον Οκτώβριο του 2016, η ίδια εταιρεία κυκλοφόρησε drone με φωτογραφική μηχανή Zenmuse Z30, η οποία έχει ένα οπτικό ζουμ 30x και ψηφιακό 6x για συνολική μεγέθυνση μέχρι 180x. Αυτό επιτρέπει περισσότερες βιομηχανικές χρήσεις, όπως είναι η επιθεώρηση πύργων κινητής τηλεφωνίας ή ανεμογεννητριών, η ανίχνευση ζημιών με μία πολύ λεπτομερή καταγραφή σε κατασκευές, καλωδιώσεις, δομικά στοιχεία και εξαρτήματα. Το Zenmuse είναι συμβατό με τη σειρά drones Matrice της DJI. Μερικά αεροσκάφη είναι εφοδιασμένα με κάμερα η οποία διαθέτει θερμική και νυχτερινή όραση, για να μην υπάρχει περιορισμός κινήσεων κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Οι αισθητήρες Lidar, οι πολυφασματικοί και οι φωτογραμμετρικοί χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τρισδιάστατων μοντέλων κτιρίων και τοπίων. Η νυχτερινή όραση χαμηλού φωτισμού και οι αισθητήρες θερμικής όρασης χρησιμοποιούνται σε drones για να ανιχνεύσουν κτίρια και τοπία, ώστε να βοηθήσουν στη γεωργία, την πυρόσβεση, την αναζήτηση και τη διάσωση. Τα drones μπορούν να φέρουν παραπάνω από έναν αισθητήρες για καλύτερα αποτελέσματα. Αυτή η τεχνολογία είναι γνωστή ως συγχώνευση αισθητήρων και με το απαραίτητο λογισμικό, συνδυάζει δεδομένα από διάφορους αισθητήρες, όπως μια θερμική κάμερα και έναν κανονικό αισθητήρα κάμερας RGB, με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης. Ο συνδυασμός δεδομένων από πολλούς αισθητήρες διορθώνει τα σφάλματα που κάνει ο κάθε ένας από τους αισθητήρες ξεχωριστά, για να υπολογίσει ακριβείς πληροφορίες θέσης και προσανατολισμού. Για παράδειγμα, πολυφασματικοί αισθητήρες σε αεροσκάφη μπορούν να δημιουργήσουν 3διάστατους ψηφιακούς χάρτες του αναγλύφου (DEMs Digital Elevation Models) χερσαίων περιοχών για την παροχή δεδομένων ακρίβειας σχετικά με την υγεία των καλλιεργειών, της χλωρίδας, της πανίδας και για την ογκομέτρηση των χωματοουργικών εργασιών, όταν πρόκειται για ένα προς μελέτη τεχνικό έργο.

Το 2016 κυκλοφόρησαν στην αγορά τα αεροσκάφη που χρησιμοποιούν αισθητήρες Time-of-Flight (ToF). Οι αισθητήρες ToF, επίσης γνωστοί ως "Flash Lidar", μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνοι τους ή με RGB κάμερα και κανονικούς αισθητήρες lidar για να παρέχουν λύσεις σε όλους τους τομείς, που μπορούν να χρησιμοποιήσουν και να επεξεργαστούν μια τέτοια τεχνολογία.

Οι αισθητήρες ToF μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη σάρωση αντικειμένων, την πλοήγηση σε εσωτερικούς χώρους, την αποφυγή εμποδίων, την αναγνώριση χειρονομίας, την παρακολούθηση αντικειμένων, τη μέτρηση όγκων, την αποτύπωση υψομέτρων, τη τρισδιάστατη φωτογραφία, τα

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Κεφάλαιο 4ο: Αποτύπωση και επιτήρηση τεχνικών έργων με ΣμηΕΑ – drones

παιχνίδια επαυξημένης πραγματικότητας και πολλά άλλα. Οι κάμερες Flash-lidar Time-of-Flight έχουν ένα τεράστιο πλεονέκτημα έναντι άλλων τεχνολογιών, καθώς είναι σε θέση να μετρήσουν αποστάσεις μεταξύ αντικειμένων σε μία μόνο λήψη.

Για τη χαρτογράφηση με τη μέθοδο lidar και τη φωτογραμμετρία, το UAV προγραμματίζεται να πετάει πάνω σε μια περιοχή ενδιαφέροντος αυτόνομα, χρησιμοποιώντας κατευθυντήρια σημεία ελέγχου, για την πλοήγησή του. Η κάμερα στο αεροσκάφος θα τραβήξει φωτογραφίες ανά διαστήματα 0,5 ή 1 δευτερολέπτου.

Αυτές οι φωτογραφίες στη συνέχεια συρράπτονται μαζί χρησιμοποιώντας εξειδικευμένο λογισμικό φωτογραμμετρίας για τη δημιουργία των τρισδιάστατων εικόνων και χαρτών.

Μερικά από τα κορυφαία λογισμικά χαρτογράφησης είναι τα εξής:

- DroneDeploy 3D Mapping Solutions (<https://www.dronedeploy.com>)
- Pix4D Mapper Photogrammetry Software (<https://www.pix4d.com/product/pix4dmapper-photogrammetry-software>)
- AutoDesk ReCap Photogrammetry Software (<https://3dscanexpert.com/autodesk-recap-photo-photogrammetry-3d-scanning-review/>)
- Maps Made Easy – Orthophoto and 3D Models (<https://www.mapsmadeeasy.com>)
- 3DF Zephyr Photogrammetry Software (<https://www.3dflow.net/3df-zephyr-pro-3d-models-from-photos/>)
- Agisoft PhotoScan Photogrammetry Software (<https://www.agisoft.com>)
- PrecisionHawk Precision Mapper / Viewer (<https://www.precisionhawk.com/precisionmapper>)
- Open Drone Map (<https://www.opendronemap.org>)
- ESRI Drone2Map For ArcGIS (<https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/drone2map/overview>)

Τα περισσότερα μη-επανδρωμένα αεροσκάφη χρησιμοποιούν λειτουργικό σύστημα Linux και μερικά MS Windows. Το Ίδρυμα Linux υλοποιεί ένα έργο που ξεκίνησε το 2014 με την ονομασία **Dronocode Project** (<https://www.dronocode.org/>).

Το έργο Dronocode είναι ένα ανοικτού κώδικα, συνεργατικό έργο το οποίο συγκεντρώνει τα υπάρχοντα και μελλοντικά έργα ανοικτού κώδικα των μη-επανδρωμένων εναέριων αεροσκαφών σε μια μη-κερδοσκοπική πλατφόρμα που ανήκει από το ίδρυμα Linux. Το αποτέλεσμα είναι μια κοινή πλατφόρμα ανοικτού κώδικα για συστήματα UAV, στην οποία έχουν δωρεάν πρόσβαση όλοι.

Έχοντας λειτουργικό σύστημα και πρόσβαση στο διαδίκτυο, τα drones μπορούν να θεωρηθούν ιπτάμενοι υπολογιστές. Επομένως, δίνεται η δυνατότητα στον χειριστή να γράψει τον δικό του κώδικα για το UAV του, παρέχοντας τον μέγιστο δυνατό έλεγχο. Υπάρχουν πολλές γλώσσες προγραμματισμού, όπως Scratch, Swift, Blockly και Tynker, οι οποίες με εύκολο τρόπο επιτρέπουν

τον προγραμματισμό ενός drone. Επίσης, ο προγραμματισμός μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας γλώσσες που βασίζονται σε κείμενο όπως Python και JavaScript. Αυτό όμως, ανοίγει ένα παράθυρο για κακόβουλο λογισμικό, κάποιος θα μπορούσε μέσω του ασύρματου δικτύου να αποσυνδέσει τον ιδιοκτήτη του αεροσκάφους και να αναλάβει πλήρως τη λειτουργία του drone. Φυσικά, υπάρχουν τρόποι αποφυγής μιας τέτοιας κατάστασης, με το κατάλληλο λογισμικό και με το «τείχος προστασίας».

4.4 Μη-επανδρωμένα αεροσκάφη στα τεχνικά έργα [38]

Παρόλο, που τα μη-επανδρωμένα αεροσκάφη μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διάφορες εφαρμογές σε τεχνικά έργα και θα μπορούσαν να βελτιώσουν τη διαδικασία κατασκευής και επιτήρησης αυτών των έργων, μέχρι τώρα δεν ήταν τόσο διαδεδομένη η χρήση τους, ιδίως στον ελλαδικό χώρο.

Η απόκτηση πρωτογενών δεδομένων, μέσω των αισθητήρων των αεροσκαφών τα καθιστούν ιδανικά για τη διαχείριση τεχνικών έργων, καθώς με τη διεξαγωγή οπτικών επιθεωρήσεων, αλλά και με την παραγωγή χαρτογραφικών δεδομένων μεγάλης έκτασης σε σύντομο χρονικό διάστημα, ο μηχανικός μπορεί να ελέγξει το έργο σε όλη τη διάρκεια της προόδου του.

Εφαρμογές όπως οι αποτυπώσεις υψηλής ακρίβειας δισδιάστατες και τρισδιάστατες, η ογκομέτρηση, οι επιθεωρήσεις τεχνικών έργων όπως κτίρια, γέφυρες, δίκτυα υψηλής τάσης, σιδηροδρομικές μεταφορές, ενεργειακών εγκαταστάσεων, αλλά και η συμβολή στην ασφάλεια των έργων ακόμα και μετά την ολοκλήρωσή τους είναι ένα μικρό τμήμα της συμβολής των drones στην διαχείριση των τεχνικών έργων.

Επιπροσθέτως παρατηρείται ότι με χρήση UAV εξοπλισμού, η παραγωγικότητα αυξάνεται κατακόρυφα όπως και η ταχύτητα παράδοσης του έργου με συνέπεια τη μείωση του κόστους. Η αξιοποίηση αυτών των συσκευών, εκτός από τα οικονομικά οφέλη, είναι και υπέρ της ασφαλείας του προσωπικού.

4.4.1 Η συμβολή των UAV στη διαχείριση τεχνικών έργων [38]

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη, αξιοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών για τη υποστήριξη της διαχείρισης των τεχνικών έργων. Είναι ο πιο ευέλικτος εξοπλισμός που μπορεί να χρησιμοποιήσει ο μηχανικός και αυτό οφείλεται στην ικανότητα που έχουν να αποτυπώνουν ένα τεχνικό έργο από απόσταση και από σχετικά μικρό ύψος από το έδαφος σε σχέση με άλλα εναέρια μέσα. Μπορεί κάποιος να ελέγξει τα drones από οπουδήποτε, ακόμα και αν μεσολαβούν αρκετά χιλιόμετρα μεταξύ του χειριστή και του drone, όμως δεν θα μπορούσαν σε καμία περίπτωση να αντικαταστήσουν τον ρόλο του μηχανικού.

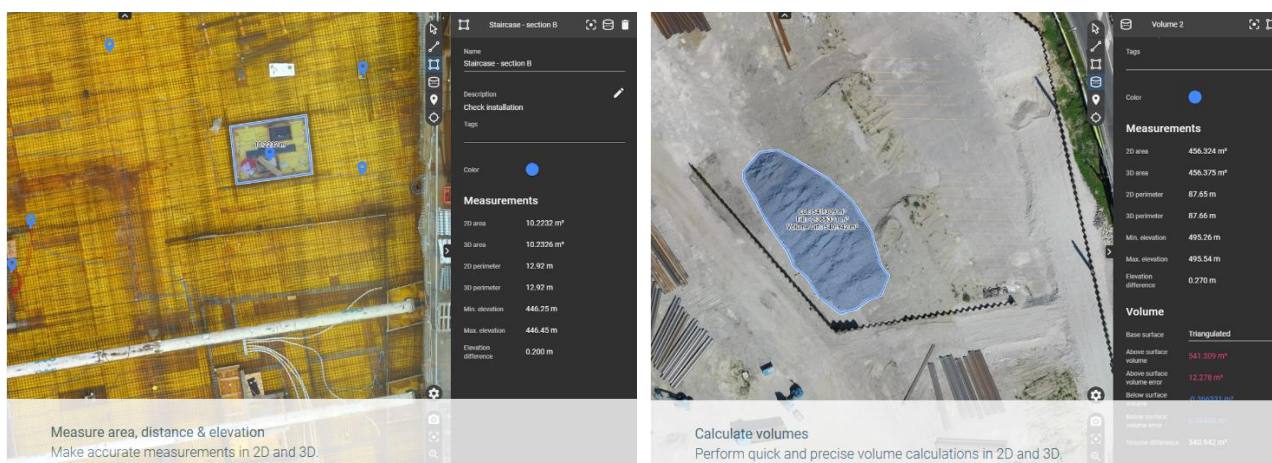
Η πιο κοινή χρήση ενός drone είναι οι αεροφωτογραφίες, κάτι που γίνεται για να αποτυπωθεί η πρόοδος του τεχνικού έργου, εξοικονομώντας χρόνο στις εργασίες και επιτρέποντας να γίνεται επίβλεψη σε επικίνδυνα, για τη σωματική ακεραιότητα του προσωπικού, σημεία από απόσταση ασφαλείας. Ενδεχομένως το περιεχόμενο της

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

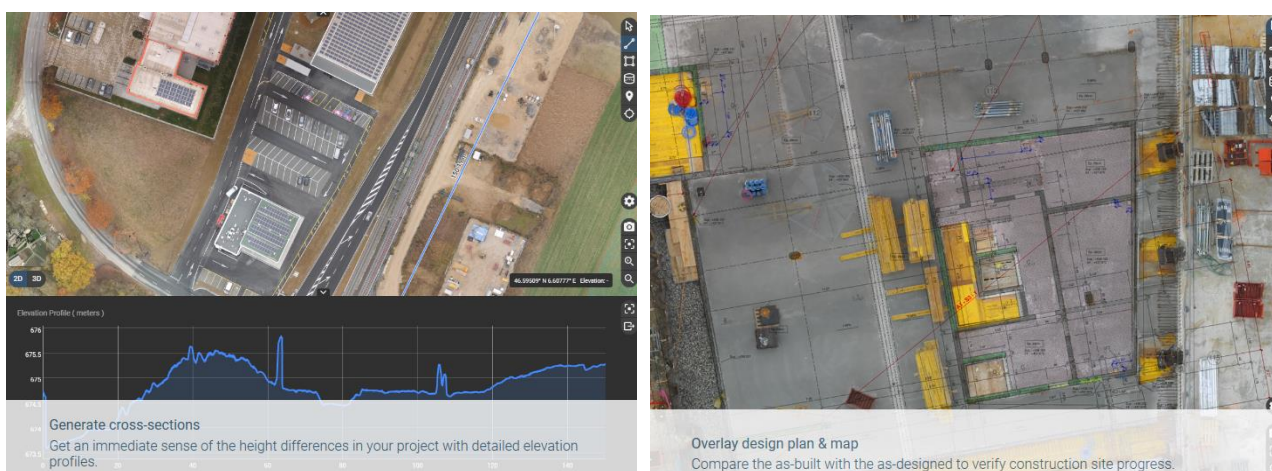
Κεφάλαιο 4^ο: Αποτύπωση και επιτήρηση τεχνικών έργων με ΣμηΕΑ – drones

σύμβασης της κατασκευής ενός έργου να απαιτεί την περιοδική λήψη φωτογραφιών, ανά τακτά χρονικά διαστήματα, ώστε να είναι εμφανής η πρόοδος που έχει σημειωθεί. Δημιουργείται έτσι μία βάση δεδομένων παρακολούθησης της προόδου με καινοτόμα λογισμικά όπως το **Pix4bim** (<https://www.pix4d.com/>), που διαχειρίζονται και κατηγοριοποιούν ένα μεγάλο όγκο αεροφωτογραφιών (βλ εικ. 4.4 έως 4.6) που παράγονται κατά την παρακολούθηση της κατασκευής.

Το πλεονέκτημα των drones σε αυτή την περίπτωση είναι το σημαντικά χαμηλό κόστος και η ταχύτητα καταγραφής των εργασιών στη φάση κατασκευής, σε αντίθεση με τη χρήση επανδρωμένων αεροσκαφών ή ελικοπτέρων.



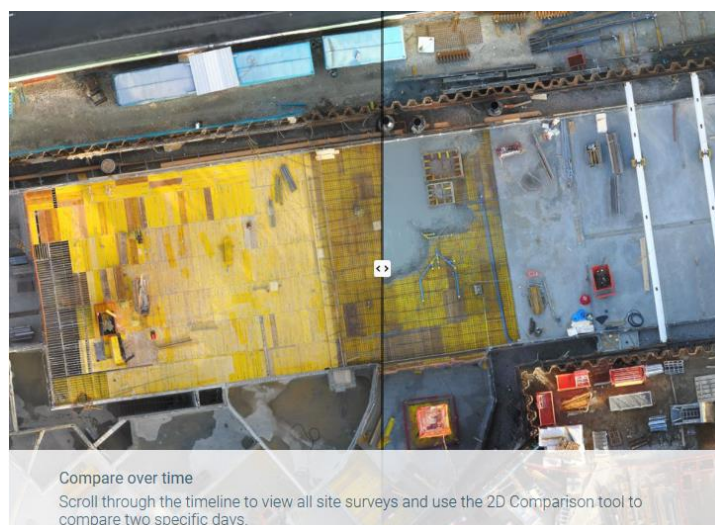
Εικόνα 4.4 : Μερικές από τις δυνατότητες του λογισμικού Pix4bim



Εικόνα 4.5 : Μερικές από τις δυνατότητες του λογισμικού Pix4bim

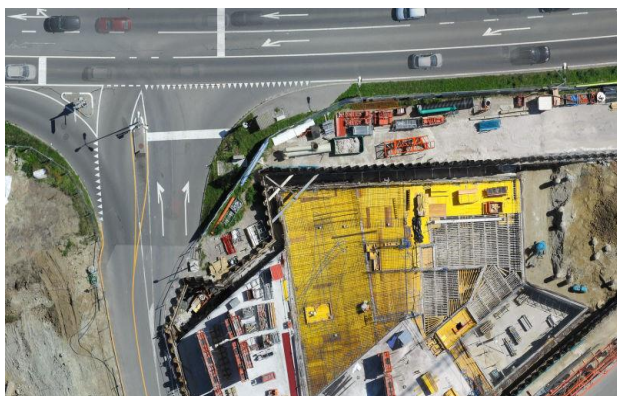
Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Κεφάλαιο 4ο: Αποτύπωση και επιτήρηση τεχνικών έργων με ΣμηΕΑ – drones



Εικόνα 4.6 : Μερικές από τις δυνατότητες του λογισμικού Pix4bim

Στο πλαίσιο της εμπορικής προώθησης ενός τεχνικού έργου, μία καλή παρουσίαση, μπορεί να κάνει τη διαφορά για έναν πιθανό αγοραστή, μισθωτή ή το ευρύ κοινό. Ένα UAV μπορεί να παρέχει μία μοναδική προοπτική απεικόνισης του έργου, με εικόνες που δεν είναι εφικτό να αποκτηθούν με κάποια συμβατική μέθοδο (βλ. εικ. 4.7 & 4.8). Με αυτό τον τρόπο αυξάνεται το κύρος και η αξιοπιστία του μηχανικού.



Εικόνα 4.7: Ορθοφωτοχάρτης ενταγμένος στο τοπικό σύστημα γεωαναφοράς (pix4d) [39]



Εικόνα 4.8: Επεξεργασία νέφους σημείων στο pix4d [39]

Η αυτοψία της μελλοντικής περιοχής ενός έργου, βοηθά στην καλύτερη εκτίμηση του κόστους. Οι επιτόπιες επισκέψεις είναι χρονοβόρες και ενδέχεται να υπάρχουν εμπόδια κατά τη διαδρομή, δύσβατες περιοχές ακόμα και για όχημα και επικίνδυνα τμήματα. Ένα drone μπορεί να μας δώσει σε μερικά λεπτά αεροφωτογραφίες και βίντεο, καλύπτοντας ολόκληρη την περιοχή μελέτης. Υπάρχουν βέβαια και περιπτώσεις, όπου χρειάζεται εκτίμηση της επισκευής σε μια στέγη κτηρίου, κάτι που υπό συγκεκριμένες συνθήκες είναι επικίνδυνο, επομένως δεν είναι εύκολη η προσέγγιση από συνεργεία επισκευής.

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Κεφάλαιο 4^ο: Αποτύπωση και επιτήρηση τεχνικών έργων με ΣμηΕΑ – drones

Ένα ακόμα παράδειγμα είναι οι στέγες με απότομη κλίση, οι οποίες δε θεωρούνται ασφαλείς για αυτοψία. Η χρήση μη-επανδρωμένων αεροσκαφών σε αυτές τις περιπτώσεις, έχουν ως όφελος την ασφάλεια του συνεργείου και την ταχύτατη επιθεώρηση των ζημιών.

Φυσικά η χρησιμότητα των UAV δεν περιορίζεται στην επιθεώρηση του εργοταξίου, αλλά σε συνδυασμό και με φωτογραμμετρικές μεθόδους, μπορούν να παραχθούν ψηφιακά μοντέλα εδάφους, τρισδιάστατες αποτυπώσεις με νέφη σημείων, κτηματολογικά διαγράμματα, εμβαδομετρήσεις μεγάλων εκτάσεων γης και ογκομετρήσεις σωρών υλικών.

Στην περίπτωση φυσικών καταστροφών, όπως ο σεισμός ή η πυρκαγιά, με την επεξεργασία των δεδομένων που θα συλλέξει το αεροσκάφος, ο μηχανικός είναι σε θέση να εκτιμήσει τη ζημιά γρήγορα και με ασφάλεια.

Οι αισθητήρες που φέρουν ορισμένα drones, τα καθιστούν πολυεργαλεία. Ο εξοπλισμός τους με θερμικές κάμερες, τους δίνει τη δυνατότητα να καταγράψουν τη ροή της θερμότητας, ώστε να επιλυθούν ζητήματα που σχετίζονται με προβλήματα στις μονώσεις οροφής ή σωληνώσεων σε τεχνικές κατασκευές. Οι θερμικές κάμερες καταγράφουν τη θερμοκρασία των αντικειμένων, έτσι μία ζημιά στη μόνωση ενός κτηρίου, θα εμφανίζεται στην εικόνα ως θερμό σημείο, λόγω της αυξημένης του θερμοκρασίας ή μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό διαρροών νερού σε τεχνικές υποδομές. Επίσης, μπορούν να επιλύσουν θέματα ασφάλειας, καθώς τα εργοτάξια είναι ιδιαίτερα δύσκολο να επιτηρούνται επαρκώς κατά τη διάρκεια της νύχτας. Η φύλαξη του εργοταξίου με τη βοήθεια ενός UAV, μπορεί να εντοπίσει εισβολείς ή κακόβουλες ενέργειες, όπως κλοπές, καταγράφοντας την εκπομπή θερμότητας από ένα ανθρώπινο σώμα ή από ένα προσφάτως σταθμευμένο όχημα και να αποτρέψει εν δυνάμει απειλές.

Τέλος, η μοντελοποίηση κτηριακών πληροφοριών, είναι πλέον τμήμα της κατασκευαστικής βιομηχανίας και θεωρείται απαραίτητη σε όλες τις φάσεις ενός κατασκευαστικού έργου. Η τρισδιάστατη απεικόνιση της προόδου, δίνει στον ανάδοχο τη δυνατότητα μιας σαφέστατης παρουσίασης προς τον κύριο του έργου, για την άμεση λήψη αποφάσεων ως προς την πορεία του έργου, αλλά και ρεαλιστικής απεικόνισης της πορείας του. Αυτή η τεχνική παίζει σημαντικό ρόλο στην αποφυγή καθυστερήσεων και στη διαχείριση του έργου. Η αποτελεσματική απόκτηση δεδομένων ακριβείας συμβάλλει στην ορθή απεικόνιση της προόδου των εργασιών στη φάση κατασκευής του έργου, στη βελτίωση της διαχείρισης του έργου και τη συσσώρευση αρχειακού υλικού της κατασκευής, ώστε να διορθωθούν σφάλματα και να προληφθούν τυχόν καθυστερήσεις.

4.5 Παραδείγματα μελετών με χρήση drones

4.5.1 Αποτύπωση πύργου κινητής τηλεφωνίας [40]



Εικόνα 4.9: Πύργος κινητής τηλεφωνίας στο Ισραήλ

Η εταιρεία **GeoPoint** τον Ιανουάριο του 2017, ανέλαβε την αποτύπωση και τη τρισδιάστατη σχεδίαση ενός πύργου κινητής τηλεφωνίας (βλ. εικ. 4.9) με μετρητική ακρίβεια μεγαλύτερη από 2cm (0.05ft). Η εκτιμώμενη προσπάθεια, χρησιμοποιώντας συμβατικές τοπογραφικές τεχνικές, **θα ήταν τρεις ημέρες**. Συγκεκριμένα δύο ημέρες με χρήση τόσο γεωδαιτικού σταθμού πρίσματος όσο και γεωδαιτικού σταθμού reflectless, με τέσσερις διαφορετικές στάσεις και μία ημέρα γραφείου για την εκπόνηση του λεπτομερούς σχεδίου CAD, με βάση τις μετρήσεις των γεωδαιτικών σταθμών και ένα σκαρίφημα που έγινε στο πεδίο.

Εναλλακτικά, καθώς η παραπάνω μέθοδος θα ήταν πιο χρονοβόρα και αντισυμβατική, χρησιμοποιήθηκε μη επανδρωμένο αεροσκάφος. Ο πύργος φωτογραφήθηκε χρησιμοποιώντας μία κάμερα Sony NEX-7 με ανάλυση 24-megarapixel και φακό 16mm, η οποία στερεώθηκε σε ένα τετράπτερο DJI S1000 για πτήση 35 με 45 μέτρα (120 to 150ft) από το έδαφος. Συνολικά λήφθηκαν 36 εικόνες του πύργου από την περίμετρό του, προς το κέντρο του. Η κάθε εικόνα τραβήχτηκε με απόσταση 15 μέτρων (50 feet) από την προηγούμενη, ώστε να υπάρχει επικάλυψη μεταξύ τους. Συνολικά 20 σημεία ενδιαφέροντος μετρήθηκαν πάνω στον πύργο και στην περίμετρό του, χρησιμοποιώντας γεωδαιτικό σταθμό. Τα μισά από αυτά τα σημεία χρησιμοποιήθηκαν για τη γεωαναφορά των εικόνων. Τα σημεία

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Κεφάλαιο 4ο: Αποτύπωση και επιτήρηση τεχνικών έργων με ΣμηΕΑ – drones

ελέγχου που επιλέχθηκαν ήταν καλά καθορισμένα αντικείμενα, όπως γωνίες του πύργου και συσκευές που είναι τοποθετημένες σε αυτόν.

Η αποτύπωση πεδίου, χρησιμοποιώντας τετράπτερο drone αποδείχτηκε γρήγορη, αποτελεσματική, ακριβής και ασφαλής σε σύγκριση με τις συμβατικές τεχνικές. Ο συνολικός χρόνος για την αποτύπωση και το σχεδιασμό του τρισδιάστατου μοντέλου του πύργου κινητής τηλεφωνίας **διήρκησε λιγότερο από μισή μέρα**. Χρειάστηκαν 40 λεπτά στο πεδίο, 10 λεπτά φωτογράφησης του πύργου και ακόμα 30 λεπτά μέτρησης των σημείων ελέγχου και 4 ώρες γραφείου για τη γεωαναφορά των εικόνων και την απευθείας σχεδίαση του τρισδιάστατου μοντέλου από τις εικόνες (βλ. εικ. 4.10).

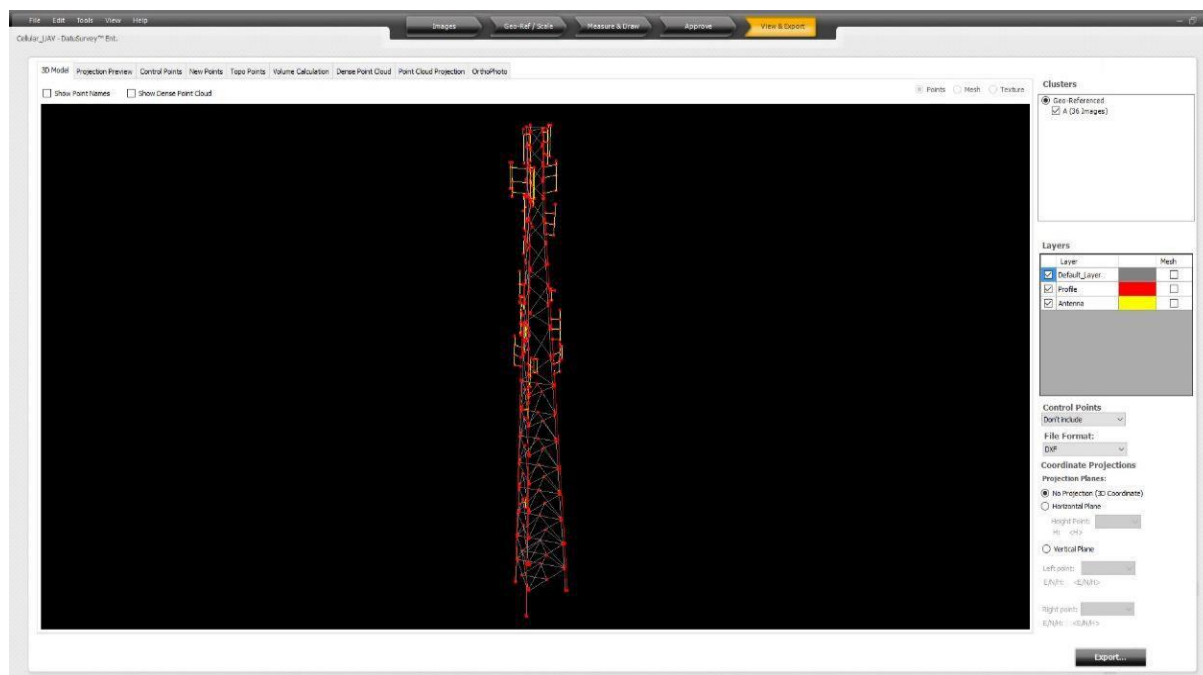


Εικόνα 4.10: Ψηφιακή επεξεργασία των εικόνων για τη σύνθεση του 3D μοντέλου

Με τη χρήση του φωτογραμμετρικού προγράμματος **DatuSurvey™ Professional** για την επεξεργασία των εικόνων, δημιουργήθηκε το τρισδιάστατο μοντέλο (βλ. εικ. 4.11). Επιπλέον, σχηματίστηκε ένας κατάλογος με όλες τις μετρήσεις, η οποία περιλάμβανε τις ονομασίες των σημείων ελέγχου, τους κωδικούς, τις περιγραφές, τις συντεταγμένες και όλες τους τις μετρητικές ακρίβειες σε όλους τους άξονες. Από την επεξεργασία των εικόνων προέκυψαν 215 νέες μετρήσεις, με ακρίβεια καλύτερη των 2cm (0.05 ft.) τόσο για τη θέση τους, όσο και για το υψόμετρό τους.

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Κεφάλαιο 4ο: Αποτύπωση και επιτήρηση τεχνικών έργων με ΣμηΕΑ – drones



Εικόνα 4.11: 3D μοντέλο του πύργου κινητής τηλεφωνίας

4.5.2 Αποτύπωση ανισόπεδου κόμβου οδικής αρτηρίας [41]



Τον Ιανουάριο του 2015 στην Ναζαρέτ (Nazareth) του Ισραήλ, ζητήθηκε η δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου ανισόπεδου κόμβου οδικής αρτηρίας (βλ. εικ. 4.12), συμπεριλαμβανομένων τόσο του άνω και κάτω οδοστρώματος όσο και της δομής της γέφυρας και της περιβάλλουσας τοπογραφία, όλα με ακρίβεια μεγαλύτερη των 2cm.

Εικόνα 4.12: Ανισόπεδος κόμβος οδικής αρτηρίας

Η αρχική εκτίμηση του χρόνου της αποτύπωσης με συμβατικές μεθόδους ήταν **6 ημέρες**: Τρεις ημέρες στο πεδίο, αποτυπώνοντας με γεωδαιτικό σταθμό από διαφορετικές στάσεις και 3 ημέρες στο γραφείο, σχεδιάζοντας το λεπτομερές σχέδιο του έργου, με βάση τις μετρήσεις του γεωδαιτικού σταθμού και τα σκαριφήματα που έγιναν στο πεδίο. Το σημαντικότερο πρόβλημα θα ήταν η ασφάλεια του συνεργείου εξαιτίας της πυκνής οδικής κίνησης, κατά το μεγαλύτερο μέρος της ημέρας.

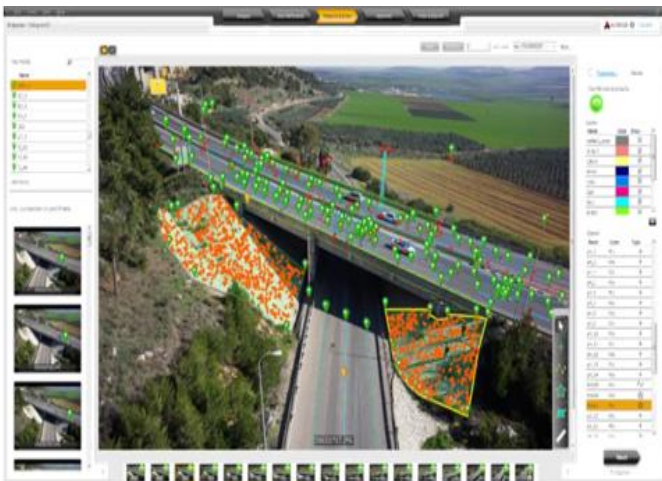
Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Κεφάλαιο 4ο: Αποτύπωση και επιτήρηση τεχνικών έργων με ΣμηΕΑ – drones

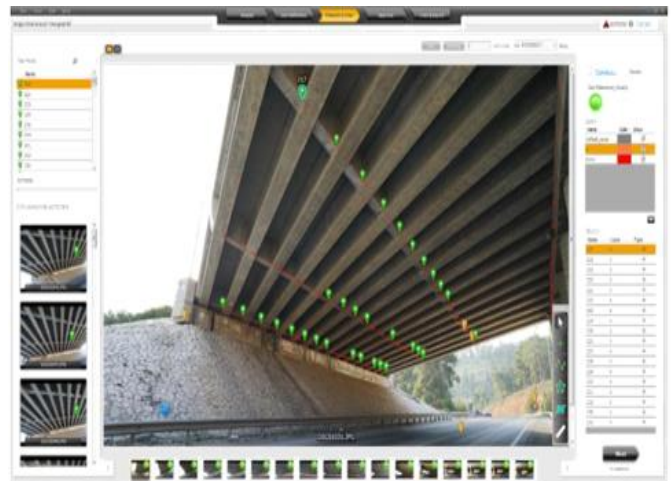
Αυτό το πρόβλημα λύθηκε με τη χρήση UAV, το οποίο φωτογράφησε τη δομή της γέφυρας, το δρόμο και την περιβάλλουσα τοπογραφία, με μία κάμερα Sony ILCE-6000 ανάλυσης 24-megarixel και εφοδιασμένη με φακό 16mm (βλ. εικ. 4.13). Η περιοχή της αποτύπωσης, χωρίστηκε σε 3 τμήματα και κάθε ένα τμήμα χρειαζόταν διαφορετική μέθοδο λήψης των εικόνων. Χρησιμοποιήθηκε τετράπτερο drone για να τραβήξει τις εικόνες του άνω οδοστρώματος, κάμερα πάνω σε τηλεσκοπικό κοντάρι για το κάτω οδόστρωμα και κάμερα χειρός για τη δομή της γέφυρας στο κάτω μέρος της. **Ο χρόνος της αποτύπωσης και της δημιουργίας του τρισδιάστατου μοντέλου ήταν 2,5 μέρες.** Ο χρόνος στο πεδίο ήταν 4 ώρες και συμπεριελάμβανε τη λήψη των εικόνων και τη μέτρηση σημείων ελέγχου για τη γεωαναφορά και τη συρραφή των εικόνων.

Συνολικά 174 σημεία μετρήθηκαν κάτω από τη γέφυρα με γεωδαιτικό σταθμό (βλ. εικ. 4.14), 26 από τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ως σημεία ελέγχου για τη γεωαναφορά των εικόνων από το drone, 50 σημεία χρησιμοποιήθηκαν ως σημεία εξασφάλισης για το κάτω μέρος της γέφυρας και 23 σημεία για το κάτω οδόστρωμα. Τα επιλεγμένα σημεία ελέγχου ήταν αντικείμενα καλά καθορισμένα, όπως γωνίες από πινακίδες, οι διαχωριστικές λωρίδες του οδοστρώματος και σημεία πάνω στην κύρια δοκό της γέφυρας.

Ο χρόνος συρραφής και γεωαναφοράς των εικόνων, καθώς και της σχεδίασης του τρισδιάστατου μοντέλου της διασταύρωσης ήταν 2 ημέρες.



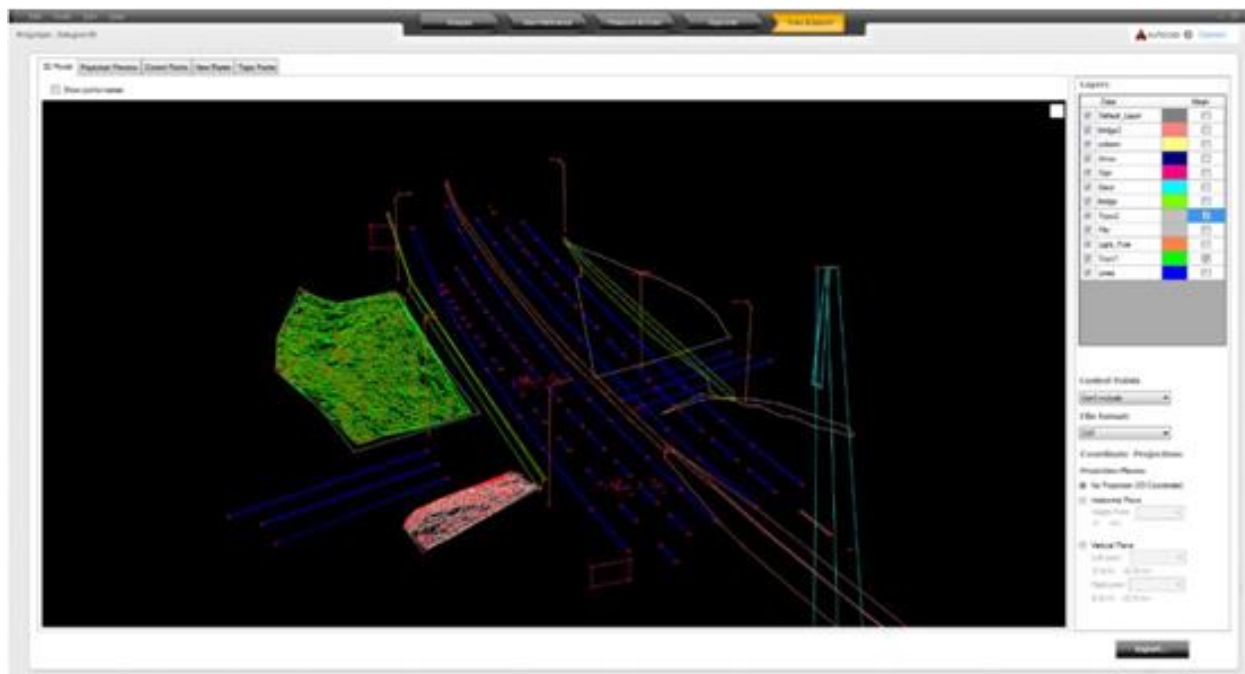
Εικόνα 4.13: Συρραφή εικόνων από το drone



Εικόνα 4.14: Συρραφή εικόνων της γέφυρας

Η παραγωγή του 3D μοντέλου (βλ. εικ. 4.15), έγινε με τη χρήση του λογισμικού DatuGramTM3D, το οποίο επεξεργάστηκε και συνέραψε τις εικόνες που λήφθηκαν με τις παραπάνω μεθόδους αποτύπωσης. Επιπροσθέτως, δημιουργήθηκε μια λίστα με όλες τις μετρήσεις πεδίου, η οποία περιλάμβανε τις ονομασίες των σημείων ελέγχου, τους κωδικούς, τις περιγραφές, τις συντεταγμένες και όλες τους τις μετρητικές ακρίβειες σε όλους τους άξονες.

Από την επεξεργασία των εικόνων, προέκυψαν 680 νέες μετρήσεις, με ακρίβεια καλύτερη των 2cm τόσο για τη θέση τους, όσο και για το υψόμετρό τους.



Εικόνα 4.15: Το τελικό 3D προϊόν από την αποτύπωση του ανισόπεδου κόμβου

4.5.3 Αποτύπωση ιστορικού χωριού κοντά στην Ιερουσαλήμ [42]

Όταν οι Ισραηλινές αρχές αποφάσισαν να δώσουν πρόσβαση στο κοινό σε ένα ιστορικό χωριό μεγάλης πολιτιστικής σημασίας κοντά στην Ιερουσαλήμ και έκτασης 80.000m², το πρώτο βήμα ήταν να αποτυπώσουν με μεγάλη προσοχή όλη την περιοχή για μελλοντικές αναστηλώσεις και επισκευές. Προτεραιότητα της κυβέρνησης ήταν η τουριστική λειτουργία του χώρου, επομένως η τοπογραφική εταιρεία θα έπρεπε να τελειώσει τη χαρτογράφηση της περιοχής σε 90 ημέρες και με το μικρότερο κόστος. Η εταιρεία που ανέλαβε το έργο μετά από διαγωνισμό, συνέκρινε συμβατικές μεθόδους χαρτογράφησης με την αποτύπωση του χώρου με UAV. Η προσέγγιση της εκτέλεσης του έργου με drone ήταν πιο αποδοτική και οικονομικότερη, καθώς θα ήταν **7 φορές φθηνότερη** σε σύγκριση με τους γεωδαιτικούς σταθμούς και 5 φορές από τα 3D laser scanners.

Οι απαιτήσεις των εργασιών ήταν να χαρτογραφηθεί το κεκλιμένο έδαφος των 80.000m² μαζί με τα 121 αρχαία κτήρια μέσα στο χρονικό όριο των 90 ημερών που έθεσε η κυβέρνηση του Ισραήλ. Στα παραδοτέα περιλαμβάνονται τρισδιάστατα διανυσματικά μοντέλα (3D vector models) του κάθε κτηρίου ξεχωριστά, μαζί με τις κατόψεις και τις όψεις τους και ένα τοπογραφικό διάγραμμα ολόκληρης της περιοχής, κλίμακας 1:100.

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Κεφάλαιο 4ο: Αποτύπωση και επιτήρηση τεχνικών έργων με ΣμηΕΑ – drones



Εικόνα 4.16: Τοπογραφικό διάγραμμα 1:100 του αρχαίου οικισμού

Η εταιρεία σχημάτισε ένα πλάνο, σύμφωνα με το οποίο ένα συνεργείο τοπογράφων θα ήταν υπεύθυνο για την ίδρυση της γεωαναφοράς των σημείων ελέγχου, για 10 κτήρια εβδομαδιαίως, ενώ ένας χειριστής UAV θα αποτύπωνε με εικόνες το κάθε ένα από τα κτήρια. Με τα πρόσθετα σταθερά σημεία ελέγχου, εξασφαλίζεται η ακρίβεια των πρωτογενών δεδομένων, τα οποία συγκρίνονται με τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο έδαφος. Οι εργασίες γραφείου περιλαμβάνουν έναν μηχανικό να πραγματοποιεί τη γεωαναφορά των εναέριων εικόνων του κάθε κτηρίου με το λογισμικό DatuGram3D και ένας δεύτερος μηχανικός αναλαμβάνει τη σύνθεση του τρισδιάστατου μοντέλου και των όψεων των κτηρίων (βλ. εικ. 4.16 – 4.19).



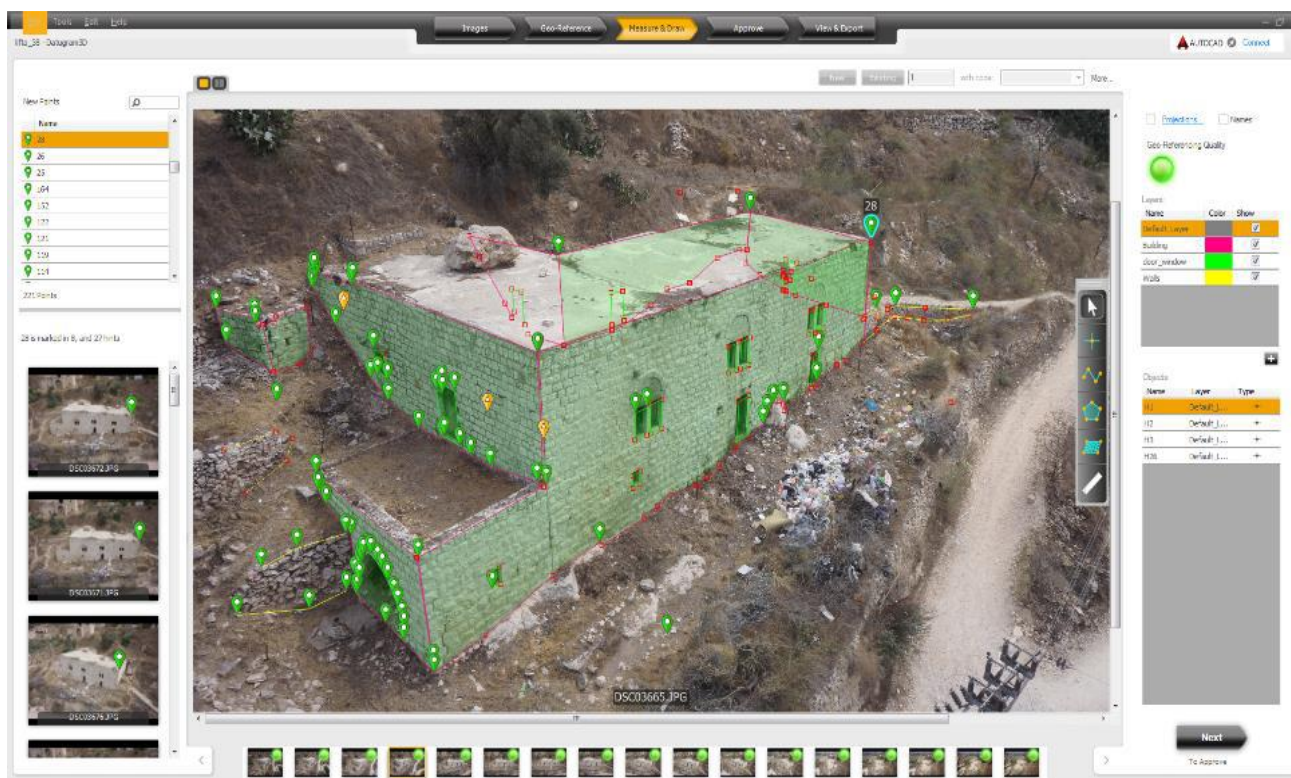
Εικόνα 4.17: Σχεδιασμός της όψης του κτηρίου



Εικόνα 4.18: 3D μοντέλο στο DatuGram3D

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Κεφάλαιο 4ο: Αποτύπωση και επιτήρηση τεχνικών έργων με ΣμηΕΑ – drones



Εικόνα 4.19: Επεξεργασία και γεωαναφορά εικόνων

	Γεωδαιτικοί σταθμοί	3D laser scanning	Datumate+DJI (μέθοδος με UAV)
Μέρες στο πεδίο	600	150	42
Μέρες στο γραφείο	300	360	150
Εξοπλισμός για την ολοκλήρωση σε 75 μέρες	8x γεωδαιτικοί σταθμοί	2x 3D laser scanners 2x γεωδαιτικοί σταθμοί	1x DJI drone(12μέρες) 1x γεωδαιτικός σταθμός (30μέρες)
1 μέρα στο πεδίο	490\$	1050\$	490\$
1 μέρα στο γραφείο	210\$	315\$	210\$
Κόστος πεδίου	294,000\$	157,500\$	20,580\$
Κόστος γραφείου	63,000\$	113,400\$	31,500\$
Συνολικό κόστος	357,000\$	270,900\$	52,080\$

Πίνακας 4.1: Προϋπολογισμός των μεθόδων αποτύπωσης

4.5.4 Προμέτρηση χωματουργικών εργασιών [43]

Η DroneDeploy, στα πλαίσια της συνεργασίας της με μία από τις μεγαλύτερες τεχνικές εταιρείες των Η.Π.Α. την Brasfield & Gorrie, ανέλαβε να δημιουργήσει το ανάγλυφο του εδάφους στην περιοχή ανέγερσης ενός νοσοκομείου, ώστε να συγκριθεί με τα ήδη υπάρχοντα υψομετρικά σχέδια για την εξακρίβωση των χωματουργικών εργασιών.

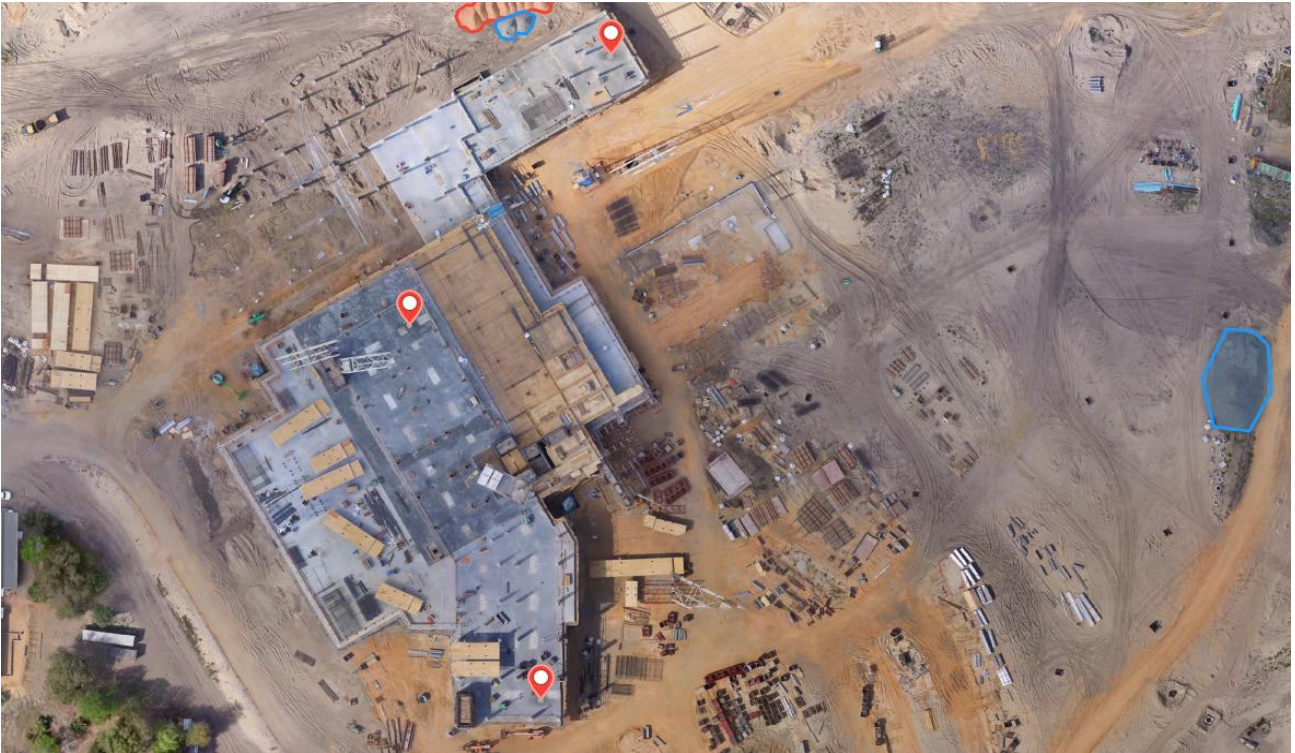
Κατά την εκτέλεση των εργασιών κατασκευής νοσοκομειακού έργου σε έκταση 61 στρεμμάτων στη Φλόριντα των Η.Π.Α., υπήρξε αβεβαιότητα ως προς τον όγκο των εκσκαφών. Συγκεκριμένα, ένας εργολάβος ολοκλήρωσε την αρχική εργασία εκσκαφών, αλλά ο υπεύθυνος εργοταξίου ανησυχούσε ότι τα νέα υψόμετρα εδάφους, δεν αντιστοιχούσαν σε αυτά της μελέτης. Αυτός ήταν και ο λόγος της συνεργασίας με την DroneDeploy η οποία ανέλαβε να χαρτογραφήσει με drone ολόκληρο το εργοτάξιο. Οποιαδήποτε άλλη μέθοδος θα ήταν χρονοβόρα και ακριβότερη.

Δημιουργήθηκε μία βάση απογείωσης - προσγείωσης για το drone τύπου Phantom 3 και ένας πιστοποιημένος χειριστής ανέλαβε να χαρτογραφήσει το εργοτάξιο. Χρειάστηκαν αρκετές πτήσεις εξαιτίας της μεγάλης έκτασης και συνολικά η αποτύπωση διήρκησε μόνο μία ώρα. Επειδή, ο χάρτης χρησιμοποιήθηκε για συγκριτική ανάλυση, ήταν πολύ σημαντικό να υπάρχει απόλυτη ταύτιση με τα σχέδια μελέτης. Για την εξασφάλιση αυτής της ακρίβειας, η Brasfield & Gorrie παρείχε τα απαραίτητα σημεία εξάρτησης, ώστε να γίνει η συρραφή και ο σωστός προσανατολισμός των εικόνων (βλ. εικ. 4.20). Μετά την ολοκλήρωση των πτήσεων, η Brasfield & Gorrie «ανέβασε» στην κοινή πλατφόρμα εργασίας με την DroneDeploy όλες τις εικόνες που τράβηξε το drone. Αργότερα, την ίδια μέρα, η DroneDeploy τελείωσε την επεξεργασία των εικόνων και δημιούργησε έναν ορθοφωτοχάρτη, έναν χάρτη υψομέτρων και ένα τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους (βλ. εικ. 4.21).

Με ταύτιση των τοπικών συντεταγμένων, μεταξύ των δύο σχεδίων, ανακαλύφθηκε η ανάγκη για πρόσθετες εκσκαφές, ώστε να φτάσουν στα επιθυμητά υψόμετρα. Η αποτύπωση και η παραγωγή των τελικών προϊόντων ήταν άμεση, επομένως υπήρξαν ελάχιστες καθυστερήσεις μερικών ημερών στο έργο.

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Κεφάλαιο 4ο: Αποτύπωση και επιτήρηση τεχνικών έργων με ΣμηΕΑ – drones



Εικόνα 4.20: Σημεία ελέγχου για τη μέτρηση υψομέτρων



Εικόνα 4.21: Τρισδιάστατο μοντέλο ολόκληρου του εργοταξίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο :

GPS ΚΑΙ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΙ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ

Σύνοψη:

Το παρόν κεφάλαιο αναλύει τις αρχές λειτουργίας των GPS (Global Positioning System) και των ρομποτικών γεωδαιτικών σταθμών. Αναφέρονται σημαντικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας τους και παρουσιάζονται τρόποι με τους οποίους η εν λόγω τεχνολογία γίνεται εξαιρετικό εργαλείο αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM και διαχείρισης τεχνικών έργων στα χέρια του μηχανικού.

5.1 Αρχές λειτουργίας ρομποτικού γεωδαιτικού σταθμού

Ο γεωδαιτικός σταθμός μετράει γωνίες και αποστάσεις προς σταθερά σημεία, για τα οποία είναι αναγκαία ο υπολογισμός των συντεταγμένων τους στο χώρο για την αποτύπωσή τους. Για τον προσδιορισμό συντεταγμένων σημείων στο χώρο, αντί για τη χρησιμοποίηση δύο ή περισσότερων θεοδόλιχων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο ένας γεωδαιτικός σταθμός υψηλής ακρίβειας (Σαββαΐδης Π.Δ. κ.ά., 2005) [44]. Για τη διεξαγωγή των μετρήσεων, στα σημεία που πρόκειται να αποτυπωθούν τοποθετούνται ανακλαστήρες ή ανακλαστικές ταινίες και ως μετρητικό όργανο χρησιμοποιείται γεωδαιτικός σταθμός υψηλής ακρίβειας. Η μέτρηση των σημείων πραγματοποιείται με τη μέθοδο των πολικών συντεταγμένων, όπου για κάθε σημείο, μετρούνται η κεκλιμένη απόσταση, η κατακόρυφη και η οριζόντια γωνία.

Η σύγχρονη μέθοδος χρησιμοποιεί ρομποτικό γεωδαιτικό σταθμό, ο οποίος είναι συνδεδεμένος με Η/Υ, στον οποίο υπάρχει το απαραίτητο λογισμικό για την άμεση επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων. Η ρομποτική λειτουργία του γεωδαιτικού σταθμού, επιτρέπει την αυτόματη παρακολούθηση του στόχου, τη μέτρηση και την αυτόματη αποθήκευσή της στη μνήμη του. Ο γεωδαιτικός σταθμός μπορεί να προγραμματιστεί για την εκτέλεση κάποιας εργασίας ή μπορεί να δεχτεί εντολές από τον χειριστή του. Ακόμα και ο στοχοφόρος διαθέτει στο στυλεό του κατάφωτο πληκτρολόγιο για τον άμεσο χειρισμό του οργάνου. Αυτή η αυτονομία παρέχει σημαντική οικονομία, καθώς όλες οι μετρήσεις μπορούν να γίνουν από ένα μόνο άτομο.

Η χρησιμότητά αυτών των οργάνων καλύπτει από τις κοινές τοπογραφικές εργασίες όπως αποτυπώσεις, χαράξεις και οδοποιία, μέχρι πιο εξειδικευμένες εργασίες όπως ο έλεγχος και η αυτόματη παρακολούθηση μικρομετακινήσεων τεχνικών έργων, όπως μεταλλικών γεφυρών και φραγμάτων, ενημερώνοντας τον μηχανικό για οποιαδήποτε μη επιθυμητή μεταβολή ώστε να αποφευχθούν αστοχίες κατά τη φάση ανέγερσης μιας κατασκευής.

Οι χαρακτηριστικές ιδιότητες ενός ρομποτικού γεωδαιτικού σταθμού, περιγράφονται ως εξής (Μπαντέλας κ.ά., 2004) [45]:

- Κινείται αυτόματα γύρω από τους κύριους άξονές του με τη χρήση των κατάλληλων εντολών και μπορεί να εκτελεί επαναλαμβανόμενα προγράμματα κινήσεων.

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Κεφάλαιο 5^ο: GPS και ρομποτικοί γεωδαιτικοί σταθμοί

- Εκτελεί προγράμματα κινήσεων και μετρήσεων, που είναι αποθηκευμένα στη μνήμη του.
- Έχει τη δυνατότητα εκμάθησης νέων δεδομένων, τα οποία αποθηκεύει στη μνήμη του και τα χρησιμοποιεί στη συνέχεια αναπροσαρμόζοντας το πρόγραμμα λειτουργίας του.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές και διαφορετικές εφαρμογές.

Οι μορφές του αυτοματισμού στα σύγχρονα γεωδαιτικά συστήματα μετρήσεων (Μπαντέλας κ.ά., 2004) [45]:

- Απλά ηλεκτρονικά συστήματα (π.χ. ηλεκτρονικοί θεοδόλιχοι ή γεωδαιτικοί σταθμοί) με παρατηρητή, συνδεδεμένα με Η/Υ για άμεσο έλεγχο της διαδικασίας μέτρησης, αποθήκευση των μετρήσεων και εκτέλεση υπολογισμών.
- Ηλεκτρονικοί σερβοθεοδόλιχοι ή γεωδαιτικοί σταθμοί, που μπορούν να επαναλαμβάνουν μια σειρά κινήσεων και μετρήσεων που τους «διδάχθηκε».
- Ηλεκτρονικοί σερβοθεοδόλιχοι ή γεωδαιτικοί σταθμοί με σερβοκίνηση που δέχονται οδηγίες για τη διαδικασία μέτρησης με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού συνδεδεμένοι με Η/Υ.
- Ρομποτικά συστήματα στα οποία υπάρχουν και άλλοι αισθητήρες (π.χ. κάμερα CCD (Charge Coupled Device) για αυτόματο εντοπισμό στόχου – automatic target recognition) πέρα από τα σερβοκινούμενα όργανα, τα οποία έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιούν τους αισθητήρες, να εκτελούν τις μετρήσεις, να κάνουν την ίδια στιγμή (σε πραγματικό χρόνο) την επεξεργασία των μετρήσεων και ανάλογα, είτε να παρέχουν τα αποτελέσματα, είτε να τροποποιούν το πρόγραμμα μετρήσεων το οποίο τους είχε αρχικά δοθεί.

Τύπος	Κατασκευαστής	Ακρίβεια Γωνιών (mgon)	Ακρίβεια Αποστάσεων
TCA2003	Leica	0.15	1mm ± 1ppm
TDA5005	Leica	0.15	1mm ± 2ppm
S6	Trimble	0.30	3mm ± 2ppm
GRT8201	Topkon	0.30	2mm ± 2ppm
SET230RM	Sokkia	0.30	2mm ± 2ppm
NET1200	Sokkia	0.30	2mm ± 2ppm

Πίνακας 5.1: Σύγχρονοι Ρομποτικοί Γεωδαιτικοί Σταθμοί υψηλής ακριβείας [46]



Εικόνα 5.1: Ο ρομποτικός γεωδαιτικός σταθμός GT Series της Topcon συνδέεται απευθείας με το Λογισμικό BIM 360 Layout της Autodesk [47]

5.2 Δορυφορικά συστήματα εντοπισμού θέσης

Τα δορυφορικά συστήματα εντοπισμού θέσης (GNSS – Global Navigation Satellite System), κάνανε την εμφάνισή τους τη δεκαετία του 1960 και έκτοτε εξελίσσονται συνεχώς παρέχοντας μεγαλύτερη ακρίβεια και περισσότερα πλεονεκτήματα. Βασική λειτουργία τους είναι ο προσδιορισμός απόλυτων ή σχετικών τρισδιάστατων συντεταγμένων, των σημείων που βρίσκονται πάνω στην επιφάνεια της γης. Αυτό επιτυγχάνεται με τη λήψη και επεξεργασία μετρήσεων, οι οποίες λαμβάνονται από τεχνητούς δορυφόρους σε τροχιά της γης.

Υπάρχουν διάφορα δορυφορικά συστήματα, το κάθε ένα με το δικό του προσομοίωμα του ελλειψοειδούς εκ περιστροφής. Κυρίως χρησιμοποιείται το **GPS (Global Positioning System** – παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού), που αναπτύχθηκε από τις Η.Π.Α. Άλλα συστήματα είναι το **GLONASS (GLObal NAVigation Satellite System)** της Ρωσίας, το ευρωπαϊκό σύστημα **GALLILEO** που πήρε το όνομά του από τον Ιταλό αστρονόμο Γαλιλαίο και το ελληνικό σύστημα εντοπισμού **HEPOS (HEllenic POSitioning System)**, το οποίο είναι σε λειτουργία από το Μάιο του 2009.

5.2.1 Όργανα δορυφορικού εντοπισμού

Οι δέκτες GPS είναι όργανα που αποτελούνται από τρία κύρια μέρη, την κεραία, το δέκτη και το χειριστήριο. Φυσικά, όπως σχεδόν όλα τα όργανα, ανάλογα με τη χρήση τους, μπορεί να απαιτούνται πρόσθετα μέρη όπως αντάπτορες ή σε παλιότερα μοντέλα modem για την ασύρματη σύνδεση με Η/Υ.

Η κεραία λαμβάνει το σήμα από τους δορυφόρους του συστήματος και το ενισχύει με τον προενισχυτή πριν το στείλει στο δέκτη για επεξεργασία. Το σήμα που λαμβάνει η κεραία μπορεί να είναι μόνο στη συχνότητα L1 ή στην L1 και L2, για τις συχνότητες του συστήματος εντοπισμού GPS και GLONASS. Σημαντικό χαρακτηριστικό της κεραίας είναι η ικανότητά της στη λήψη σημάτων διαφορετικής διεύθυνσης και από διαφορετικές γωνίες ύψους, ανάλογα με τους δορυφόρους που έχει εντοπίσει.

Ο βασικός δέκτης παραλαμβάνει τα δορυφορικά σήματα από την κεραία, ώστε να τα επεξεργαστεί. Ένας δέκτης διαθέτει αρκετά κανάλια (διαύλους), τα οποία λειτουργούν ταυτόχρονα και το κάθε ένα παρακολουθεί από έναν δορυφόρο, που βρίσκεται πάνω από τον ορίζοντα και στο οπτικό πεδίο της κεραίας. Ο κάθε δέκτης διαθέτει ένα μικροεπεξεργαστή και λογισμικό, για την εκτέλεση λειτουργιών όπως: παρακολούθηση δορυφόρων, επεξεργασία σήματος, προσδιορισμός σήματος και επικοινωνία με τον χρήστη.

Το χειριστήριο είναι η μονάδα εισαγωγής εντολών και επικοινωνίας με τον χειριστή. Πρακτικά είναι ένας υπολογιστής με οθόνη αφής ή οθόνη και πληκτρολόγιο, μέσω του οποίου δίνονται εντολές στο σύστημα του GPS, όπως η γωνία αποκοπής δορυφόρων, η μεθοδολογία μέτρησης, ο ρυθμός καταγραφής, η εισαγωγή παραμέτρων μετρήσεων και υπολογισμών, το επιθυμητό σύστημα αναφοράς των συντεταγμένων και η ονομασία των σημείων. Επιπλέον, το χειριστήριο ενημερώνει τον χρήστη για την κατάσταση του οργάνου, όπως ποσοστό μπαταρίας, πιθανή απώλεια σήματος, την εξέλιξη και τον απαιτούμενο χρόνο ολοκλήρωσης των μετρήσεων, τις συντεταγμένες των σημείων, την αβεβαιότητα των υπολογισμών, τον αριθμό και τη γεωμετρία των δορυφόρων που έχουν εντοπιστεί.

5.2.2 Μετρήσεις με όργανα GPS

Οι μετρήσεις επιτυγχάνονται με τον απόλυτο ή σχετικό προσδιορισμό της θέσης ενός επίγειου σημείου. Ο απόλυτος προσδιορισμός της θέσης γίνεται με την εξαγωγή συντεταγμένων των σημείων στο σύστημα αναφοράς WGS'84. Ενώ, με το σχετικό προσδιορισμό της θέσης καθορίζονται οι συντεταγμένες ενός σημείου σε σχέση με κάποιο άλλο. Σε αυτή την περίπτωση, για μεγαλύτερη ακρίβεια των συντεταγμένων, αλλά και για την απαλοιφή σφαλμάτων που μπορεί να οφείλονται στους δορυφόρους, στην ατμόσφαιρα και σε άλλους παράγοντες, γίνεται ταυτόχρονη παρακολούθηση των ίδιων δορυφόρων από δύο ή

περισσότερους διαφορετικούς δέκτες. Συγκριτικά, η ακρίβεια του σχετικού εντοπισμού των συντεταγμένων ενός σημείου είναι μεγαλύτερη από αυτή του απόλυτου προσδιορισμού θέσης. Αυτός είναι και ο λόγος που στις γεωδαιτικές εφαρμογές χρησιμοποιείται σχεδόν πάντα η μέθοδος του σχετικού εντοπισμού.

Η ακρίβεια των GPS συστημάτων επηρεάζεται από τη γεωμετρία μεταξύ των δορυφόρων που χρησιμοποιούνται και του σημείου μετρήσεως. Όσο πιο πολύπλοκη η γεωμετρία, δηλαδή όσο μεγαλύτερος ο αριθμός των ορατών δορυφόρων, τόσο μεγαλύτερη ακρίβεια υπάρχει στον υπολογισμό των συντεταγμένων. Αυτός ο παράγοντας ονομάζεται **GDOP (Geometric Dilution Of Precision)** και η ακρίβεια είναι αντιστρόφως ανάλογη της τιμής του.

Ένας ακόμη παράγοντας που συμβάλει στην ακρίβεια των μετρήσεων, είναι η ατμοσφαιρικές συνθήκες και συγκεκριμένα στα στρώματα της ιονόσφαιρας και της τροπόσφαιρας. Το σήμα μπορεί να στρεβλωθεί περνώντας μέσα από τα στρώματα της ατμόσφαιρας και τις διαφορετικές συνθήκες που επικρατούν στο καθένα.

Η αύξηση της ακρίβειας προσδιορισμού συντεταγμένων είναι μία σημαντική τεχνολογική εξέλιξη του συστήματος GPS και καθιστά δυνατή τη χρήση του στη διαχείριση των παραμορφώσεων ενός τεχνικού έργου. Μία ακόμα χρήση, κατά την οποία γίνεται μόνιμη εγκατάσταση των οργάνων σε κατάλληλα σημεία, είναι η παρακολούθηση και ο έλεγχος κατολισθήσεων.



Εικόνα 5.2: Leica Viva GS16 – Self-Learning GNSS Smart Antenna [48]

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης συστήματος GPS σε τεχνικά έργα είναι η απευθείας απόδοση συντεταγμένων (X,Y) και υψομέτρου (H) για τα σημεία μέτρησης και η δυνατότητα μόνιμης εγκατάστασης σε καίρια σημεία του έργου. Επιπλέον, οι μετρήσεις γίνονται αυτόματα σε όλη τη διάρκεια του 24ώρου χωρίς να απαιτείται πολυμελές συνεργείο για τη χρήση του οργάνου.



Εικόνα 5.3: Leica Viva GS14 [49]

Τα μειονεκτήματα των GPS (βλ. εικ. 5.2 & 5.3) οργάνων είναι το κόστος τους, η χαμηλή βεβαιότητα στην ακρίβεια προσδιορισμού των υψομέτρων κάτι που τείνει να εξαλειφθεί με τη νέα γενιά των GPS και η αδυναμία της αποτελεσματικής χρησιμοποίησής τους σε τεχνικά έργα που βρίσκονται εντός του αστικού, δομημένου περιβάλλοντος, καθώς υπάρχει κακή λήψη σήματος από τους δορυφόρους, εξαιτίας των εμποδίων.

5.2.3 Το ελληνικό σύστημα εντοπισμού HEPOS [50]

Η δημόσια επιχείρηση ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. σχεδίασε, υλοποίησε και έθεσε σε λειτουργία το ελληνικό σύστημα εντοπισμού θέσης **HEPOS (HEllenic POsitioning System)** για να παρέχει υπηρεσίες προσδιορισμού θέσης, αξιοποιώντας το υφιστάμενο παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα εντοπισμού (GPS - Global Positioning System). Αυτό το σύστημα αποτελείται από 98 μόνιμους σταθμούς αναφοράς GPS (βλ εικ. 5.5), καταμετρημένους σε ολόκληρη τη χώρα. Στο κέντρο ελέγχου του συστήματος συγκεντρώνονται σε πραγματικό χρόνο όλες οι μετρήσεις των σταθμών, οι οποίες μετά από επεξεργασία και αρχειοθέτηση, αποστέλλονται στους χρήστες που τις χρειάζονται.

Το HEPOS παρέχει υπηρεσίες πραγματικού χρόνου (real-time), κατά τις οποίες ο χρήστης προσδιορίζει τη θέση ενός σημείου άμεσα κατά τη στιγμή της μέτρησης και υπηρεσίες όπου η θέση των μετρημένων σημείων προσδιορίζεται μέσω επεξεργασίας δεδομένων στο γραφείο (post-processing).

Το HEPOS έχει πανελλαδική κάλυψη και προσφέρει υψηλή ακρίβεια εντοπισμού σε όλη τη χώρα, υλοποιώντας έτσι ένα γεωδαιτικό πλαίσιο αναφοράς εξαιρετικά υψηλής ομοιογένειας σε εθνικό επίπεδο. Η χρήση του απλοποιεί τον προσδιορισμό συντεταγμένων, επιτρέποντας στον κάτοχο ενός μόνο γεωδαιτικού δέκτη GPS να μετράει με γεωδαιτική ακρίβεια σε πραγματικό χρόνο, κάτι που μέχρι πρόσφατα απαιτούσε την ταυτόχρονη χρήση τουλάχιστον δύο οργάνων GPS. Οι υπηρεσίες του ελληνικού συστήματος εντοπισμού θέσης είναι διαθέσιμες σε κάθε ενδιαφερόμενο από το Μάιο του 2009.

Απαραίτητη προϋπόθεση για τη χρήση των υπηρεσιών του HEPOS είναι η εγγραφή ενός χρήστη στο σύστημα. Ο τιμοκατάλογος με τα τέλη εγγραφής-χρήσης διατίθεται στην αρχική σελίδα του ιστοχώρου http://www.hepos.gr/hepos/HEPOS_pricelist_090525_gr.pdf.

Ένας χρήστης των υπηρεσιών πραγματικού χρόνου του HEPOS, χρειάζεται ένα γεωδαιτικό δέκτη για κινηματικό εντοπισμό σε πραγματικό χρόνο (RTK) ή ένα δέκτη με δυνατότητα DGPS (Differential GPS) μέσω δικτύου σταθμών αναφοράς. Επίσης χρειάζεται μία συσκευή επικοινωνίας με το κέντρο ελέγχου (GSM ή GPRS modem). Το modem μπορεί είτε να είναι εξωτερικό, όπως το κινητό τηλέφωνο του χρήστη, είτε να είναι ενσωματωμένο στο δέκτη GPS ή στο χειριστήριο. Για ένα χρήστη ο οποίος θέλει να επεξεργαστεί μόνος του τα δεδομένα, η μόνη απαίτηση είναι να διαθέτει λογισμικό γραφείου που να μπορεί να επεξεργαστεί αρχεία RINEX που περιέχουν τις παρατηρήσεις των σταθμών του HEPOS, κάτι που προσφέρουν σχεδόν όλα τα σύγχρονα πακέτα λογισμικού της αγοράς. Η μορφή RINEX (Receiver INdependent EXchange format) είναι μία ASCII μορφή αποθήκευσης των παρατηρήσεων GPS, που είναι διεθνώς αποδεκτή από τους κατασκευαστές δεκτών και λογισμικού GPS. Όλοι οι κατασκευαστές δεκτών GPS εξασφαλίζουν ότι οι μετρήσεις μπορούν να εξαχθούν σε μορφή RINEX και όλα τα λογισμικά επίλυσης παρέχουν τη δυνατότητα εισαγωγής δεδομένων μορφής RINEX. Αυτό ουσιαστικά καθιστά το HEPOS συμβατό με τους δέκτες GPS όλων των κατασκευαστών.

Για τις εφαρμογές πραγματικού χρόνου ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιεί σύνδεση κινητής τηλεφωνίας οποιουδήποτε παρόχου. Μοναδική προϋπόθεση είναι να έχει ενεργοποιημένες τις υπηρεσίες που επιτρέπουν τη χρήση GSM modem, ή/και GRPS. Ειδικά για τις συνδέσεις μέσω GSM modem, ανεξαρτήτως παρόχου, δεν πρέπει να είναι ενεργοποιημένη η απόκρυψη του αριθμού κλήσης γιατί μέσω αυτού γίνεται η αναγνώριση του χρήστη για να του επιτραπεί η πρόσβαση στο σύστημα. Οι δικτυακές τεχνικές GPS αναπτύχθηκαν την τελευταία δεκαετία και υλοποιούν το σχετικό εντοπισμό, αξιοποιώντας στοιχεία από πολλούς σταθμούς αναφοράς σε αντίθεση με τον κλασικό σχετικό εντοπισμό. Το HEPOS υποστηρίζει όλες τις υφιστάμενες δικτυακές τεχνικές GPS.

Οι δικτυακές τεχνικές είναι αυτή του εικονικού σταθμού αναφοράς (VRS: Virtual Reference Station), η τεχνική FKP (Flaechenkorrekturparameter) και η τεχνική MAC (Master Auxiliary Concept). Οι τεχνικές FKP και MAC χρησιμοποιούνται μόνο για εφαρμογές RTK. Κατά τη χρήση της τεχνικής VRS, το κέντρο ελέγχου δημιουργεί, με βάση τα δεδομένα των πραγματικών σταθμών, δεδομένα σταθμού αναφοράς για μία οποιαδήποτε θέση μέσα στην περιοχή δικτυακής λύσης του HEPOS. Ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιεί τα δεδομένα αυτά, με τον ίδιο ακριβώς τρόπο, σαν να είχαν προκύψει από σταθμό αναφοράς τοποθετημένο στη συγκεκριμένη αυτή θέση.

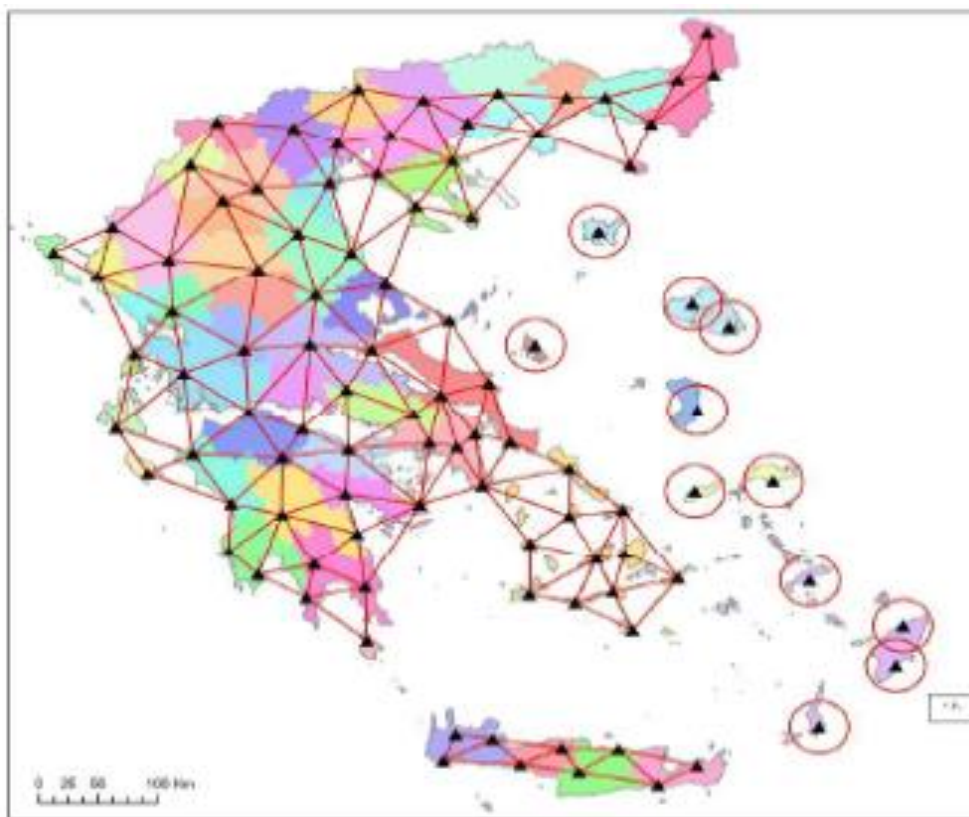
Για όσα έργα υλοποιούνται στο σύστημα αναφοράς ETRS89 (όπως τα υπόβαθρα του Γ'ΚΠΣ της ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε.) δεν απαιτείται μετασχηματισμός και η χρήση του HEPOS μπορεί

να είναι άμεση. Για τον προσδιορισμό θέσης στο ΕΓΣΑ'87 η ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. ανέπτυξε σε συνεργασία με το ΑΠΘ το επίσημο μοντέλο μετασχηματισμού μεταξύ HTRS07 (Hellenic Terrestrial Reference System 2007) που χρησιμοποιεί το HEPOS και ΕΓΣΑ87.

Με το HEPOS επιτυγχάνεται η πλήρης ακρίβεια που προσφέρει η κάθε τεχνική εντοπισμού με GPS. Ειδικότερα όταν χρησιμοποιούνται δικτυακές τεχνικές, η ακρίβεια που επιτυγχάνεται είναι συνήθως υψηλότερη. Με την τεχνική RTK ένα σημείο μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια λίγων cm. Με την τεχνική DGPS (βλ. εικ. 5.4) η ακρίβεια η οποία επιτυγχάνεται είναι καλύτερη του μέτρου (sub-meter accuracy) ενώ όταν χρησιμοποιείται το HEPOS μπορεί να φθάνει και μέχρι 0,20 m ανάλογα με τον εξοπλισμό του χρήστη. Με τη στατική τεχνική επιτυγχάνεται η μέγιστη ακρίβεια, η οποία μπορεί με πολύωρες παρατηρήσεις να φτάσει μέχρι το επίπεδο λίγων mm. Για τη χρήση των υπηρεσιών του HEPOS στο πεδίο, ισχύουν οι προϋποθέσεις που ισχύουν γενικότερα για τη χρήση δεκτών GPS, δηλαδή πρέπει να υπάρχει καλή ορατότητα δορυφόρων, περιβάλλον απαλλαγμένο από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές κλπ. Επιπλέον, για τη χρήση των υπηρεσιών πραγματικού χρόνου χρειάζεται να υπάρχει κάλυψη GPRS ή GSM.



Εικόνα 5.4: Παράδειγμα δεκτών GPS με δυνατότητα διεξαγωγής DGPS που είναι ειδικά σχεδιασμένοι για εφαρμογές GIS [51]



Εικόνα 5.5: Οι 98 Σταθμοί Αναφοράς του HEPOS [51]

5.3 Παράδειγμα μελέτης με χρήση GPS και ρομποτικού γεωδαιτικού σταθμού

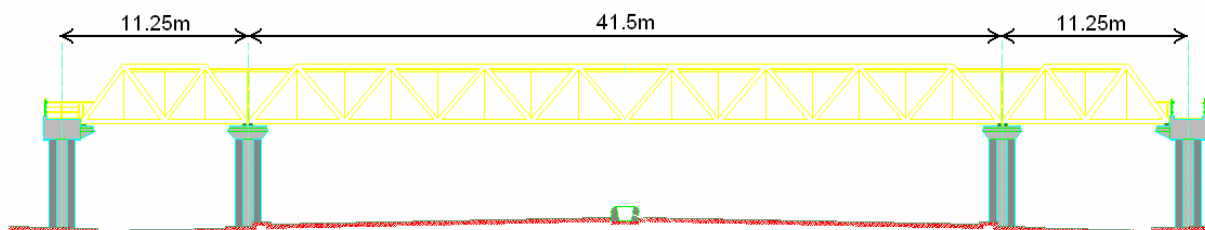
5.3.1 Μέτρηση ταλαντώσεων μεταλλικής πεζογέφυρας με γεωδαιτικά όργανα [52]

Η εν λόγω μελέτη παρουσιάζει τα προκαταρκτικά αποτελέσματα μίας από τις πρώτες εφαρμογές που έχουν γίνει διεθνώς στη μέτρηση ταλαντώσεων με RTS (Robotic Total Station) σε σχετικά δύσκαμπτες μεταλλικές κατασκευές. Δύσκαμπτη χαρακτηρίζεται μία κατασκευή με κύρια ιδιοσυχνότητα μεγαλύτερη του 1Hz. Μελετητής του έργου είναι ο κ. Γ. Σεκάρας και η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιήθηκε από τον κ. Α. Θεοδώρου.

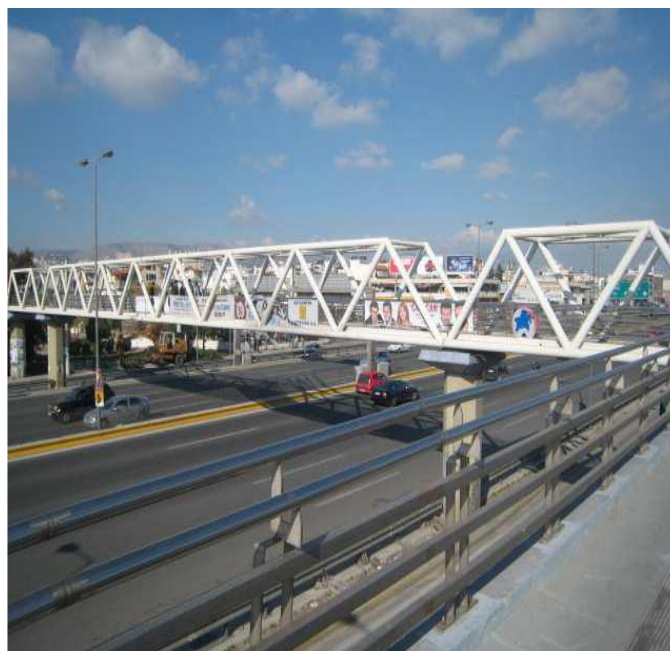
Αντικείμενο της μελέτης είναι πεζογέφυρα συνολικού μήκους 62m, η οποία βρίσκεται στην εθνική οδό Αθηνών – Λαμίας (βλ. εικ. 5.6 & 5.7). Για τη διεξαγωγή της μελέτης χρησιμοποιήθηκαν 2 RTS, ένας επιταχυνσιογράφος και ένα GPS, ώστε να υπάρχει επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων και ανεξάρτητος έλεγχος των μετρήσεων. Οι ανακλαστήρες και οι άλλοι αισθητήρες τοποθετήθηκαν στο μέσο του ανοίγματος της γέφυρας (βλ. εικ. 5.8), ενώ οι ρομποτικοί γεωδαιτικοί σταθμοί τοποθετήθηκαν σε σταθερό έδαφος, για να καταγράψουν τις ταλαντώσεις της γέφυρας που προκλήθηκαν από βηματισμούς και

συντονισμένα άλματα περίπου 10 φοιτητών του τμήματος πολιτικών μηχανικών του πανεπιστημίου Πατρών. Η φασματική ανάλυση των μετρήσεων έδειξε ότι η δυναμική κατακόρυφη ταλάντωση της γέφυρας είχε εύρος 4 – 5mm, ενώ η κύρια συχνότητα είναι της τάξεως των 4,3Hz. Τα αποτελέσματα επαληθεύτηκαν από τις ανεξάρτητες μετρήσεις του GPS και συμβαδίζουν με τις εκτιμήσεις του μελετητή.

Η πεζογέφυρα βρίσκεται στην εθνική οδό Αθηνών – Λαμίας και συγκεκριμένα, κοντά στη διασταύρωση με την οδό Π. Ράλλη. Η μεταλλική γέφυρα είναι δικτυωτή, τύπου Pratt και έχει μήκος 62m. Αποτελείται από τέσσερα βάρθρα οπλισμένου σκυροδέματος και από τρία ανοίγματα, δύο ακριανά μήκους 11,2m και ένα κεντρικό μήκους 41,5m. Η γέφυρα σχεδιάστηκε σύμφωνα με τους ευρωκώδικες EC1 και EC3. Στόχος της σχεδίασης ήταν στη φάση λειτουργικότητας να εμφανίζει ιδιοσυχνότητες μεγαλύτερες των 3Hz και μέγιστο βέλος κάμψης 3cm.



Εικόνα 5.6: Όψη της μεταλλικής πεζογέφυρας



Εικόνα 5.7: Πεζογέφυρα εθνικής οδού Αθηνών-Λαμίας

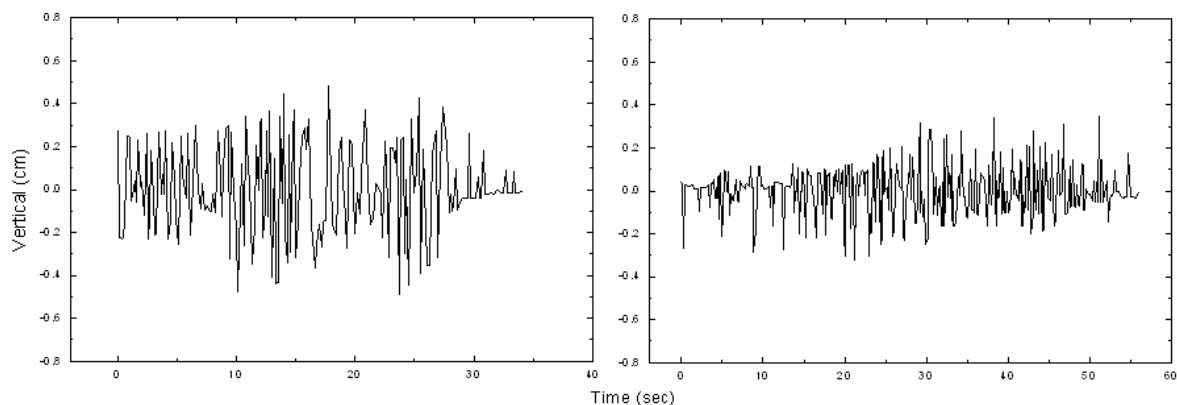


Εικόνα 5.8: Η διάταξη των δεκτών GPS και των ανακλαστήρων πάνω στις τεγίδες και τους οριζόντιους συνδέσμους δυσκαμψίας

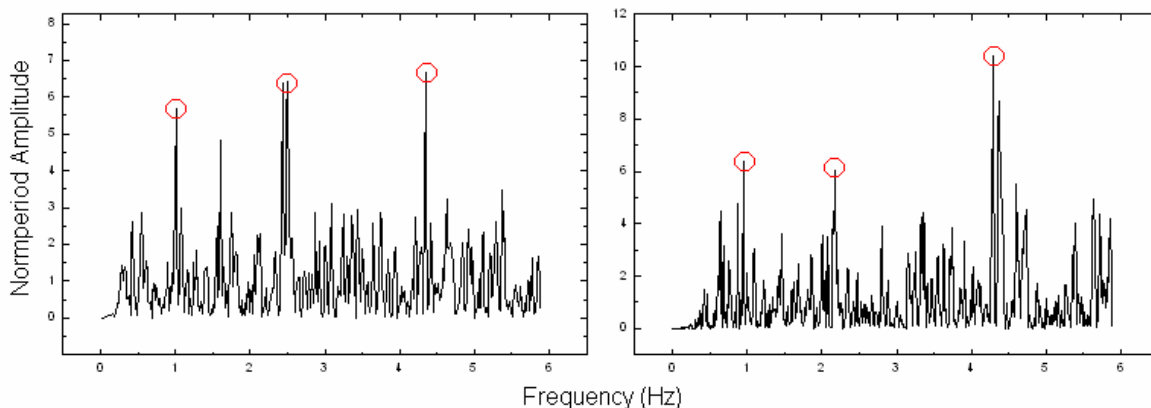
Για την ανάλυση των αποτελεσμάτων, οι μετρήσεις όλων των οργάνων μετασχηματίστηκαν σε ένα κοινό, τοπικό σύστημα αναφοράς. Κατά την επεξεργασία των μετρήσεων εντοπίστηκαν τα τμήματα διέγερσης, πραγματοποιήθηκε στατιστική και φασματική ανάλυση των χρονοσειρών όλων των καταγραφών και συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα των οργάνων.

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων 10 άτομα (περίπου 80 κιλών) διέγερναν με διάφορους τρόπους τη γέφυρα (βάδισμα, τρέξιμο, άλματα) και καταγράφηκαν συνολικά 10 διεγέρσεις. Για την επεξεργασία των μετρήσεων, το πρώτο βήμα ήταν ο μετασχηματισμός τους στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων, στο οποίο η αρχή των αξόνων θεωρείται η θέση ισορροπίας του κάθε δέκτη και ανακλαστήρα σε περίοδο ηρεμίας της γέφυρας. Το επόμενο βήμα ήταν να συσχετιστούν και να απομονωθούν τα τμήματα των καταγραφών των οργάνων που αντιστοιχούσαν στις περιόδους των διεγέρσεων. Στην συνέχεια με χρήση της τεχνικής του κινούμενου μέσου όρου (moving average) ομαλοποιήθηκαν οι χρονοσειρές και η αρχική χρονοσειρά διαχωρίστηκε στην ημιστατική απόκριση και στην δυναμική που προκλήθηκαν από την διέγερση. Με την μέθοδο αυτή ήταν δυνατός ο προσδιορισμός της ημιστατικής μετακίνησης και του εύρους ταλάντωσης της γέφυρας. Το τελευταίο στάδιο της ανάλυσης αποτελεί η φασματική ανάλυση. Για την φασματική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε ο κώδικας NORMPERIOD (Pytharouli and Stiros, 2008) ο οποίος στηρίζεται στο περιοδόγραμμα του Lomb και στη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων, και έχει τη δυνατότητα ανάλυσης μικρών χρονοσειρών με μη ισαπέχοντα δεδομένα.

Από τη στατιστική και φασματική ανάλυση των χρονοσειρών του RTS προέκυψε ότι η κατακόρυφη δυναμική απόκριση της γέφυρας ήταν περίπου $\pm 4\text{-}5\text{mm}$ (βλ. εικ. 5.9). Επίσης, προέκυψαν συχνότητες διέγερσης 1Hz, καθώς και συχνότητες 2,4 και 4,3Hz, οι οποίες πιθανότατα αντιστοιχούν στις ιδιοσυχνότητες της κατασκευής (βλ. εικ. 5.10). Οι συχνότητες αυτές εμφανίστηκαν και στις φασματικές αναλύσεις του GPS και του επιταχυνσιογράφου. Από τις συχνότητες αυτές σε όλες τις περιπτώσεις ιδιαίτερα έντονη είναι η παρουσία της συχνότητας των 4,3Hz στις φασματικές αναλύσεις και των τριών οργάνων, κάτι που σημαίνει ότι η μέτρηση αυτή είναι και η κύρια κατακόρυφη ιδιοσυχνότητα της κατασκευής. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης των μετρήσεων του RTS που συγκρίθηκαν με αυτά που προέκυψαν από τα υπόλοιπα όργανα δείχνουν ότι ο ρομποτικός γεωδαιτικός σταθμός είναι αξιόπιστος και ακριβής για την καταγραφή δυναμικής απόκρισης ακόμα και δύσκαμπτων κατασκευών. Σαφέστατα η συνδυασμένη χρήση του με άλλα όργανα όπως το GPS και ο επιταχυνσιογράφος κάνει την εφαρμογή του ακόμα πιο αξιόπιστη και αποδοτική.



Εικόνα 5.9: Η κατακόρυφη δυναμική απόκριση της γέφυρας από την ανάλυση των χρονοσειρών του RTS με μέγιστο εύρος $\pm 4\text{-}5\text{mm}$



Εικόνα 5.10: Τα φάσματα που προέκυψαν με χρήση του κώδικα NORMPERIOD εκτιμώμενες κύριες συχνότητες διέγερσης 1Hz, 2,4Hz και 4,3Hz

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο : SCAN TO BIM

Σύνοψη:

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η διαδικασία και οι προκλήσεις με τις οποίες ένα νέφος σημείων μετατρέπεται σε μοντέλο BIM. Το BIM είναι ένα «έξυπνο» τρισδιάστατο μοντέλο, που αναπαριστά τα φυσικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά ενός έργου, παρέχοντας στο μηχανικό τη γνώση και τα εργαλεία για να σχεδιάσει, να μελετήσει, να κατασκευάσει και να διαχειριστεί κτίρια και εγκαταστάσεις πιο αποδοτικά. Όμως η διαδικασία μοντελοποίησης δεν είναι μία αυτόματη διαδικασία αλλά απαιτεί γνώσεις πάνω στον χειρισμό του BIM λογισμικού και χαρακτηρίζεται δυσκολότερη από την ίδια την αποτύπωση του φυσικού αντικειμένου.

6.1 Τί είναι το Scan to BIM

Η δυνατότητα ψηφιακής σύλληψης ενός φυσικού χώρου ή τοποθεσίας, από το έδαφος (π.χ. 3D laser scanner) και από τον αέρα (π.χ. LiDAR αποτύπωση με UAV), χρησιμοποιώντας δεδομένα σάρωσης για τη δημιουργία ενός έξυπνου τρισδιάστατου μοντέλου, αναφέρεται συχνά ως Scan-to-BIM.

Η διαδικασία Scan-to-BIM αποτελεί ένα σημαντικό σημείο εκκίνησης για τις ομάδες σχεδιασμού που χρησιμοποιούν τρισδιάστατα μοντέλα BIM για να προσδιορίσουν και να ολοκληρώσουν τα σχέδιά τους και στη συνέχεια να διαχειριστούν, να συντονίσουν και να μοιραστούν όλες τις πληροφορίες έργου.

Η ίδια η φράση Scan-to-BIM, οδηγεί τους ανθρώπους να πιστεύουν ότι υπάρχει ένας γρήγορος, αυτόνομος και άμεσος τρόπος να φέρουμε τον πραγματικό κόσμο μέσα σε μια εφαρμογή BIM και να έχουμε έτοιμο ένα έξυπνο μοντέλο. Αυτό δυστυχώς δεν συμβαίνει, καθώς η πραγματικότητα είναι πιο πολύπλοκη. Η διαφημιστική εκστρατεία που ακολουθεί το BIM, επίσης, οδηγεί τους ενδιαφερόμενους να αντιληφθούν ότι με κάποιον τρόπο γίνονται λιγότερες εργασίες στη διαδικασία σχεδιασμού και χρησιμοποιώντας ένα BIM μπορούν να περιμένουν αυτομάτως να εξοικονομούν χρόνο και εργασία κατά την ανάπτυξη του σχεδιασμού. Όμως ο χειρισμός των πρωτογενών δεδομένων για την παραγωγή ενός BIM προϊόντος είναι μία διαδικασία που απαιτεί γνώση και εμπειρία αυτής της τεχνολογίας.

Το Scan-to-BIM εφαρμόζεται συνήθως σε έργα όπου προ-υπάρχει η κατασκευή και απαιτείται η αποτύπωσή της καθώς και η αποτύπωση του περιβάλλοντός της χώρου, ώστε να δημιουργηθεί το ψηφιακό τους μοντέλο. Η απαίτηση αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε έργα ανακαίνισης, συντήρησης ή επέκτασης. Ωστόσο, χρησιμοποιείται και σε νέα έργα κατασκευής, όπου είναι απαραίτητη η αποτύπωση του περιβάλλοντος χώρου και των παρακείμενων κτιρίων και δομών ή στην περίπτωση

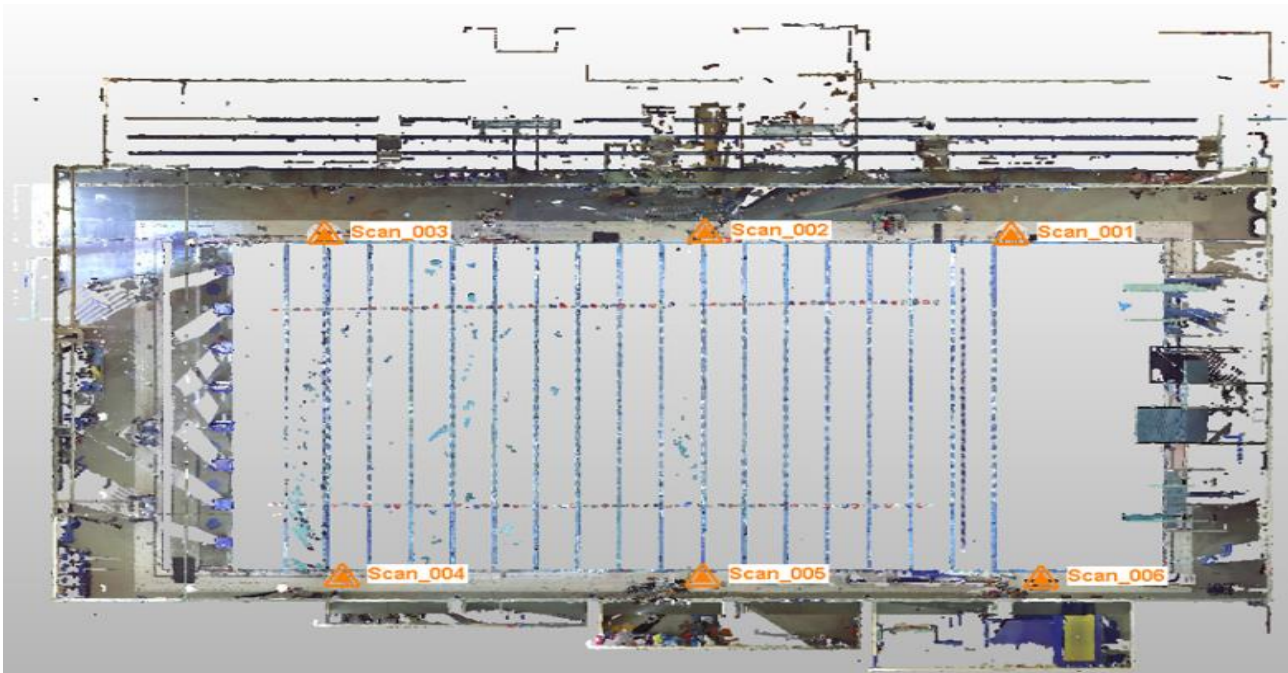
που μία κατασκευή πρέπει να αποτυπωθεί και να τεκμηριωθεί πριν από την καθαίρεσή της ώστε να μπορεί να αποδοθεί ξανά, πιστά αν χρειαστεί.

Οι τοπογραφικές αποτυπώσεις συχνά μπορούν να αναπτύξουν ένα συνδυασμό τεχνολογιών (βλ. κεφ. 3) για την καταγραφή και απόδοση των τρισδιάστατων δεδομένων. Οι τρισδιάστατοι σαρωτές εδάφους είναι σε θέση να καταγράφουν εσωτερικούς χώρους και εξωτερικές προσόψεις ή δύσκολες για την αποτύπωση μηχανικές, ηλεκτρικές και υδραυλικές εγκαταστάσεις, κρυμμένες στους τοίχους ή πίσω από πλακάκια οροφής.

6.2 Παράδειγμα αποτύπωσης και δημιουργίας μοντέλου BIM [53]

Το έργο που θα παρουσιαστεί είναι η αποτύπωση των εγκαταστάσεων πισίνας Ολυμπιακών προδιαγραφών (δυστυχώς στο άρθρο δεν δίνεται τοποθεσία) και η μεταφορά του νέφους σημείων σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM. Η αποτύπωση πραγματοποιήθηκε με έναν Trimble TX5 laser scanner, με την πρόθεση να δημιουργηθεί ένα τρισδιάστατο μοντέλο. Ο μελετητής εστίασε περισσότερο στους τοίχους, τις οροφές και στη δομή των εγκαταστάσεων.

Το πρώτο βήμα ήταν η σάρωση των εγκαταστάσεων. Με την τοποθέτηση του σαρωτή σε έξι διαφορετικές στάσεις, συλλέχθηκε ο απαραίτητος αριθμός σημείων για το επιθυμητό επίπεδο λεπτομέρειας. Κάθε σάρωση χρειάστηκε περίπου έξι λεπτά και λόγω του αριθμού των επιπέδων επιφανειών, δεν ήταν απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν στόχοι (βλ. εικ. 6.1 & 6.2). Στις περισσότερες περιπτώσεις θα χρειαζόντουσαν σφαιρικοί στόχοι, καθώς και στόχοι σε σχήμα σκακιάρας, για να βοηθηθεί το λογισμικό εγγραφής να «συρράψει» τις σαρώσεις σε ένα ενιαίο τμήμα.

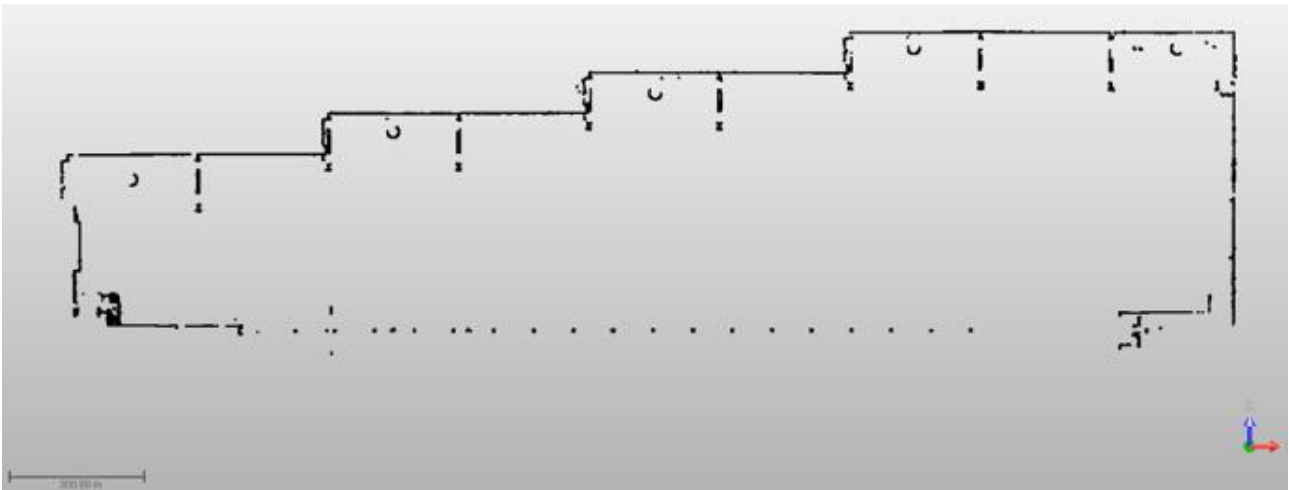


Εικόνα 6.1: Η κάτοψη του κτιρίου με τα σημεία σάρωσης ορατά

Με την ολοκλήρωση των σαρώσεων, ολοκληρώθηκαν και οι εργασίες πεδίου. Το επόμενο βήμα ήταν η καταγραφή και επεξεργασία των σαρώσεων. Για την επεξεργασία του νέφους σημείων, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Trimble RealWorks. Το μέγεθος της κάθε σάρωσης, καθώς και η ισχύς του υπολογιστή καθορίζει πόσο διαρκεί η καταγραφή, συνήθως μερικά λεπτά για την κάθε σάρωση.



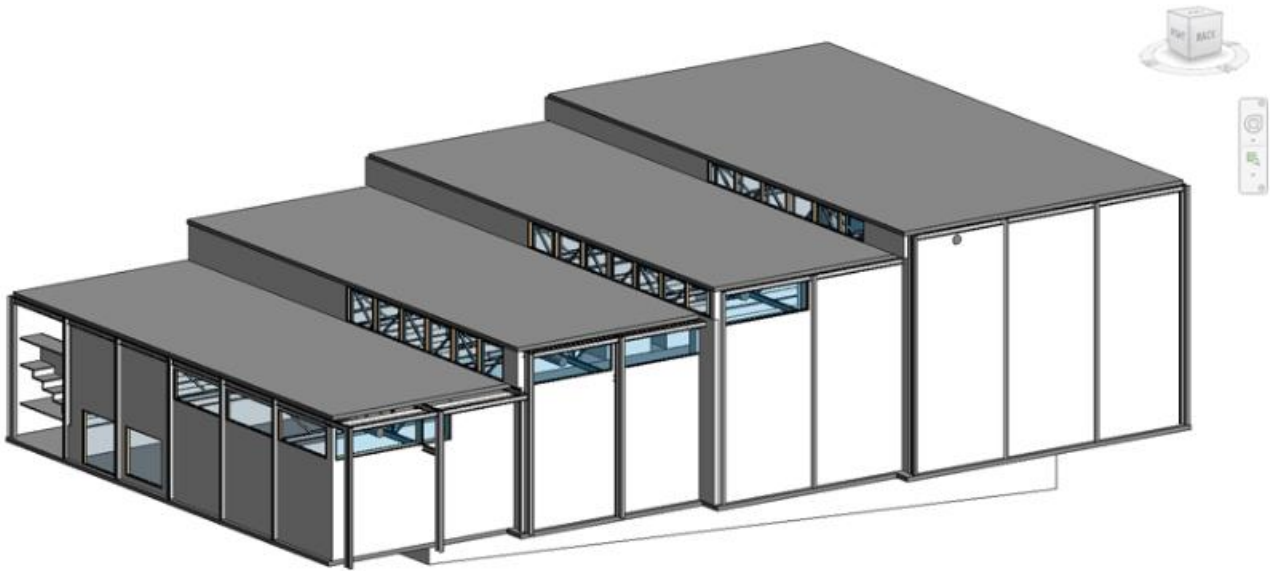
Εικόνα 6.2: Νέφος σημείων από τον χώρο της πισίνας



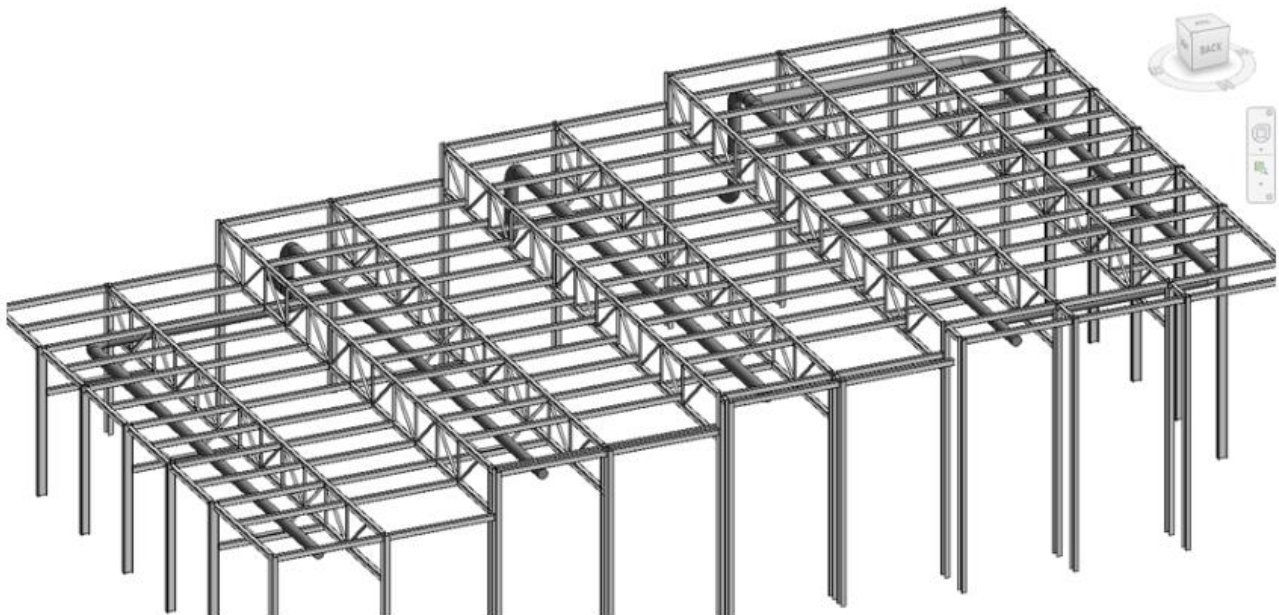
Εικόνα 6.3: Δημιουργία τομών στους άξονες X,Y,Z με τη χρήση του λογισμικού RealWorks

Στη συνέχεια έγινε εισαγωγή στο 3D λογισμικό ώστε να αναγνωριστούν οι τοίχοι, τα παράθυρα, η δομή του κτιρίου και τα υπόλοιπα δομικά στοιχεία. Σε αυτή τη φάση εργασίας, ο χρόνος μοντελοποίησης μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με τον απαιτούμενο βαθμό λεπτομέρειας (ακρίβεια, πληρότητα και πιστότητα της τεκμηρίωσης).

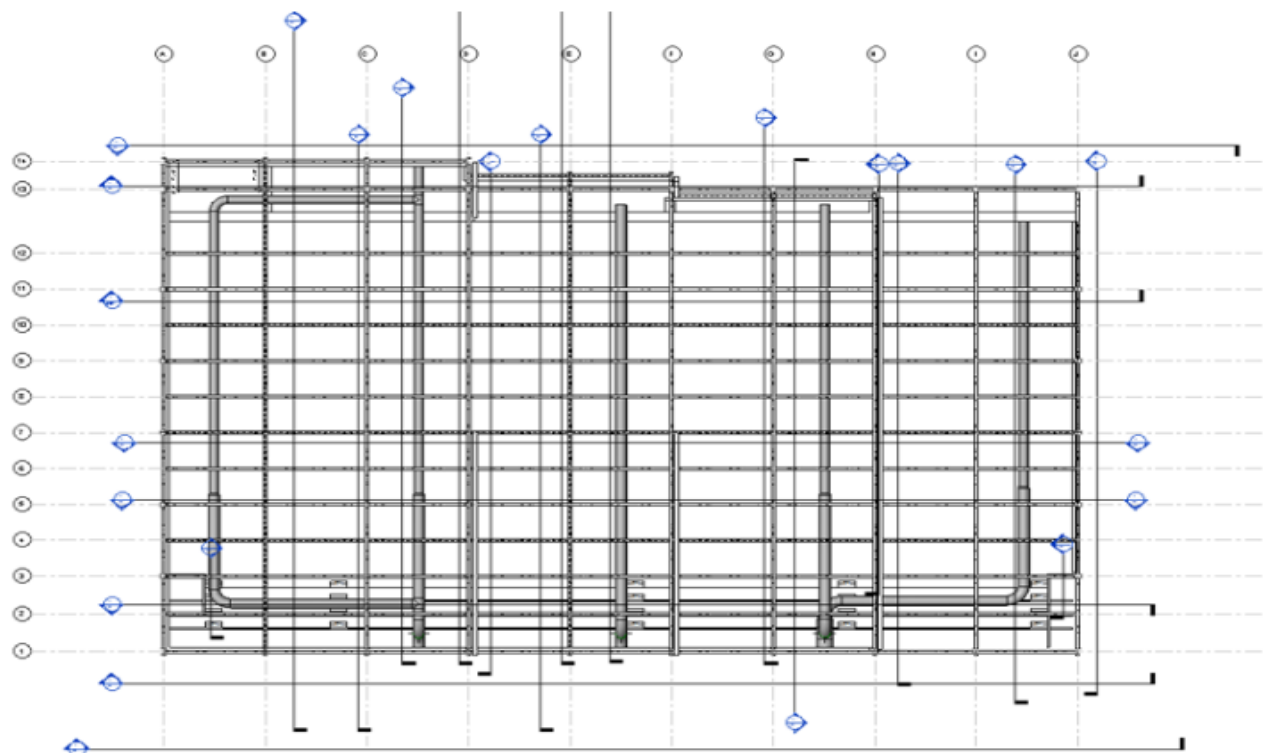
Συνήθως η μοντελοποίηση ξεκινάει με τα ευκολότερα αντικείμενα πρώτα, δηλαδή τοίχους, δάπεδα και οροφές (βλ. εικ. 6.6). Στη συνέχεια, γίνεται επεξεργασία του δομικού συστήματος, που είναι και πιο σύνθετο. Οι δοκοί μοντελοποιήθηκαν μία φορά και στη συνέχεια αντιγράφηκαν και επικολλήθηκαν (βλ. εικ. 6.5).



Εικόνα 6.4: Ολοκληρωμένο τμήμα των εγκαταστάσεων σε περιβάλλον Revit



Εικόνα 6.5: Στατικό σχέδιο σε περιβάλλον Revit



Εικόνα 6.6: Σχέδιο οροφής και δημιουργία τομών σε περιβάλλον Revit

Η συγκεκριμένη αποτύπωση δεν εστίασε στη λεπτομέρεια. Ωστόσο, ο συνολικός χρόνος που αφιερώθηκε σε αυτό το έργο ήταν λιγότερος με μεγάλη διαφορά, σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους αποτύπωσης. Πραγματοποιήθηκε μόνο μία επίσκεψη στην πισίνα για την αποτύπωση με τον τρισδιάστατο σαρωτή, κατά την οποία συλλέχθηκαν όλες οι απαραίτητες πληροφορίες για τη μοντελοποίηση. Ενδεικτικοί είναι οι ελάχιστοι χρόνοι πεδίου που απαιτήθηκαν για την αποτύπωση:

Επιφάνεια κτιρίου	~ 30.000 m ²
Χρόνος σάρωσης (περιλαμβάνεται και η ρύθμιση του οργάνου)	1 ώρα
Καταγραφή και τμηματοποίηση της σάρωσης	45 λεπτά
Εξαγωγή στον υπολογιστή	10 λεπτά
Μοντελοποίηση σε περιβάλλον Revit	27 ώρες
Συνολικός χρόνος εργασιών	Σχεδόν 30 ώρες

6.3 Τεχνολογία scan to BIM [54]

Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου αποτύπωσης και μοντελοποίησης έχουν αναγνωριστεί ευρέως και πλέον προσφέρεται πλήθος λογισμικών και λύσεων για την αναγνώριση των δεδομένων σάρωσης και τη δημιουργία 3D μοντέλων:

- **Autodesk**

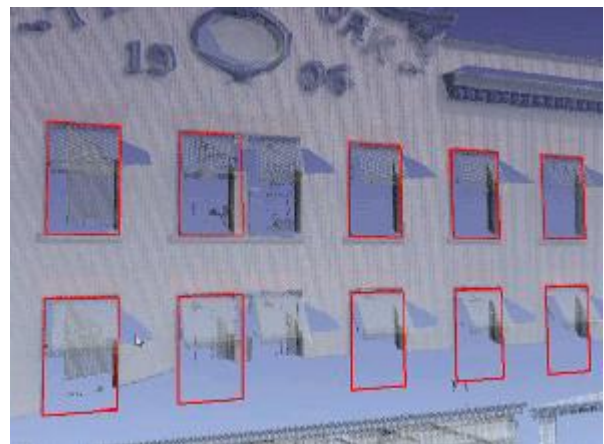
Η Autodesk κυκλοφόρησε το προηγούμενο έτος τα λογισμικά Recap, Recap Pro και Recap 360 για την ταξινόμηση και καταχώριση δεδομένων σάρωσης λέιζερ και τη μετατροπή φωτογραφιών σε μοντέλα 3D meshe. Οι υπηρεσίες τους παρέχουν πρόσβαση στο cloud για δημοσίευση και ροή μεταξύ συνεργατών και ενδιαφερόμενων τεράστιου όγκου νέφους σημείων. Το Autodesk Memento μπορεί να λάβει νέφοι σημείων, βίντεο και φωτογραφίες και να δημιουργήσει απίστευτα πυκνά και ακριβή 3D μοντέλα. Διαχειρίζεται τεράστια σύνολα δεδομένων και έχει μια μινιμαλιστική διεπαφή. Οι προηγμένες επιφάνειες υποδιαίρεσης, η έξυπνη πλήρωση των οπών και η δυνατότητα σύγκρισης κανάβων και καθοδήγησης τρισδιάστατων εκτυπωτών δίνει στο Memento ένα μοναδικό σύνολο χαρακτηριστικών που επεκτείνεται και στην προηγμένη επεξεργασία καμπύλων.



www.autodesk.com

- **ClearEdge**

Το ClearEdge προσφέρει την πιο εξελιγμένη διαδικασία μεταφοράς της σάρωσης σε μοντέλο Revit, χρησιμοποιώντας προηγμένους αλγόριθμους αναγνώρισης σχήματος. Η EdgeWise BIM Suite για κατασκευές, ηλεκτρομηχανολογικά και στατικά προσφέρει εξαγωγή δομικών, κυλινδρικών και επίπεδων στοιχείων και τα ενσωματώνει σε περιβάλλον Revit έτσι ώστε οι τοίχοι, τα παράθυρα, οι πόρτες, οι σωλήνες, οι αγωγοί και τα συστήματα εξαερισμού να μπορούν να εξαγονται αυτόματα στο Revit ως στοιχεία του ίδιου το λογισμικού. Επιπροσθέτως, το λογισμικό μπορεί να «δίδαχθεί» να βρίσκει επαναλαμβανόμενα αντικείμενα, επισημαίνοντας το τμήμα του νέφους σημείου που τα περιέχει.



www.clearedge3d.com

- **Kubit**

Το Kubit είναι ένα γερμανικό λογισμικό με αυτόνομα και ενσωματωμένα Autodesk εργαλεία τοπογραφίας. Τα προϊόντα της περιλαμβάνουν το TachyCAD για τη διαδικτυακή επίβλεψη, το PhoToPlan για τη διόρθωση εικόνων στο AutoCAD, το PointSense για 3D σάρωση μετά την επεξεργασία, το VirtiSurv για την προβολή δεδομένων σάρωσης με λέιζερ, το MonuMap για δομημένη χαρτογράφηση των συνθηκών κτιρίου, το DistoPlan για τοπογραφική μελέτη και το hylasFM για διαχείριση εγκαταστάσεων.



- **LFM software**

Το λογισμικό LFM, τμήμα της Avena, συμμετέχει ενεργά στην εύκολη διαχείριση της σάρωσης με λέιζερ και πρόκειται να εισαγάγει την έννοια του «ζώντος νέφους σημείων». Αναγνωρίζοντας ότι η μοντελοποίηση ολόκληρων των εγκαταστάσεων και υποδομών ενός κτιρίου είναι συχνά μια δαπανηρή διαδικασία, το LFM υποστηρίζει ένα πλαίσιο τροποποίησης ενός νέφους σημείων και την εισαγωγή αυτών των αλλαγών στο εικονικό μοντέλο.



www.aveva.com/en/Services_and_Support/AVEVA_Product_Support/#LFM-Support

- **MV4D**

Η Mantis Vision (MV4D) είναι μια ισραηλινή εταιρεία, η οποία διαθέτει τεχνολογικά εξελιγμένους σαρωτές χειρός με μεγάλη ευφύια. Οι συσκευές προβάλλουν ένα δομημένο μοτίβο φωτός / λέιζερ σε ένα αντικείμενο το οποίο, καθώς μετακινείται η συσκευή πάνω του, διαβάζει την παραμόρφωση του μοτίβου για την κατασκευή του μοντέλου. Η μικρότερη από τις συσκευές της εταιρείας ταιριάζει απόλυτα στην παλάμη του χεριού. Αυτή είναι



πιθανώς μία από τις καλύτερες τεχνολογίες κινητής σάρωσης που κυκλοφορούν σήμερα στην αγορά.

www.mv4d.com

- **NCtech**

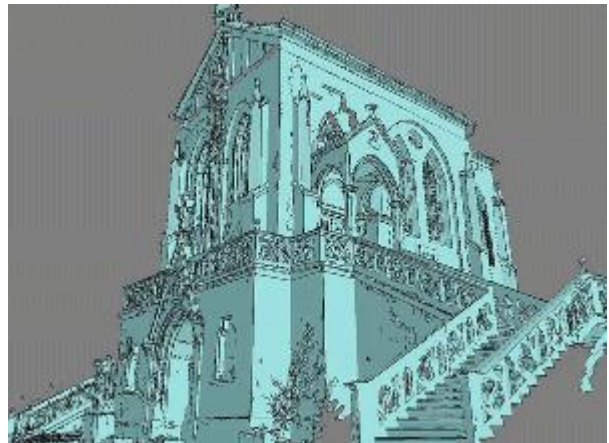
Η NCtech εδρεύει στη Σκωτία και παράγει μια πολύ έξυπνη συσκευή απεικόνισης 360 μοιρών, η οποία εδράζει πάνω σε ένα τρίποδο. Χρησιμοποιώντας τέσσερις κάμερες, η μονάδα γρήγορης απεικόνισης iStar μπορεί να αποτυπώσει ένα περιβάλλον με πανοραμική λήψη 50MB υψηλής ανάλυσης σε μία μόνο λήψη. Μπορεί επίσης να κάνει απεικόνιση HDR (High Definition Range) τριών εκθέσεων. Το iStar προσφέρει λήψη και streaming βίντεο σε πλήρη περιβάλλοντα χώρο 360 μοιρών και λειτουργεί ακόμα και σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού. Η εταιρεία εργάζεται αυτή τη στιγμή σε συσκευές υψηλότερης ανάλυσης, για καλύτερη απεικόνιση.



www.nctechimaging.com

- **Pointfuse**

Η Pointfuse της Arithmetica μετατρέπει τα νέφη σημείων σε διανυσματικά μοντέλα. Το λογισμικό είναι πλήρως αυτόματο, γρήγορο και ακριβές και απευθύνεται άμεσα σε ροές εργασίας scan-to-CAD. Το Pointfuse επιτρέπει την ταυτόχρονη περικοπή πολλαπλών νεφών σημείων σε ένα εννιαίο νέφος, το οποίο μπορεί να μετατραπεί σε ένα μονό μοντέλο διανυσμάτων για 2D ανυψώσεις, προβολές και τομές. Η μετατροπή σε δέσμες δεδομένων είναι επίσης δυνατή με την εξαγωγή σε μορφή DXF ή IFC και έχει ελεγχθεί με τα προγράμματα ArchiCAD, Autodesk Revit, Blender, Rhino και SketchUp. Το Pointfuse Free, Lite, Pro και Pro Trial είναι διαθέσιμα.



<https://pointfuse.com/>

- **Siemens**

Η Siemens δεν είναι σημαντικός κατασκευαστής στον κόσμο της τεχνολογίας BIM, αλλά μέσω της Siemens PLM έχει εισάγει τον εαυτό της στον εργοστασιακό σχεδιασμό. Πρόσφατα εξουσιοδότησε την κινητήρια δύναμη της Pointools της Bentley Systems και την περιέλαβε στα προϊόντα της Tecnomatix και Teamcenter, καθώς οι εταιρείες κατασκευής αναζητούν έναν τρόπο να καταγράφουν και να διαχειρίζονται τις εγκαταστάσεις τους. Με συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση, οι επιχειρήσεις επιλέγουν να σαρώνουν με laser scanners τα εργοστάσιά τους και να χρησιμοποιούν αυτές τις χωρικές πληροφορίες για το σχεδιασμό νέας τοποθέτησης μηχανών και πιθανών χωροθετικών προβλημάτων.



<https://new.siemens.com/global/en.html>

- **SkyCatch**

Το SkyCatch είναι ένα αυτόνομο μη επανδρωμένο αεροσκάφος που μπορεί να ακολουθήσει μια κανονική διαδρομή πτήσης πάνω από μία τοποθεσία. Μεταφέροντας ένα ωφέλιμο φορτίο φωτογραφικών μηχανών υψηλής ανάλυσης ή βιντεοκάμερας, η υπηρεσία μπορεί να παρέχει ακριβή στιγμιότυπα έργων κατασκευής ή την τοπογραφία της κατασκευής. Με εταιρείες όπως η Autodesk που εργάζονται πάνω στη μετατροπή βίντεο, θα ήταν δυνατή η χρήση αυτών των δεδομένων για την κατασκευή ενός 3D μοντέλου ενός εργοταξίου. Αυτή η χαρτογράφηση θα μπορούσε να συγκριθεί με το μοντέλο BIM για να ελεγχθεί για τυχόν λάθη, προβλήματα με την ακολουθία εργασιών της κατασκευής, τον έλεγχο του όγκου πρώτων υλών ή τον εντοπισμό ενδεχόμενων προβλημάτων.



https://skycatch.com/

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Κεφάλαιο 6^ο: Scan to BIM

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ & ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Σύνοψη:

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η αξιοποίηση της τεχνολογίας BIM στην Ελλάδα, καθώς και τα πλεονεκτήματα, τα τεχνικά προβλήματα και οι κίνδυνοι αυτής της τεχνολογίας. Στη συνέχεια παρατίθενται συμπεράσματα και προτάσεις για αυτή την τεχνολογία και τέλος περιγράφεται το θέμα του BIM και της αιφύρου ανάπτυξης ως μελλοντική έρευνα.

7.1 Η τεχνολογία BIM στην Ελλάδα

Η τεχνολογία BIM έχει υιοθετηθεί σχεδόν πλήρως από τις ανεπτυγμένες χώρες στον τομέα των κατασκευών. Στο στάδιο της μελέτης αλλά και της εφαρμογής της στα μεγαλύτερα έργα παγκοσμίως, χρησιμοποιείται το BIM για την πιο άμεση επικοινωνία και συνεργασία μεταξύ όλων των μελών που παίρνουν μέρος στην κατασκευή του έργου.

Οι πολιτικές προώθησης της υιοθέτησης του BIM έχουν ως στόχο την ενημέρωση όλων των μερών που συμμετέχουν στην κατασκευή, από τον αρχιτέκτονα, τον εργολάβο έως και τον ιδιοκτήτη, σχετικά με τον καλύτερο τρόπο αξιοποίησης της τεχνολογίας αυτής. Σε συγκεκριμένες χώρες, όπως το Ηνωμένο Βασίλειο, η χρήση του BIM είναι υποχρεωτική από τον Απρίλιο του 2016 για τη μελέτη και κατασκευή δημόσιων έργων. Στην Ευρώπη οι χώρες που εμφανίστηκαν πρώτες στην εφαρμογή του BIM μέσω της υποχρεωτικής οδηγίας για τα δημόσια έργα ήταν η Νορβηγία (2005), η Δανία (2007) και η Φιλανδία (2007). Στα ίδια πλαίσια κινήθηκαν και η Βόρεια Κορέα (2011) και η Σιγκαπούρη (2012) αλλά περιόρισαν την υποχρεωτική εφαρμογή με σχετική εθνική νομοθεσία σε όλα τα δημόσια κτίρια άνω των 20.000 τμ. και προϋπολογισμού άνω των 27,6 εκατομμυρίων δολαρίων αντίστοιχα.

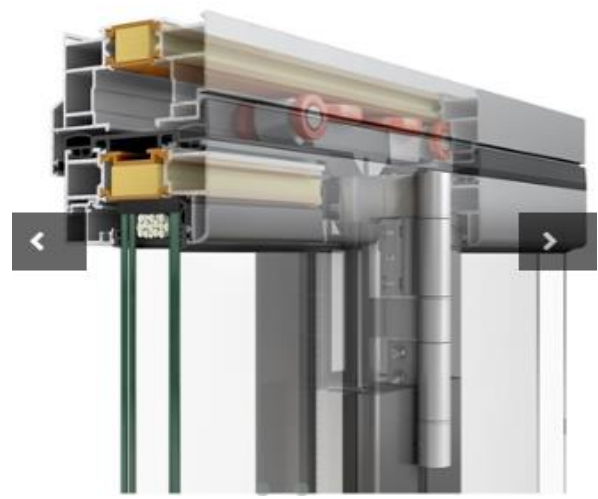
Στην Ελλάδα, αν και εξαιρετικά καθυστερημένα σε σύγκριση με τις υπόλοιπες κατασκευαστικά ανεπτυγμένες χώρες, έχουν γίνει τα πρώτα σταθερά βήματα προς την κατεύθυνση της τεχνολογίας BIM. Το πρώτο μεγάλης κλίμακας έργο που σχεδιάστηκε σε περιβάλλον BIM, έπειτα από απαίτηση του πελάτη, ήταν το **Ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος** και συγκεκριμένα η νέα εθνική λυρική σκηνή. Πλέον, οι ελληνικές κατασκευαστικές εταιρείες έχουν αρχίσει να δείχνουν ενδιαφέρον για τη νέα αυτή τεχνολογία (για τα ελληνικά δρώμενα νέα) και να προσφέρουν τα προϊόντα τους με ψηφιακή παραμετροποίηση στον μηχανικό.

Το πρώτο από παράδειγμα συνεργασίας μεταξύ μηχανικού και κατασκευαστή – προμηθευτή σε περιβάλλον BIM, είναι η συνεργασία της **Alumil S.A.** με το αρχιτεκτονικό γραφείο **TParchitects**. Πλέον στόχος της ελληνικής κατασκευαστικής αγοράς είναι η δημιουργία ενός καταλόγου BIM (ψηφιακών / έξυπνων αντικειμένων), με διαθέσιμα τα προϊόντα και τις τεχνικές προδιαγραφές της

κάθε εταιρείας. Αυτός ο κατάλογος θα είναι διαθέσιμος στους μηχανικούς, στο site της www.bimobject.com, το οποίο αποτελεί τη μεγαλύτερη βιβλιοθήκη BIM object. Η συμβολή της Alumil S.A. σε αυτή τη βιβλιοθήκη σημειώνεται στο link της bimobject: <https://bimobject.com/en/product?brand=alumil> (βλ. εικ. 7.1 & 7.2).



Εικόνα 7.1: Αναδιπλούμενες πόρτες της Alumil [55]



Εικόνα 7.2: Αναδιπλούμενο υαλοπέτασμα Supreme SF85 [55]

Την περίοδο που γράφεται η παρούσα διπλωματικά εργασία, καταρτίζεται η «Βίβλος Ψηφιακού Μετασχηματισμού» που πρόκειται να εκδοθεί από το Υπ. Ψηφιακής Διακυβέρνησης κατά το άρθρο 49 του Ν.4623/2019: «*Η Βίβλος Ψηφιακού Μετασχηματισμού επικαιροποιεί και αντικαθιστά την Εθνική Ψηφιακή Στρατηγική. Η Βίβλος Ψηφιακού Μετασχηματισμού εκδίδεται και δημοσιεύεται με απόφαση του Υπουργού Ψηφιακής Διακυβέρνησης και περιλαμβάνει τις βασικές αρχές, το πλαίσιο και τις κατευθύνσεις για το ψηφιακό μετασχηματισμό της Δημόσιας Διοίκησης, αλλά και του ιδιωτικού τομέα της οικονομίας, καθορίζει τις ειδικότερες αρχές που διέπουν κάθε οριζόντια ή τομεακή πρωτοβουλία προς τον σκοπό αυτό και ενσωματώνει την καταγραφή όλων των σχετικών διαδικασιών και δράσεων με μετρήσιμους στόχους και μετρήσιμα αποτελέσματα ανά τρίμηνο. Είναι δεσμευτική για όλους τους φορείς του δημοσίου και ευρύτερου δημοσίου τομέα, τους οποίους αφορά. Εφόσον κρίνεται αναγκαίο, η Βίβλος Ψηφιακού Μετασχηματισμού μπορεί να αναπροσαρμόζεται κάθε πέντε χρόνια από την έκδοσή της, με απόφαση του υπουργού Ψηφιακής Διακυβέρνησης.*»

Η αναγκαιότητα, στην Βίβλο Ψηφιακού Μετασχηματισμού να προβλέπεται ειδικό κεφάλαιο Στρατηγικής και Οδικός Χάρτης με μετρήσιμους στόχους για τον ψηφιακό μετασχηματισμό του κατασκευαστικού τομέα στην Ελλάδα είναι προφανής. Κάτι τέτοιο θα βοηθήσει για την προσαρμογή του κατασκευαστικού κλάδου στην ψηφιακή εποχή με την εφαρμογή της τεχνολογίας BIM, την προώθηση ψηφιακών διαδικασιών, εργαλείων και τεχνολογικών λύσεων, καθώς είναι πλήρως κατανοητό από τους σχετικούς φορείς και εταιρείες που δραστηριοποιούνται σε αυτόν, ότι κάτι τέτοιο θα προσδώσει δυναμική στον κλάδο, αυξάνοντας την ανταγωνιστικότητα και διευκολύνοντας την διεξόδου του στις διεθνείς αγορές.

7.2 Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας BIM [56]

Μια συνηθισμένη εσφαλμένη αντίληψη είναι ότι το BIM αναφέρεται μόνο σε 3D σχεδιασμό και αυτό επειδή τα μοντέλα 3D βρίσκονται στον πυρήνα αυτής της τεχνολογίας. Στην πραγματικότητα όμως πρόκειται για μια διαδικασία δημιουργίας και διαχείρισης όλων των πληροφοριών που αφορούν ένα έργο (γι' αυτό και ο ορισμός «μοντέλα δομικών πληροφοριών»), όπου περιέχονται ψηφιακές περιγραφές για κάθε πτυχή του φυσικού έργου.

Η τεχνολογία BIM συνδέθηκε αρχικά με το σχεδιασμό ενός έργου, αλλά πλέον ται οφέλη για κάθε φάση του κύκλου ζωής ενός έργου (ακόμα και μετά την ολοκλήρωσή του, δλδ στη φάση λειτουργίας) είναι αδιαμφισβήτητα. Η τεχνολογία αυτή επιτρέπει την κατασκευή των ψηφιακών διδύμων των έργων, εξαλείφοντας πολλές από τις ανεπάρκειες και τα προβλήματα που προκύπτουν στην φάση της κατασκευής. Αλλά και μετά την ολοκλήρωση του έργου, στη φάση λειτουργίας, αποτελεί μια σημαντική πηγή πληροφοριών για κάθε στοιχείο του.

Τα πλεονεκτήματα από την χρήση αυτής της τεχνολογίας είναι πολλά και αφορούν όλους τους εμπλεκόμενους. Επιγραμματικά αναφέρονται τα παρακάτω:

- Καλύτερη συνεργασία και επικοινωνία

Τα ψηφιακά μοντέλα BIM επιτρέπουν την κοινή χρήση αρχείων και τη συνεργασία με τρόπο που είναι αδύνατος με τις παραδοσιακές μεθόδους. Επειδή τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται βασίζονται στην τεχνολογία του διαδικτύου (cloud), η συνεργασία είναι απρόσκοπτη και σε πραγματικό χρόνο μεταξύ των ομάδων του έργου. Το «οικοσύστημα» αυτής της τεχνολογίας επιτρέπει στις ομάδες να μοιράζονται τα μοντέλα τους και να συντονίζουν τον προγραμματισμό, διασφαλίζοντας ότι όλοι οι ενδιαφερόμενοι έχουν επικαιροποιημένη γνώση του έργου.

Η πρόσβαση στην τεχνολογία cloud επιτρέπει επίσης στις ομάδες του έργου να μεταφέρουν το γραφείο στο πεδίο, αφού είναι δυνατόν να αναθεωρήσουν σχέδια και μοντέλα επιτόπου και στις κινητές τους συσκευές, εξασφαλίζοντας ότι έχουν πρόσβαση σε ενημερωμένες πληροφορίες για το έργο ανά πάσα στιγμή.

- Εκτίμηση Κόστους

Η χρήση των εργαλείων της τεχνολογίας BIM, αυτοματοποιεί το χρονοβόρο έργο της ποσοτικοποίησης υλικών, διαδικασιών και μέσων παραγωγής. Έτσι από τις αρχικές φάσεις της μελέτης, του σχεδιασμού δλδ είναι δυνατή η κατάρτηση πληρέστερου προϋπολογισμού του έργου, με τρόπο «έξυπνο», εξασφαλίζοντας σωστό σχεδιασμό και εξοικονόμηση πόρων.

- Οπτικοποίηση του τελικού αποτελέσματος

Η ψηφιακή απεικόνιση ολόκληρου του έργου πριν την έναρξη της κατασκευής επιτρέπει την καλύτερη συνεργασία των εμπλεκόμενων μερών. Πολύ απλά όλοι έχουν την ίδια αντίληψη για το έργο ήδη από το στάδιο του σχεδιασμού.

- Ελαχιστοποίηση κινδύνων

Κοινός στόχος όλων των εμπλεκόμενων σε ένα έργο είναι ο σχεδιασμός και κατασκευή του με τρόπο που ανταποκρίνεται στην αρχική σύλληψη και ποιοτικές απαιτήσεις και να υλοποιείται εντός χρονοδιαγράμματος και εγκεκριμένου προϋπολογισμού. Η τεχνολογία των μοντέλων δομικών πληροφοριών επιτρέπει την λήψη αποφάσεων στα αρχικά στάδια του έργου, ελαχιστοποιώντας τους κινδύνους που σχετίζονται με τις 3 συνιστώσες της διαχείρισης κατασκευής των έργων δηλαδή την ποιότητα, τον χρόνο και το κόστος.

- Αντιμετώπιση συγκρούσεων και αστοχιών

Τα συναρμοσμένα μοντέλα δομικών πληροφοριών που προέρχονται από την συνένωση των επιμέρους μοντέλων των μελετών του έργου, επιτρέπουν την ανίχνευση συγκρούσεων πριν αρχίσει η κατασκευή. Η μετατόπιση τμήματος της ηλεκτρομηχανολογικής εγκατάστασης του έργου, ενδεχομένως να μην κοστίζει τίποτα όταν γίνεται στο μοντέλο αλλά μπορεί να είναι αδύνατη αν εντοπιστεί όταν η κατασκευή του έργου έχει προχωρήσει.

- Καλύτερη διαχείριση του έργου κατά την λειτουργία του

Η πληροφορία που συσσωρεύεται στο μοντέλο σε όλες τις φάσεις της μελέτης και της κατασκευής του έργου έχει μεγάλη αξία για τους διαχειριστές του. Η γεωμετρική πληροφορία είναι εργαλείο για την καλύτερη διαχείριση του χώρου ενώ η μη γεωμετρική πληροφορία υποστηρίζει τις λειτουργίες της συντήρησης, της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου και την βέλτιστη διαχείριση του κύκλου ζωής του έργου στο σύνολό του.

Ο κατάλογος με τα πλεονεκτήματα από την χρήση αυτής της τεχνολογίας είναι μακρύς. Η ποιότητα και ποσότητα της πληροφορίας που αφορούν το έργο, η συνεργασία των εμπλεκόμενων του έργου και η διαλειτουργικότητα που επιτυγχάνεται από την εφαρμογή κοινών προτύπων είναι οι βασικοί άξονες στους οποίους ανάγονται όλα τα οφέλη από την εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας.

7.3 Τεχνικά προβλήματα και κίνδυνοι της τεχνολογίας BIM [57]

Η χρήση του BIM στις υποδομές βρίσκεται αντιμέτωπη με αρκετά εμπόδια και οι λόγοι για τους οποίους πολλοί διστάζουν να υιοθετήσουν αυτή την τεχνολογία ποικίλουν:

- Οι πελάτες είναι αδιάφοροι σχετικά με τη χρήση του και δεν το απαιτούν.
- Τα εργαλεία του CAD έχουν παρουσιάσει μεγάλη επιτυχία στον κατασκευαστικό κλάδο και έτσι δεν υπάρχει καμία προθυμία για αλλαγές.
- Τα νέα λογισμικά και η χρήση τους απαιτούν χρόνο από το προσωπικό των επιχειρήσεων και κόστος για την εκπαίδευσή τους αλλά και για την αντικατάσταση των ήδη υπαρχόντων συστημάτων.

Λαμβάνοντας υπόψη την εμπειρία ερευνητών και επαγγελματιών που έχουν ασχοληθεί με την τεχνολογία BIM, παρατηρείται μια δυσκολία στη μεταφορά δεδομένων από τους συμμετέχοντες στα έργα οι οποίοι είναι γνώστες συγκεκριμένων εργαλείων (λογισμικό και εξοπλισμό) σε άλλους συμμετέχοντες οι οποίοι δεν γνωρίζουν τα ίδια εργαλεία ή χρησιμοποιούν άλλα. Τα δεδομένα που δεν γίνεται να μεταφερθούν λόγω ασυμβατότητας χρήζουν μετατροπή και αυτό απαιτεί περισσότερη προσπάθεια για να πραγματοποιηθεί, αλλά και τα απαραίτητα εργαλεία μετατροπής.

Η έλλειψη εμπειρίας και τα λάθη είναι πιθανόν να οδηγήσουν σε χρονοβόρες διαδικασίες ή ακόμα χειρότερα σε πολυδάπανες αναζητήσεις έτοιμων εικονικών μοντέλων, τα οποία τις περισσότερες φορές θεωρούνται επιφανειακά και λιγότερο αξιόπιστα.

Υπάρχουν πολλοί φραγμοί που δημιουργούν επιφυλάξεις στους συμμετέχοντες ως προς τη χρήση της τεχνολογίας του BIM. Οι φραγμοί αυτοί έχουν να κάνουν με το φόβο για πολύ μικρά ποσοστά επιτυχίας, μεγάλο αρχικό κόστος, αρκετό χρόνο για κατανόηση και εξοικείωση με το λογισμικό και ίσως ένα βασικό εμπόδιο είναι η έλλειψη υποστήριξης από την ανώτερη ηγεσία της εταιρείας, λόγω συντηρητικής προσέγγισης σε κάτι που θεωρείται περιττό έξοδο.

Δεδομένου ότι η τεχνολογία BIM αλλάζει τον τρόπο με τον οποίο οι εταιρείες λειτουργούν (π.χ. σε ποιόν ανήκουν ποία δεδομένα και ποιός είναι υπεύθυνος για αυτά), γεννιούνται απορίες σχετικά με ενδεχόμενους κινδύνους και νομικές υποχρεώσεις κατά τη χρήση της τεχνολογίας.

Τα ζητήματα των σφαλμάτων και της ακρίβειας του μοντέλου είναι κρίσιμα και απασχολούν τον κύριο του έργου, καθώς θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε σοβαρή αύξηση του κόστους και σε ενδεχόμενα προβλήματα στην ασφάλεια της κατασκευής.

Όμως, τα νομικά ζητήματα και τις νομικές υποχρεώσεις τις αναλαμβάνουν οι αρχιτέκτονες, οι μηχανικοί και οι εργολάβοι. Το ψηφιακό μοντέλο αφήνει ελεύθερη την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των μελών της ομάδας για την κοινή χρήση τους στο σχεδιασμό του έργου, αφήνοντας ανοιχτό το ενδεχόμενο σφαλμάτων και ανησυχίας σχετικά με το βαθμό αξιοπιστίας του μοντέλου. Για την ακλόνητη εμπιστοσύνη μεταξύ των μελών, είναι πολύ σημαντικό να επιλυθούν από νωρίς, οποιεσδήποτε νομικές υποχρεώσεις και ευθύνες.

Αρκετά απασχολεί τους μηχανικούς και τον κύριο του έργου η απειρία των χρηστών της τεχνολογίας BIM και η δυσκολία εκμάθησης της μοντελοποίησης και του διαμοιρασμού των επιμέρους δεδομένων. Το BIM όντας μία σχετικά νέα τεχνολογία, τα επίπεδα εξοικείωσης μέσα σε μία ομάδα έργου, όπως επίσης και σε μία ιδιωτική επιχείρηση ενδεχομένως να διαφέρουν. Είναι σύνηθες, οι αρχιτέκτονες να είναι οι πρώτοι που εξοικειώνονται με την απαιτούμενη διαδικασία και έχουν, συνήθως τη μεγαλύτερη εμπειρία σε σύγκριση με την υπόλοιπη ομάδα του έργου. Ο προβληματισμός εδώ, είναι πως επειδή τα δεδομένα μεταφέρονται, ανταλλάσσονται και τροποποιούνται με γρήγορους ρυθμούς μεταξύ της ομάδας ή των ομάδων, υπάρχει ο κίνδυνος κάποιος λιγότερο εξοικειωμένος να δημιουργήσει σοβαρό πρόβλημα στη διαδικασία της εκτέλεσης του έργου.

7.4 Συμπεράσματα

Για αρκετούς, στον χώρο των κατασκευών το Building Information Modeling αποτελεί απλά έναν νέο όρο της βιομηχανίας, για κάποιους άλλους όμως είναι συνώνυμο του μέλλοντος. Τα πραγματικά οφέλη του και οι ολοένα πιο αποδοτικοί τρόποι χρήσης του ερευνούνται συνεχώς και εμπλουτίζονται. Παρόλα αυτά το BIM, τόσο σαν τεχνολογία όσο και σαν λειτουργική διαδικασία αποτελεί πραγματικότητα και ήδη αρκετές εταιρίες όσο και πολλοί επαγγελματίες παρόλο το κόστος και τον χρόνο μάθησής του, πιστοποιούν στα πολλαπλά οφέλη του, γεγονός ότι το BIM είναι εδώ για να μείνει (Φαρμάκης, 2017).

Η μεθοδολογία του BIM δεν είναι πλέον μια νέα μεθοδολογία. Εφαρμόζεται και αναπτύσσεται συνεχώς σε περισσότερα πεδία, εμφανίζοντας καινούργια οφέλη για τους χρήστες της. Σίγουρα έχει ορισμένες δυσκολίες στην εφαρμογή της, οι οποίες ξεπερνιούνται εύκολα εάν δοθεί η απαραίτητη προσοχή σε ορισμένα σημεία. Ακόμη τα πολλαπλά οφέλη που προκύπτουν μπορούν να αντισταθμιστούν εύκολα με τις δυσκολίες που πιθανόν να προκύψουν στην διάρκεια εκτέλεσης του έργου (Γωνιανάκης, 2014).

Αρχικά, η εφαρμογή του BIM σε όλες τις φάσεις του έργου σχεδόν, προσφέρει ένα ανταγωνιστικό πλεονέκτημα σε μια επιχείρηση, καθώς δίνει τη δυνατότητα στην επιχείρηση να οπτικοποιήσει ψηφιακά ένα κτίριο αυτούσιο όπως προβλέπεται να κτιστεί, πριν αρχίσει ακόμα η κατασκευή του.

Στο BIM οι πληροφορίες ανανεώνονται σε κάθε φάση από τα μέλη και μπορούν να μεταφερθούν στην επόμενη φάση χωρίς κανένα κίνδυνο απωλειών ή διπλότυπων πληροφοριών. Επίσης συμβάλει έγκαιρα στη λήψη αποφάσεων κερδίζοντας έτσι χρόνο και χρήμα για την κατασκευαστική διαδικασία (Συμώνη, 2016).

Το BIM ως διαδικασία και ως ώριμο λογισμικό πέρα από το κόστος και τη δυσκολία μάθησης έχει αποδείξει έμπρακτα πως τα οφέλη του είναι πολύ περισσότερα και ότι έχει επιφέρει ένα ευρύ φάσμα αλλαγών στη διαδικασία κατασκευής.

Η GSA (General Services Administration) απαίτησε οι συμβάσεις να είναι βασισμένες στο BIM και η Senate Properties ανέπτυξε το «BIM requirements 2007». Αυτό μας δείχνει πως πέρα από τον ιδιωτικό τομέα, το BIM αρχίζει να εφαρμόζεται και στις κρατικές οργανώσεις της Αμερικής και της Ευρώπης. Κάτι παρόμοιο μπορεί να γίνει ακόμα και στις ελληνικές κρατικές υπηρεσίες καθώς δίνουν τη δυνατότητα να παραδοθεί το έργο με την διαδικασία του BIM, δημιουργώντας έτσι αντίστοιχους κανονισμούς (Ζέρβας, 2011).

Στον κατασκευαστικό τομέα δημιουργείται συνεχώς η ανάγκη εύρεσης μεθόδων σχεδιασμού και διαχείρισης τεχνικών έργων οι οποίες θα ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις της σύγχρονης κατασκευαστικής πραγματικότητας. Το σίγουρο είναι ότι το BIM θα μπορέσει να γίνει μια εύχρηστη και με πολλαπλές δυνατότητες και εφαρμογές μεθοδολογία, η οποία θα εξυπηρετεί τις ανάγκες του σχεδιασμού και της διαχείρισης τεχνικών έργων από τα πρώιμα στάδια της σύλληψης τους έως και την κατασκευή τους, την λειτουργία τους, τη κατεδάφιση τους. Για να μπορέσει όμως να εκμεταλλευτεί πλήρως τα οφέλη του ο κατασκευαστικός κλάδος, θα πρέπει να γίνει ευρέως αποδεκτό και όλα τα μέλη και οι εμπλεκόμενοι στο έργο να το χρησιμοποιούν.

Αρκετές είναι οι χώρες όπου το BIM κερδίζει σημαντικό έδαφος καθώς υιοθετείται μαζικά. Όσον αφορά την Ελλάδα τώρα το BIM εμφανίζεται με χαμηλούς ρυθμούς, κυρίως όμως σε πολυεθνικές εταιρείες ή σε θεωρητικό επίπεδο. Παρόλα αυτά αρκετοί δημόσιοι φορείς εφαρμόζουν σταδιακά το BIM κυρίως σε νέα δημόσια έργα τα οποία κατασκευάζονται. Πράγμα που δηλώνει πως καθετί νέο θα πρέπει να εμπεριέχει τη συγκεκριμένη τεχνολογία καθώς όσο περνάει ο καιρός θα κρίνεται αναγκαία η χρήση της (Συμώνη, 2016).

Η γεωχωρική πληροφορία παίζει σημαντικό ρόλο στην ψηφιακή εποχή γενικότερα και αποτελεί ανάγκη για την εφαρμογή της τεχνολογίας BIM ειδικότερα. Μέχρι πρόσφατα η απόκτηση γεωχωρικών δεδομένων μέσω των παραδοσιακών μεθόδων της κλασικής τοπογραφίας και φωτογραμμετρίας ήταν δαπανηρή και χρονοβόρα. Οι σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης όπως αναφέρονται και περιγράφονται στην παρούσα εργασία ικανοποιούν την ανάγκη της απόκτησης χωρικών δεδομένων στην απαιτούμενη κλίμακα και ποιότητα. Άλλωστε κάθε έργο, κτιριακό ή υποδομής βρίσκεται σε ένα περιβάλλον που μπορεί να περιγραφεί αποκλειστικά από αυτά τα δεδομένα.

7.5 Προτάσεις

Όπως διαπιστώθηκε από την έρευνα που έγινε στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, η διάδοση της τεχνολογίας BIM σε όλο τον κόσμο είναι ραγδαία και επιφέρει σημαντικές αλλαγές στο τρόπο σχεδιασμού και διαχείρισης των τεχνικών έργων. Αυτό συμβαίνει προκειμένου να αξιοποιούνται πλήρως οι σύγχρονες τεχνολογίες του διαδικτύου, της πληροφορικής και των επικοινωνιών.

Είναι αναγκαία λοιπόν η γνώση και η εφαρμογή της τεχνολογίας του BIM διότι παίζει σημαντικό ρόλο στην ταχύτερη προώθηση και υιοθέτηση της στον κατασκευαστικό κλάδο. Ορισμένες προτάσεις θα μπορούσαν να είναι οι ακόλουθες:

- Εισαγωγή του BIM στην ανώτερη και ανώτατη εκπαίδευση. Τα ανώτατα εκπαιδευτικά ιδρύματα είναι σημαντικό να συμβαδίζουν με τις συνεχείς τεχνολογικές αλλαγές και εξελίξεις στον τομέα των κατασκευών, γι αυτό θα πρέπει να γίνει εισαγωγή στον κύκλο σπουδών τους ώστε οι φοιτητές να αποκτήσουν μια πρώτη εμπειρία με το μάθημα και να αποκτήσουν κάποια εξοικείωση με την τεχνολογία και τις εφαρμογές του BIM.
- Επιμορφωτικά σεμινάρια και εκδηλώσεις τα οποία θα στοχεύουν στην παρουσίαση και εκμάθηση του BIM από τις εταιρείες λογισμικού, όπου θα απευθύνονται τόσο σε επαγγελματίες όσο και σε σπουδαστές, ακόμη και παροχή δωρεάν εκπαιδευτικής άδειας των λογισμικών αυτών για τα πανεπιστήμια.
- Βεβαίωση επάρκειας με κατάλληλες πιστοποιήσεις όπου θα αποκτούνται μέσα από εξετάσεις σε θεωρητικό αλλά και πρακτικό επίπεδο (Γκένα, 2016).
- Συμμετοχή των κρατικών υπηρεσιών και φορέων στις διεθνείς εξελίξεις και οργανισμούς όπως buildingSMART(2011).

7.6 Μελλοντική έρευνα: BIM και αειφόρος ανάπτυξη [58]

Πλέον σχεδόν όλες οι συσκευές κατασκευάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι ενεργειακά αποδοτικότερες. Αυτός είναι πλέον και ο στόχος στην κατασκευή κτιρίων και εγκαταστάσεων, η ενεργειακή τους απόδοση.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή οραματίζεται την Ευρώπη ως «κλιματικά ουδέτερη» ήπειρο μέχρι το 2050. Αυτό αποτελεί ταυτόχρονα μεγάλη πρόκληση αλλά και ευκαιρία. Για να επιτευχθεί αυτό, καταρτίστηκε η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία, μια φιλόδοξη δέσμη μέτρων που θα επιτρέψει στους Ευρωπαίους πολίτες και τις επιχειρήσεις να επωφεληθούν από τη βιώσιμη πράσινη μετάβαση. Τα μέτρα που συνοδεύουν έναν αρχικό οδικό χάρτη βασικών πολιτικών κυμαίνονται από τη φιλόδοξη μείωση των εκπομπών, την επένδυση σε καινοτόμες έρευνες και καινοτομίες και τη διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος της Ευρώπης.

Με τις συμβατικές μεθόδους, απαιτείται τεράστια ανθρώπινη προσπάθεια για να αναλυθεί ένα κτίριο ενεργειακά και να εξαχθούν κάποια σχετικά συμπεράσματα για την ενεργειακή συμπεριφορά του και να γίνει μια εκτίμηση της απόδοσης του κτιρίου. Συνεπώς διαδικασία της ενεργειακής επιθεώρησης γίνεται χρονοβόρα, ακριβή και δεν περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για μια ολοκληρωμένη ανάλυση.

Χρησιμοποιώντας την τεχνολογία BIM σε αναλύσεις, δίνεται η δυνατότητα έρευνας στρατηγικών για εξοικονόμηση πόρων (π.χ. νερό, ενέργεια, υλικά κλπ) και να επιτευχθούν οι «πράσινοι στόχοι» του έργου και να βελτιστοποιηθεί ο σχεδιασμός των μηχανολογικών συστημάτων του. Τα μοντέλα BIM μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με αναλυτικά εργαλεία για ενεργειακή μελέτη, αναλύσεις φωτός, ηλιακές μελέτες και άλλα, προσφέροντας ποσοτικοποιημένα αποτελέσματα πολύ γρήγορα και κατά τη διάρκεια της σχεδιαστικής και μελετητικής διαδικασίας, πριν ακόμα οριστικοποιηθούν τα σχέδια.

Παρόλο που οι δυνατότητες και οι εφαρμογές του BIM στον πράσινο σχεδιασμό ακόμα αναπτύσσονται ραγδαία, υπάρχουν αρκετές περιπτώσεις και χρήστες οι οποίοι καταθέτουν ότι αποτελεί βασικό εργαλείο για «πράσινα έργα». Ο κυριότερος αντίκτυπος της εφαρμογής του BIM έχει επισημανθεί στους παρακάτω τομείς:

- Ολοκληρωμένος σχεδιασμός (Integrated Design)

Προσφέροντας μια ολοκληρωμένη οπτική του κτιρίου και των συστημάτων του, δίνεται η δυνατότητα βελτιωμένης αντίληψης των σχεδιαστικών αποφάσεων, αμεσότερη επικοινωνία με τον πελάτη και τους εμπλεκόμενους επαγγελματίες και εξερεύνηση ανώτερων σχεδιαστικών εναλλακτικών για τη βελτιστοποίηση του σχεδίου (design optimization).

- Ολιστικά αποτελέσματα (Integrated outputs)

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων για την απόδοση του κτιρίου και των συστημάτων του, ενημερώνονται άμεσα από τις σχεδιαστικές αλλαγές δίνοντας τη δυνατότητα καλύτερης λήψης αποφάσεων. Επίσης με αυτό τον τρόπο γνωστοποιούνται καλύτερα τα πράσινα οφέλη στον πελάτη ο οποίος μπορεί άμεσα να δει τις επιπτώσεις διαφορετικών στρατηγικών.

Γενικότερα έχουν παρατηρηθεί και σημαντικά οφέλη της χρήσης του BIM και σε μικρής κλίμακας έργα όπως ανακαινίσεις και πράσινες αναπλάσεις. Επίσης είναι δυνατή η εφαρμογή του για διεξαγωγή μετρήσεων ενεργειακής απόδοσης σε πραγματικό χρόνο (performance monitoring) που θα αποτελούσε πολύ χρήσιμη σύγκριση με τις εκτιμήσεις κατά τη μελετητική διαδικασία.

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Κεφάλαιο 7^ο: Συμπεράσματα & Μελλοντική έρευνα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο : ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ ΠΗΓΕΣ (ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ & ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ)

Σύνοψη:

Στο παρόν κεφάλαιο καταγράφονται όλες οι αναφορές (διαδικτυακές και βιβλιογραφικές) που μελετήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία. Οι αναφορές, έχουν αριθμηθεί σύμφωνα με τη σειρά που εμφανίζονται στο κείμενο. Επιπλέον παρατίθενται και άλλες θεματικές πηγές (διαδικτυακές και βιβλιογραφικές) που συγκεντρώθηκαν και δημιουργούν μια βάση πληροφοριών σχετικά με τις σύγχρονες μεθόδους αποτύπωσης για τη διαχείριση τεχνικών έργων.

8.1 Αναφορές [#]

- [1] Wikipedia,
https://en.wikipedia.org/wiki/Chernobyl_New_Safe_Confinement
- [2] 3D printing industry (Οκτώβριος 2014),
<https://3dprintingindustry.com/news/baumert-wins-sarcophagus-chernobyl-34711/>
- [3] Euractiv, EU helps finance new Chernobyl sarcophagus (Αύγουστος 2011),
<https://www.euractiv.com/section/energy/news/eu-helps-finance-new-chernobyl-sarcophagus/>
- [4] Chernobyl guide, Chernobyl sarcophagus in detailed photos (Αύγουστος 2017)
<https://chernobylguide.com/chernobyl-sarcophagus/>
- [5] WSP, Bayonne bridge rising (Απρίλιος 2018),
<https://www.wsp.com/en-US/insights/bayonne-bridge-raising-opens-ports-to-worlds-largest-ships>
- [6] Equipment world's better roads, NY-NJ port authority officials offer look at Bayonne bridge's elevated roadway (Νοέμβριος 2016),
<https://www.equipmentworld.com/ny-nj-port-authority-officials-offer-look-at-bayonne-bridges-elevated-roadway/>
- [7] HDR, Bayonne bridge navigational clearance project,
<https://www.hdrinc.com/ca/portfolio/bayonne-bridge-navigational-clearance-project>
- [8] Port authority of NY & NJ, Bayonne bridge navigational clearance project,
<https://www.panynj.gov/bridges-tunnels/bayonne-navigational-clearance-project-about.html>

- [9] Ά. Ανδρουσοπούλου (2016), διπλωματική εργασία:
«Δράσεις και πολιτικές για την υιοθέτηση του Building Information Modeling (BIM) σε εθνικό και υπερεθνικό επίπεδο»
- [10] Break with an architect,
<https://www.breakwithanarchitect.com/feed/bim-benefits-for-architects>
- [11] Thomas Goubau (aproplan-blog),
<https://www.aproplan.com/blog/construction-collaboration/a-history-of-bim>
- [12] Μαρούλη Ευαγγελία - Αρχιτέκτων Μηχανικός, Κουλογεωργίου Μαρία - Αρχιτέκτων Μηχανικός
Σημειώσεις για το μάθημα «Γραμμικό Σχέδιο» (Όργανα αποτύπωσης)
- [13] Trimble,
http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-208580/022543-098L_TrimbleS6_DS_0613_LR.pdf
- [14] Sharlene Naidoo, Surveying and land information department (Performance article June 2016, Current changes in geomatics)
http://www.durban.gov.za/City_Services/engineering%20unit/Surveying_Land_Information/Documents/Current_changes_in_Geomatics.pdf
- [15] Trimble, the evolution of 3d laser scanner: past, present and predictions
<https://constructible.trimble.com/flipbooks/the-evolution-of-3d-laser-scanning-past-present-and-predictions>
- [16] Nano metrology,
<http://gr.cmm-nano.com/coordinate-measuring-machine/bridge-coordinate-measuring-machine/small-cnc-bridge-cmm/small-bridgecmm.html>
- [17] Cad-magazine,
<http://www.cad-magazine.com/content/industrie-lyon-indao-avant-premi%C3%A8re>
- [18] NDI industrial metrology,
<https://www.facebook.com/NDI-Industrial-Metrology-99084586630/>
- [19] Dr. Mostafa Abdel-Bary Ebrahim (Οκτώβριος 2011, Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Assiut University), 3D laser scanners: history, applications, and future
<https://www.scribd.com/document/78617189/3D-Laser-Scanner-Article-Review>
- [20] Research gate,
https://www.researchgate.net/figure/Active-stereo-example-of-a-time-of-flight-system-A-point-laser-emits-a-pulse-that-is_fig5_226177485

- [21] LandAir Surveying,
<http://www.landairsurveying.com/blog/3d-laser-scanning-revolutionizing-data-collection/las2/>
- [22] Surv-tech solutions,
<http://floridalaserscanning.com/3d-laser-scanning/how-does-laser-scanning-work/>
- [23] Optical sorting machine
<https://opticalsortingmachine.com/leica-hds7000-laser-scanner/>
- [24] George P. Pavlidis, Dr. Electrical Engineer: “Laser scanning and triangulation”
<http://georgepavlidis.info/research/LaserScanningAndTriangulation.php>
- [25] Topcon,
<https://www.topconpositioning.com/support/products/gls-2000>
- [26] Faro,
<https://www.faro.com/en-gb/news/faro-releases-new-handheld-3d-laser-scanner-freestyle3d-x-with-enhanced-accuracy-2/>
- [27] Gim-international,
<https://www.gim-international.com/content/article/the-fierce-rise-of-airborne-lidar>
- [28] USGS,
<https://www.usgs.gov/media/images/lidar-point-cloud-washington-dc-0>
- [29] Future technology systems,
<https://fts.gr/el/forhto-3d-optikos-sarwths/>
- [30] Depth biomechanics,
<http://www.depthbiomechanics.co.uk/?p=102>
- [31] Spie digital library,
<https://www.spiedigitallibrary.org/x430.xml?aspxerrorpath=/conference-proceedings-of-spie/9297/92972F/Scanning-freeform-objects-by-combining-shape-from-silhouette-and-shape/10.1117/12.2071553.full>
- [32] MDPI,
<https://www.mdpi.com/2076-3417/7/10/1058>
- [33] T. Bilis, T. Kouimtzoğlu, M. Magnisali, P. Tokmakidis, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W3 (2017)
“The use of 3d scanning and photogrammetry techniques in the case study of the Roman theatre of Nikopolis. Surveying, virtual reconstruction and restoration study”
- [34] Διάζωμα,
<http://www.diazoma.gr/theaters/archaio-theatro-nikopolis/>

- [35] Κατσούλης Ε. Γεώργιος (2013), μεταπτυχιακή διπλωματική διατριβή:
«Τρισδιάστατη Αποτύπωση Βυζαντινού Ναού των Αγίων Αποστόλων Θεσσαλονίκης με σαρωτή Laser», Α.Π.Θ. τμήμα αγρονόμων και τοπογράφων μηχανικών πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών «Γεωπληροφορική»
- [36] Παυλίδης Μιλτιάδης (2011), μεταπτυχιακή διατριβή:
«Αποτύπωση τμήματος των τειχών της Θεσσαλονίκης με Laser Scanner και σύγκριση με φωτογραμμετρική μέθοδο αποτύπωσης», Α.Π.Θ. τμήμα αγρονόμων και τοπογράφων μηχανικών πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών «Γεωπληροφορική»
- [37] Dronezon, Drones technology, knowledge, news & reviews (Ιανουάριος 2019),
<https://www.dronezon.com/learn-about-drones-quadcopters/what-is-drone-technology-or-how-does-drone-technology-work/>
- [38] Βασίλειος Ι. Δημητρίου – Μηχανικός γεωπληροφορικής και τοπογραφίας, Παναγιώτης Χρ. Γιαννόπουλος – Καθηγητής τμήματος πολιτικών μηχανικών στο Πανεπιστήμιο Πατρών, μεταπτυχιακή διατριβή:
«Η συμβολή των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων στα τεχνικά έργα»
- [39] Pix4d,
<https://www.pix4d.com/>
- [40] Datumate construction data analytics, case studies, cellular tower,
<https://www.datumate.com/case-studies/cellular-tower/>
- [41] Datumate construction data analytics, case studies, drone surveying an intersection with a bridge,
<https://www.datumate.com/case-studies/drone-surveying-an-intersection-with-a-bridge/>
- [42] Datumate construction data analytics, case studies, DJI and Datumate map historical site in record time,
<https://d32xrmdsd5z66d.cloudfront.net/DJI+Enterprise/Cultural+Surveying+-+Datumate.pdf>
- [43] DroneDeploy, drone mapping in construction, Brasfield & Gorrie case study,
<https://www.dronedeploy.com/resources/ebooks/drone-mapping-construction-earthwork/>
- [44] Σαββαΐδης Π.Δ., κ.ά. (2005), πανεπιστημιακές σημειώσεις Α.Π.Θ.:
«Σύγχρονα συστήματα μετρήσεων και επεξεργασίας γεωδαιτικών δεδομένων»
- [45] Μπαντέλας Αν., κ.ά. (2004), «Αποτυπώσεις – χαράξεις τεχνικών έργων», ISBN 960-343-342-X

- [46] Σωτήριος Π. Χαλιμούρδας, Αγρονόμος τοπογράφος μηχανικός Α.Π.Θ., διδακτορική διατριβή:
«Παρακολούθηση παραμορφώσεων και γεωμετρικής ποιότητας τεχνικών έργων με σύγχρονες γεωδαιτικές μεθόδους»
- [47] Tree company corporation, Ο Ρομποτικός Γεωδαιτικός Σταθμός GT Series της Topcon συνδέεται απευθείας με το Λογισμικό BIM 360 Layout της Autodesk, <https://www.treecomp.gr/positioning-news-2/47-autodesk>
- [48] Leica geosystems, Leica Viva GS16 – Self-Learning GNSS Smart Antenna, <https://leica-geosystems.com/products/gnss-systems/smart-antennas/leica-viva-gs16>
- [49] Metrica, Λύσεις GNSS, Leica Viva GS14, <https://www.metrica.gr/products/surveying-equipment/gnss-receivers>
- [50] ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε., Συχνές ερωτήσεις για το HEPOS, http://www.hepos.gr/hepos/HEPOS_faqs_v1_1_gr.pdf
- [51] ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε., Το ελληνικό σύστημα εντοπισμού HEPOS – Ορίζοντες και δυνατότητες χρήσης του για εφαρμογές GIS, http://www.hepos.gr/hepos/HEPOS_pub_2010a_gr.pdf
- [52] Πάνος Ψιμούλης, Στάθης Στείρος, Τμήμα πολιτικών μηχανικών Πανεπιστημίου Πατρών, 6^ο Εθνικό συνέδριο μεταλλικών κατασκευών, http://eeme.ntua.gr/proceedings/6th/4B_8.pdf
- [53] Constructible, Aric Stott, “How to create a 3D CAD model from a lser scanned point cloud (Overview), <https://constructible.trimble.com/construction-industry/how-to-create-a-3d-cad-model-from-a-laser-scanned-point-cloud-overview>
- [54] AECmagazine, 27 Ιανουαρίου 2015, Feature: Scan to BIM, <https://aecmag.com/software-mainmenu-32/783-scan-to-bim>
- [55] Bimobject, https://www.bimobject.com/en/alumil/product/supreme_sf85

- [56] Autodesk, what are the benefits of BIM?,
<https://www.autodesk.com/solutions/bim/benefits-of-bim>
- [57] Μπάτζιος Ευστάθιος, Φεβρουάριος 2018 Θεσσαλονίκη, ερευνητική εργασία:
«Εφαρμογές και αρχές σχεδιασμού με την χρήση της τεχνολογίας του BIM»
- [58] B2Green (18/02/20), Δημήτρης Φαρμάκης, Design consultant at Plus Energy LAB & Solvia studio, “Building information modeling (BIM): Ορισμός, τα οφέλη και εφαρμογές”,
[https://www.b2green.gr/el/post/483/building-information-modeling-\(bim\)-orismos-ta-ofeli-kai-oi-efarmoges](https://www.b2green.gr/el/post/483/building-information-modeling-(bim)-orismos-ta-ofeli-kai-oi-efarmoges)
- [59] Εφημερίδα της κυβερνήσεως της ελληνικής δημοκρατίας, 30 Σεπτεμβρίου 2016, τεύχος δεύτερο, Αρ. φύλλου 3152
- [60] Βασίλης Δ. Ανδριτσάνος, Δρ. Αγρονόμος – τοπογράφος μηχανικός ΑΠΘ, επίκουρος καθηγητής ΤΕΙ Αθήνας:
« Αποτυπώσεις – χαράξεις, στοιχεία θεωρίας σφαλμάτων»
- [61] Έντυπο ελληνικών κανονισμών οδεύσεων
- [62] U.S. Institute of Building Documentation (USIBD), USIBD Level Of Accuracy (LOA) Specification Guide,
https://cdn.ymaws.com/www.nysapls.org/resource/resmgr/2019_conference/handouts/hale-g_bim_loa_guide_c120_v2.pdf
- [63] Propeller, drones for construction (e-book),
<https://get.propelleraero.com/guide-to-drones-construction>
- [64] Propeller, Cut and fill calculations in drone survey (e-book),
<https://www.propelleraero.com/blog/calculating-cut-and-fill-quantities-on-your-construction-site/>

8.2 Πηγές – ιστοσελίδες

1. Ευαγγελία Λάμπρου, Γιώργος Πανταζής (2010), «Εφαρμοσμένη γεωδαισία», ISBN 978-960-456-205-3
2. Arthur H. Robinson, Joel L. Morrison, Phillip C. Muehrcke, A. Jon Kimerling, Stephen C. Gurtill, Μετάφραση: Τάσος Τσιαντούλας (2002), «Στοιχεία χαρτογραφίας», ISBN 960-254-612-3
3. Πέτρος Πατιάς (1991), «Εισαγωγή στη φωτογραμμετρία», ISBN 960-431-021-6
4. Γιάννης Μανιάτης (1993), «Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών», ISBN 960-431-261-2
5. Δημήτριος Ρωσσικόπουλος (2001), «Τοπογραφικά δίκτυα και υπολογισμοί», ISBN 960-431-509-9
6. Αριστείδης Φωτίου, Χρήστος Πικριδάς (2006), «GPS και γεωδαιτικές εφαρμογές», ISBN 960-456-004-2
7. Academia, The Development of Building Information Modelling (BIM) Definition, Aryani Ahmad Latiffi, Juliana Brahim, Mohamad Syazli Fathi,
http://www.academia.edu/8554458/The_Development_of_Building_Information_Modelling_BIM_Definition
8. AECmagazine (14/07/2008), Grand designs: digital cities,
<https://aecmag.com/comment-mainmenu-36/307-grand-designs-digital-cities>
9. AECmagazine (22/08/2007), MicroStation at the heart of LiDAR surveying solutions,
<https://aecmag.com/case-studies-mainmenu-37/195-microstation-at-the-heart-of-lidar-surveying-solutions>
10. Ελληνική κοινότητα δασολόγων,
<http://dasodata.gr/index.php/kainotomes-efarmoges/528-texnologia-lidar/507-texnologia-lidar>
11. Ανδρέας Γεωργόπουλος, καθηγητής Ε.Μ.Π., «Συστήματα σάρωσης με laser-LiDAR»,
https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/SURVEY121/Foto_II_08_2015_LiDAR.pdf
12. Precision hawk (17/04/2018), Drone-based LiDAR: what to know,
<https://www.precisionhawk.com/blog/media/topic/drone-based-lidar-know>

13. United States department of agriculture (USDA), A Guide to LIDAR Data Acquisition and Processing for the Forests of the Pacific Northwest, Demetrios Gatziolis and Hans-Erik Andersen
https://www.fs.fed.us/pnw/pubs/pnw_gtr768.pdf
14. Π.Τοκμακίδης, Α. Αναστασίου, Ε. Αλμπανίδης, Σ. Σπαταλάς, Κ. Τοκμακίδης: «Σύγχρονες μέθοδοι τρισδιάστατης αποτύπωσης. Η περίπτωση του θεάτρου της αρχαίας Σπάρτης»,
https://www.topo.auth.gr/main/images/pdf/TOMOS_KALTSIKIS/15_Tokmakidis.pdf
15. Laser design, «3D Scanning Technology — Hard Work That Looks Like “Magic”»,
<https://www.laserdesign.com/what-is-3d-scanning>
16. Κωνσταντίνος Καρτάλης, Χαράλαμπος Φειδάς (2006), «Αρχές & εφαρμογές δορυφορικής τηλεπισκόπησης», ISBN 978-960-387-520-8
17. BIM task group (commissioned by: Department for business, innovation & skills): “Client guide to 3D scanning and data capture”,
<https://bim-level2.org/globalassets/pdfs/clients-guide-to-3d-scanning-and-data-capture.pdf>
18. Flyability, “Elios: Inspect & explore indoor and confined spaces”,
<https://www.feds.ae/files/drones/datasheets/Elios-Brochure-English-LW.pdf>
19. Trimble, “The lay of the land (Choosing a layout solution that’s right for your business)”,
<https://mep.trimble.co.uk/lay-of-the-land>
20. McKim & Creed, “Advanced UAS / Drone technology for surveying & engineering”,
<https://static1.squarespace.com/static/530979d9e4b04bff4a3aadf5/t/592209cf46c3c4fc5e90b479/1495402966355/20170518ascenceb-toddkingpresentation.pdf>
21. Kataskevesktirion.gr, Η μετάβαση στην BIM εποχή για τον Έλληνα αρχιτέκτονα,
<http://kataskevesktirion.gr/%CE%B7-%CE%BC%CE%B5%CF%84%CE%AC%CE%B2%CE%B1%CF%83%CE%B7-%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BD-bim-%CE%B5%CF%80%CE%BF%CF%87%CE%AE-%CE%B3%CE%B9%CE%B1-%CF%84%CE%BF%CE%BD-%CE%AD%CE%BB%CE%BB%CE%B7%CE%BD%CE%B1-%CE%B1/>
22. TEE | TKM, 25 Ιανουαρίου 2018, Building information modelling: Ο ορισμός, τα οφέλη και τα εμπόδια στην ενσωμάτωση του BIM στην μελέτη – κατασκευή έργων,
<http://www.teetkm.gr/bim-kataskevh-ergwn/>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α : ΚΑΝΟΝΕΣ ΠΤΗΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΩΝ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ

Σύνοψη:

Για την πτήση drone τόσο ερασιτεχνικά, όσο και επαγγελματικά, υπάρχουν κανονισμοί για την ομαλή διεξαγωγή της πτήσεως, αλλά κυρίως για την ασφάλεια και την αποφυγή ατυχημάτων. Αυτοί οι κανονισμοί περιγράφονται στην εφημερίδα της κυβερνήσεως, σύμφωνα με τις αποφάσεις που λήφθηκαν από την υπηρεσία πολιτικής αεροπορίας.

ΕΦΗΜΕΡΙΔΑ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ [59]

30 Σεπτεμβρίου 2016

ΤΕΥΧΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

Αρ. Φύλλου 3152

ΑΠΟΦΑΣΕΙΣ

Αριθμ. Δ/ΥΠΑ/21860/1422

Κανονισμός - γενικό πλαίσιο πτήσεων Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών-ΣμηΕΑ (Unmanned Aircraft Systems - UAS).

Ο ΔΙΟΙΚΗΤΗΣ
ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΑΕΡΟΠΟΡΙΑΣ

Έχοντας υπόψη:

1. Το Ν.δ. 714/1970 αρ. 11 εδάφ. στ' (ΦΕΚ Α' 238) «Περί ιδρύσεως ΔΕΜ και οργανώσεως ΥΠΑ» όπως τροποποιήθηκε μεταγενέστερα και ειδικότερα με το Ν. 1340/1983 (ΦΕΚ Α' 35).
2. Η παρ. 1 του άρθρου 24 του Ν.δ. 714/1970 όπως αντικαταστάθηκε με την παρ. 3 άρθρου δέκατου τρίτου του Ν. 3082/2002, ΦΕΚ Α' 316/16-12-2002.
3. Τις διατάξεις του Κώδικα Αεροπορικού Δικαίου (Ν. 1815/1988 ΦΕΚ Α'/250) όπως ισχύει.
4. Το Π.δ.56/1989 αρ.7(ΦΕΚΑ'28)«Οργανισμός της Υπη-ρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας (ΥΠΑ) του Υπ. Μεταφορών και Επικοινωνιών, όπως τροποποιήθηκε μεταγενέστερα.
5. Την σύμβαση του Σικάγο «περί Διεθνούς Πολιτικής Αεροπορίας» που κυρώθηκε με τον Ν. 211/1947.
6. Τα παραρτήματα 2, 7 και 11 της Σύμβασης του Σι-κάγο όπως έχουν κυρωθεί και δημοσιευθεί αντίστοιχα στα ΦΕΚ Β' 95/2008 και ΦΕΚ Β' 87/2008.
7. Το Β.δ. 634/1970 «περί Κανονισμού Πτητικής Ικανότητας Πολιτικών Αεροσκαφών και Πιστοποιήσεως Αεροπορικών Προϊόντων εν γένει».
8. Τις διατάξεις του Ν. 3913/2011 (ΦΕΚ Α'/18/17-2-2011) περί «Αναδιοργάνωσης της ΥΠΑ και άλλες διατάξεις».

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Παράρτημα Α: Κανόνες πτήσης συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών

9. Την κοινή απόφαση Δ11/Γ/32739/25729/22-12-2015 των Υπουργών Οικονομικών και Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων περί «καθορισμού τελών υπηρεσιών νηολόγησης, υποθήκης και έκδοσης Πιστοποιητικών» (ΦΕΚ Β΄/2877/29-10-2015).
 10. Την κοινή απόφαση Δ11/Γ/5142/2294/9-2-2007 των Υπουργών Οικονομικών και Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων περί «αναπροσαρμογής παραβόλων», όπως ισχύει εκάστοτε.
 11. Την πρόταση της Ομάδας εργασίας που συγκροτήθηκε με την απόφαση ΓΔΑΜ/4936/5/19-2-2015 του Διοικητού ΥΠΑ.
 12. Την διενέργεια δημόσιας διαβούλευσης μέσω του ιστοτόπου της ΥΠΑ.
 13. Το γεγονός ότι από τις διατάξεις της παρούσας δεν προκαλείται δαπάνη σε βάρος του κρατικού προϋπολογισμού.
 14. Τον Εθνικό Κανονισμό Ασφάλειας Πολιτικής Αεροπορίας (ΕΚΑΠΑ) ΦΕΚ 1485/8/17-6-2011 και τις τεχνικές οδηγίες ΤΟΑ1 και ΤΟΑ2 όπως κάθε φορά ισχύουν.
 15. Την εξουσιοδοτική διάταξη της παρ. 1 του άρθρου 24 του Ν.δ. 714/1970 όπως αντικαταστάθηκε με την παρ. 3 άρθρου δέκατου τρίτου του Ν. 3082/2002, ΦΕΚ Α΄ 316/16-12-2002.
 16. Τη ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας των ΣΜΗΕΑ και αντίστοιχα την ταχύτατη διάδοση και την ευρεία χρήση τους που δημιούργησε την ανάγκη θεσμοθέτησης του πλαισίου και των βασικών κανόνων της ρύθμισης του σχετικού πεδίου, αποφασίζουμε:
- Εγκρίνουμε τον κατωτέρω Κανονισμό περί «πτήσεων Συστημάτων Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών - ΣμηΕΑ (Unmanned Aircraft Systems - UAS)» ως εξής:

Άρθρο 1: Σκοπός

Με το παρόντα Κανονισμό καθορίζονται οι όροι και οι προϋποθέσεις για την εκτέλεση πτήσεων των Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών ΣμηΕΑ (Unmanned Aircraft Systems - UAS), ελεύθερων ή προσδεδμένων (free or tethered) στο ΑΘΗΝΑΙ FIR / HELLAS UIR.

Άρθρο 2: Πεδίο Εφαρμογής

1. Οι ρυθμίσεις του παρόντος Κανονισμού αφορούν σε όλες τις κατηγορίες Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών - ΣμηΕΑ όπως καθορίζονται στα επόμενα άρθρα.
2. Στο πεδίο εφαρμογής του παρόντος Κανονισμού δεν εμπíπτουν:
 - α. Τα Αερομοντέλα, τα θέματα των οποίων ρυθμίζονται από τον Κανονισμό ΥΠΑ περί «Πτήσεων Αερομοντέλων» (ΦΕΚ Β΄/9/13-1-2010) όπως ισχύει.
 - β. Μη επανδρωμένα αεροσκάφη που χρησιμοποιούνται για στρατιωτικούς ή άλλους κρατικούς σκοπούς από τους αντίστοιχους κρατικούς φορείς (ένοπλες δυνάμεις, σώματα ασφαλείας κλπ). Κατ' εξαίρεση, οι κρατικοί φορείς που είναι υπεύθυνοι για ΣμηΕΑ τα οποία χρησιμοποιούνται για πτήσεις κρατικών δραστηριοτήτων έχουν τη δυνατότητα με αίτηση τους προς την ΥΠΑ να υπα-χθούν στις διατάξεις του παρόντος κανονισμού.
 - γ. Τα ελεύθερα ή προσδεδμένα μπαλόνια (tethered or free balloons).

Άρθρο 3: Ορισμοί – Συντομογραφίες

Αερομοντέλο ή Μοντέλο Αεροσκάφους (Model Aircraft)

Είναι μία ιπτάμενη συσκευή περιορισμένων διαστάσεων, που φέρει ή όχι προωθητικό σύστημα, που δεν έχει τη δυνατότητα να μεταφέρει άνθρωπο, και το οποίο χρησιμοποιείται για αεραθλητισμό ή ψυχαγωγία. Τα αερομοντέλα μπορεί να έχουν τη μορφή αεροπλάνου, ανεμοπτερού, ελικόπτερου, αυτόγυρου, υδροπλάνου, αμφίβιου, αλεξίπτωτου, αερόστατου, αερόπλοιου, ή άλλης μορφής. Τα αερομοντέλα μπορεί να είναι τηλεχειριζόμενα, ελεύθερης πτήσης, ή κυκλικής πτήσης. (ΦΕΚ Β΄/9/13-1-2010).

Αεροπορική Αρχή

Είναι η Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας - ΥΠΑ, κρατική υπηρεσία που με βάση την κείμενη νομοθεσία και τις σχετικές κανονιστικές πράξεις είναι αρμόδια για θέματα πολιτικής αεροπορίας στην Ελλάδα.

Αεροπορικές εργασίες (Aerial work)

Επιχειρησιακή λειτουργία αεροσκάφους κατά την οποία το αεροσκάφος χρησιμοποιείται για εκτέλεση ειδικευμένων εργασιών όπως στη γεωργία, τις κατασκευές, τη φωτογραφία και κινηματογράφηση, την επιθεώρηση διαφόρων εγκαταστάσεων, την παρακολούθηση και περιπολία, την έρευνα και τη διάσωση, την εναέρια διαφήμιση, κ.λπ.

Αεροσκάφος (Aircraft)

Κάθε μηχανήμα που εξασφαλίζει τη στήριξη του στην ατμόσφαιρα χάρη στην αντίσταση του αέρα πλην της αντίστασης του αέρα επί της επιφάνειας της Γης.

Ανοικτή κατηγορία ΣμηΕΑ (UAS Open Category)

Κατηγορία ΣμηΕΑ των οποίων η πτητική λειτουργία διεξάγεται με απευθείας οπτική επαφή του χειριστή μικρών μη επανδρωμένων αεροσκαφών με ΜΤΟΜ κάτω των 25 κιλών εντός ασφαλούς απόστασης από πρόσωπα στο έδαφος.

Απαγορευμένες Περιοχές για τις πτήσεις συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών

Προσδιορισμένες απαγορευμένες περιοχές πτήσεων των Συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών - ΣμηΕΑ άνωθεν στρατιωτικών και βιομηχανικών εγκαταστάσεων, κτιρίων δημοσίων υπηρεσιών, και περιοχών δημοσίου ενδιαφέροντος, όπως ανακοινώνονται με ευθύνη του ΥΠΕΘΑ των Υπηρεσιών Προστασίας του Πολίτη ή άλλων Υπουργείων με σκοπό την αποφυγή τους στο σχεδιασμό των πτήσεων των ΣμηΕΑ ή και τη γεωπερίφραξη.

Απαγορευμένη Περιοχή (Prohibited Area)

Εναέριος χώρος καθορισμένων διαστάσεων, επάνω από τις χερσαίες εκτάσεις ή τα χωρικά ύδατα κράτους, εντός του οποίου απαγορεύεται η πτήση αεροσκαφών.

Αποκλειστικός Εναέριος Χώρος - Segregated Airspace»

Νοείται Εναέριος Χώρος καθορισμένων διαστάσεων που διατίθενται για την αποκλειστική χρήση ενός συγκεκριμένου(-ων) χρήστη(-ών).

Γεωπερίφραξη (Geofencing)

Ως γεωπερίφραξη νοείται ο περιορισμός της πρόσβασης ενός μη επανδρωμένου αεροσκάφους μέσω του καθορισμού συγκεκριμένων περιοχών στις οποίες αυτό δεν εισέρχεται βάσει του

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Παράρτημα Α: Κανόνες πτήσης συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών

σχεδιασμού του λογισμικού ή/ και του υλικού του, ακόμη και εάν ο χειριστής εκούσια ή ακούσια δώσει εντολή στο μη επανδρωμένο αεροσκάφος να εισέλθει στις συγκεκριμένες περιοχές.

Ειδική κατηγορία ΣμηΕΑ (UAS Specific Category)

Κατηγορία ΣμηΕΑ των οποίων η πτητική λειτουργία είναι πιθανόν να ενέχει σημαντικούς κινδύνους για τα πρόσωπα υπεράνω των οποίων εκτελείται.

Είδος χρήσης του ΣμηΕΑ

Τα ΣμηΕΑ χρησιμοποιούνται για εμπορικό, επιστημονικό ή ψυχαγωγικό σκοπό καθώς και για την εκτέλεση πτήσεων αεροπορικών εργασιών. Ο εκμεταλλεόμενος (ιδιοκτήτης, κάτοχος, μισθωτής) του αεροσκάφους υποχρεούται να δηλώνει προς την Αεροπορική Αρχή το είδος της χρήσης του.

Εκμεταλλεόμενος το ΣμηΕΑ (Operator)

Είναι ο ιδιοκτήτης, κάτοχος η/και μισθωτής ενός ή περισσότερων ΣμηΕΑ την χρήση των οποίων υποχρεούται να δηλώνει προς την Αεροπορική Αρχή (ΥΠΑ). Ο εκμεταλλεόμενος μπορεί να είναι φυσικό ή νομικό πρόσωπο.

Ελεγχόμενος Εναέριος Χώρος

Εναέριος Χώρος καθορισμένων διαστάσεων που ορίζεται από την ΥΠΑ, εντός του οποίου παρέχεται υπηρεσία Ελέγχου Εναέριας Κυκλοφορίας (ΕΕΚ) για τις IFR και VFR πτήσεις σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση του Εναερίου Χώρου, όπως περιγράφεται στο AIP GREECE.

Εμπορική εκμετάλλευση του ΣμηΕΑ

Είναι η χρήση του ΣμηΕΑ για εκτέλεση πτήσεων που αποφέρουν οικονομικό όφελος στον εκμεταλλεόμενο.

Επικίνδυνα Υλικά (Dangerous Goods)

Ουσίες ή υλικά τα οποία κάτω από ορισμένες συνθήκες (θερμοκρασίας, πίεσης, τριβής, κρούσης) εμφανίζουν ιδιότητες επικίνδυνες για την υγεία την ασφάλεια και τα περιουσιακά στοιχεία.

Κανόνες πτήσης εξ όψεως (VFR)

Νοούνται οι κανόνες ως περιγράφονται στο AIP GREECE.

Λειτουργία σε απόσταση οπτικής επαφής (Visual Line Of Sight - VLOS)

Νοείται η λειτουργία του ΣμηΕΑ κατά τη διάρκεια της οποίας ο χειριστής του συστήματος διατηρεί άμεση οπτική επαφή με το αεροσκάφος για να διαχειριστεί την πτήση και να ανταποκριθεί στους απαιτούμενους χειρισμούς για διαχωρισμό και αποφυγή συγκρούσεων.

Λειτουργία με Επέκταση Οπτικής επαφής (Extended Visual Line Of Sight - EVLOS)

Νοείται η λειτουργία του ΣμηΕΑ, κατά τη διάρκεια της οποίας ο χειριστής του συστήματος έχει τη δυνατότητα αποφυγής συγκρούσεων, αλλά η απαίτηση να διατηρεί οπτική επαφή της επιχειρησιακής λειτουργίας του ΣμηΕΑ επιτυγχάνεται παρακολουθώντας την πορεία του είτε μέσω κάμερας, με τη μετάδοση της σχετικής εικόνας είτε μέσω παρατηρητή (φυσικού προσώπου).

Λειτουργία Πέραν Οπτικής επαφής (Beyond Visual Line Of Sight BVLOS)

Νοείται η λειτουργία του ΣμηΕΑ σε απόσταση τέτοια, όπου δεν είναι δυνατή η με οποιοδήποτε τρόπο επαφή του χειριστή του συστήματος με οπτικά μέσα. Ο χειριστής δεν έχει τη δυνατότητα αποφυγής σύγκρουσης με άλλους χρήστες του Εναερίου Χώρου. Για την ασφαλή διεξαγωγή των πτήσεων, απαιτείται στην περίπτωση αυτή Προσωρινή Αποκλειστική (Temporary Segregated

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Παράρτημα Α: Κανόνες πτήσης συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών

Area) Περιοχή Εναερίου Χώρου με πλήρη συμμόρφωση στις εγκεκριμένες Διαδικασίες Εναερίου Κυκλοφορίας.

Μη επανδρωμένο Αεροσκάφος - μηΕΑ (Unmanned Aircraft - UA)

Ορίζεται το αεροσκάφος το οποίο λειτουργεί ή έχει σχεδιαστεί να λειτουργεί χωρίς να επιβαίνει χειριστής σε αυτό.

MTOM (Maximum Take Off Mass)

Είναι η μέγιστη μάζα του αεροσκάφους κατά την απογείωση.

Περιορισμένη Περιοχή (Restricted Area)

Εναέριος χώρος καθορισμένων διαστάσεων, επάνω από τις χερσαίες εκτάσεις ή τα χωρικά ύδατα κράτους, εντός του οποίου η πτήση αεροσκαφών περιορίζεται σύμφωνα με ορισμένες ειδικές προϋποθέσεις.

Πιστοποιητικό εκμεταλλεόμενου ΣμηΕΑ (ROC-Remote Operation Certificate)

Είναι το πιστοποιητικό που απαιτείται για τον εκμεταλλεόμενο ενός ή περισσότερων ΣμηΕΑ της πιστοποιημένης κατηγορίας το οποίο χορηγείται από την ΥΠΑ σύμφωνα με τις προϋποθέσεις του παρόντος Κανονισμού. Ο εκμεταλλεόμενος οφείλει να παρουσιάζει το Πιστοποιητικό σε ισχύ, όποτε τούτο ζητηθεί.

Πιστοποιημένη κατηγορία ΣμηΕΑ (UAS Certified Category)

Κατηγορία ΣμηΕΑ των οποίων η πτητική λειτουργία διεξάγεται με απαιτήσεις ανάλογες εκείνων που ισχύουν για τα επανδρωμένα αεροσκάφη, δηλαδή με προηγούμενη εξασφάλιση αδειών και πιστοποιητικών αξιοπλοΐας.

Προσωρινές Αποκλειστικές Περιοχές (Temporary Segregated Areas) για την πτήση συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών

Εναέριος Χώρος, καθορισμένων διαστάσεων που διατίθεται για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα για αποκλειστική χρήση συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών - ΣμηΕΑ.

Προσωρινή Αποκλειστική Περιοχή (Temporary Segregated Area)

Εναέριος Χώρος, καθορισμένων διαστάσεων υπό τη δικαιοδοσία αεροπορικής αρχής, ο οποίος διατίθεται προσωρινά για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, για αποκλειστική χρήση συγκεκριμένου(-ων) χρήστη(-ών) του Εναερίου Χώρου.

Σύστημα μη επανδρωμένου αεροσκάφους - ΣμηΕΑ (Unmanned Aircraft System - UAS)

Είναι το μη επανδρωμένο αεροσκάφος (UA) μαζί με όλο τον σχετικό εξοπλισμό που αφορά στην υποστήριξη αυτού (σταθμός ελέγχου, δυνατότητες σύνδεσης δεδομένων και τηλεχειρισμού, εξοπλισμός πλοήγησης κ.λπ.) ο οποίος είναι απαραίτητος για την λειτουργία του μη επανδρωμένου αεροσκάφους. Τα ΣμηΕΑ είναι είτε ελεύθερα (free UAS) ή είναι δυνατόν να είναι προσδεδμένα (tethered UAS) σε σταθερές ή κινητές βάσεις. Στην κατηγορία των συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών - ΣμηΕΑ (Unmanned Aircraft System - UAS) περιλαμβάνονται και τα Τηλεχειριζόμενα Αεροσκάφη (Remotely-Piloted Aircraft RPA) και τα Τηλεχειριζόμενα Συστήματα

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Παράρτημα Α: Κανόνες πτήσης συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών

Αεροσκαφών (Remotely-Piloted Aircraft Systems RPAS), καθώς και τα αυτόνομα αεροσκάφη (autonomous aircraft).

Άρθρο 4: Κατηγορίες συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών

1. Για την κατηγοριοποίηση των ΣμηΕΑ λαμβάνονται υπόψη τα ακόλουθα κριτήρια:
 - η μέγιστη μάζα απογείωσης (MTOM) - το είδος της χρήσης
 - το ύψος άνωθεν της επιφάνειας της γης ή της θαλάσσης όπου επιτρέπεται να ίπτανται
 - οι περιοχές (αποκλειστικές ή μη) όπου ίπτανται - οι τεχνικές δυνατότητες εκάστου ΣμηΕΑ
 - η πολυπλοκότητα του περιβάλλοντος πτητικής λειτουργίας του ΣμηΕΑ
2. Λαμβανομένων υπόψη των κριτηρίων της προηγούμενης παραγράφου καθορίζονται οι ακόλουθες κατηγορίες ΣμηΕΑ:
 - A. Η «ανοικτή» κατηγορία (UAS Open Category)
 - B. Η «ειδική» κατηγορία (UAS Specific Category)
 - Γ. Η «πιστοποιημένη» κατηγορία (UAS Certified Category)

Άρθρο 5: Κανόνες Εναέριας Κυκλοφορίας για τη Διεξαγωγή των Πτήσεων ΣΜηΕΑ (UAS)

1. Η Διεξαγωγή Πτήσεων ΣΜηΕΑ (UAS) επιτρέπεται γενικά σε εναέριο χώρο διαχωρισμένο (segregated) από τον εναέριο χώρο που χρησιμοποιείται από τα επανδρωμένα αεροσκάφη. Ειδικότερα τα Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ) επιτρέπεται να ίπτανται:
 - A. κάτω από τα επιτρεπόμενα όρια για την κυκλοφορία επανδρωμένων αεροσκαφών με κανόνες πτήσεως διά οργάνων (IFR) ή/και εξ' όψεως (VFR), με μέγιστο ύψος τα 400 πόδια (FT) επάνω από το έδαφος ή την επιφάνεια της θάλασσας (AGL,MSL).
 - B. επάνω από τα ανώτερα όρια του ελεγχόμενου Εναερίου Χώρου για την κυκλοφορία επανδρωμένων αεροσκαφών (Επίπεδο Πτήσεως 460 - 46.000FT).
 - Γ. εντός Προσωρινών Αποκλειστικών Περιοχών (Temporary Segregated Areas TSA) που προσδιορίζονται από τις υπηρεσίες Εναέριας Κυκλοφορίας της ΥΠΑ για πτήσεις ΣΜηΕΑ (UAS) σε καθορισμένα ίχνη και ύψη που προσδιορίζονται με ειδικές άδειες των Υπηρεσιών Εναέριας Κυκλοφορίας της ΥΠΑ.
2. Η διεξαγωγή Πτήσεων ΣΜηΕΑ (UAS) απαγορεύεται γενικά σε εναέριο χώρο:
 - A. όπου διενεργούνται πτήσεις επανδρωμένων αεροσκαφών με κανόνες πτήσεως διά οργάνων (IFR) ή και εξ' όψεως (VFR).
 - B. εντός των Ζωνών Κυκλοφορίας των αεροδρομίων (ATZ), και ούτως ή άλλως σε απόσταση μικρότερη από 8 χλμ. από την περίμετρο του αεροδρομίου και από τα ίχνη προσγείωσης / απογείωσης από / προς το αεροδρόμιο.
 - Γ. στις «Απαγορευμένες Περιοχές για τις πτήσεις συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών», όπως ορίζονται από τους αρμόδιους φορείς και δημοσιεύονται με απόφαση της ΥΠΑ εντός των

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Παράρτημα Α: Κανόνες πτήσης συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών

απαγορευμένων και περιορισμένων περιοχών (Prohibited, Restricted Areas) εντός των οποίων απαγορεύονται ή περιορίζονται οι πτήσεις των επανδρωμένων αεροσκαφών οι οποίες ορίζονται από τις υπηρεσίες εναέριας κυκλοφορίας και περιγράφονται στο AIP Ελλάδος.

3. Σε ειδικές περιπτώσεις και κατόπιν αιτήματος προς την ΥΠΑ/Δ4 υπάρχει η δυνατότητα να επιτραπεί η πτήση ΣΜηΕΑ (UAS) στον εναέριο χώρο της ανωτέρω παραγράφου 2 του ίδιου άρθρου.
4. Ο χειριστής είναι υπεύθυνος για την ασφαλή λειτουργία και την ασφαλή απόσταση του ΣμηΕΑ από ανθρώπους και κινητά/ακίνητα στοιχεία περιουσίας στο έδαφος ή την θάλασσα. Οι χειριστές των ΣμηΕΑ που χρησιμοποιούνται για μη επαγγελματικούς σκοπούς θα εξασφαλίζουν ότι δεν θα ίπτανται άνωθεν ανθρώπων.
5. Απαγορεύεται η πτήση ΣΜηΕΑ (UAS) ανοικτής (Open) κατηγορίας επάνω από συγκεντρώσεις προσώπων.
6. Η διεξαγωγή των πτήσεων ΣΜηΕΑ με λειτουργία σε απόσταση οπτικής επαφής (Visual Line of Sight-VLOS) ή και με λειτουργία σε απόσταση με επέκταση οπτικής επαφής (Extended Visual Line of Sight-EVLOS) θα διενεργείται στα χρονικά όρια μισής ώρας πριν την ανατολή του ηλίου έως μισής ώρας μετά την δύση του ηλίου. Οι πτήσεις ΣΜηΕΑ με λειτουργία σε απόσταση οπτικής επαφής (VLOS) θα διεξάγονται σε απόσταση μικρότερη από 500μ. από τον χειριστή τους, ενώ η αντίστοιχη μέγιστη απόσταση για τις πτήσεις ΣΜηΕΑ με λειτουργία σε απόσταση με επέκταση οπτικής επαφής (EVLOS) ή και μετά τη δύση του ηλίου, θα ορίζονται από τις ειδικές άδειες που θα χορηγούνται από την ΥΠΑ/Δ2, στην Ειδική και την Πιστοποιημένη Κατηγορία.
7. Απαγορεύεται η μεταφορά επικίνδυνων υλικών από ΣΜηΕΑ (UAS).
8. Οι εκμεταλλεόμενοι/ιδιοκτήτες/χειριστές των ΣμηΕΑ των οποίων η πτήση διεξάγεται σε απόσταση μεγαλύτερη των 50 μ. από τον χειριστή απαιτείται να υποβάλλουν αίτηση εγγραφής στο ειδικό Μητρώο ή το Νηολόγιο της ΥΠΑ, ή να διαβιβάσουν το πιστοποιητικό καταχώρησης στο Μητρώο ή το Νηολόγιο αντίστοιχης υπηρεσίας του εξωτερικού. Η αίτηση υποβάλλεται ηλεκτρονικά με φόρμα εγγραφής που θα παρέχεται από το ιστολόγιο της ΥΠΑ (www.ypa.gr). Η καταχώρηση στην «Ανοικτή», την «Ειδική» ή «Πιστοποιημένη» Κατηγορία ΣμηΕΑ γίνεται με απόφαση της ΥΠΑ/Δ2 με κριτήρια πέραν του βάρους την αξιολόγηση των κινδύνων, τις διεξαγόμενες επιχειρήσεις και τις τεχνικές δυνατότητές τους. Σε περιπτώσεις για τις οποίες η εξυπηρέτηση της διεξαγωγής εναέριων εργασιών απαιτεί ειδική άδεια, οι ιδιοκτήτες/χειριστές των ΣΜηΕΑ θα απευθύνονται στην ΥΠΑ λαμβάνοντας σχετικές πληροφορίες από την ιστοσελίδα της.
9. Ο εκμεταλλεόμενος/ιδιοκτήτης/χειριστής του ΣμηΕΑ:
 - A. έχει την ευθύνη αποφυγής σύγκρουσης στον αέρα ή στην χερσαία/υδάτινη επιφάνεια με άλλα αεροσκάφη πάσης μορφής ή με εμπόδια.
 - B. τηρεί ασφαλείς αποστάσεις από αεροσκάφη πάσης μορφής, πρόσωπα και κινητά/ ακίνητα αντικείμενα.
 - Γ. τηρεί τις ισχύουσες διατάξεις των νόμων για την προστασία προσωπικών δεδομένων. (Έχει την αστική ευθύνη για τις τυχόν ζημιές που προκαλούνται κατά την εκτέλεση των πτήσεων των ΣμηΕΑ υπό το χειρισμό/εκμετάλλευσή του.)

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Παράρτημα Α: Κανόνες πτήσης συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών

Ε. είναι υπεύθυνος να εξασφαλίσει την καταχώρηση του ΣμηΕΑ στο ειδικό μητρώο της ΥΠΑ, και την έκδοση των αδειών πτητικής ικανότητας χειριστών ή και άδειας αεροπορικής εκμετάλλευσης αν απαιτείται, σύμφωνα με τις διατάξεις του παρόντος κανονισμού και γενικά την τήρησή του.

ΣΤ. είναι υπεύθυνος για την ταυτοποίηση του ΣμηΕΑ με ένθετη πινακίδα ή ανεξίτηλη γραφή, με τον αριθμό καταγραφής στο μητρώο της ΥΠΑ.

Ζ. είναι υπεύθυνος για τον συνυπολογισμό των καιρικών συνθηκών σε σχέση με τις τεχνικές δυνατότητες του ΣμηΕΑ.

10. Οι πτήσεις ΣμηΕΑ δεν θεωρούνται πτήσεις εξ' όψεως (VFR) ή πτήσεις δια οργάνων (IFR). Στις πτήσεις ΣμηΕΑ δεν παρέχεται υπηρεσία Ελέγχου Εναέριας Κυκλοφορίας - ΕΕΚ (Air Traffic Control-ATC) και επίσης δεν παρέχονται άλλες υπηρεσίες εναέριας κυκλοφορίας - ΕΚ (Air Traffic Services -ATS). Όταν απαιτείται, οι Υπηρεσίες Εναέριας Κυκλοφορίας της ΥΠΑ εκδίδουν ειδικές άδειες και οδηγίες.
11. Η δυνατότητα χρήσης γεωπερίφραξης, είναι αναγκαία προϋπόθεση για την πτήση των ΣμηΕΑ σε Προσωρινά Αποκλειστικές Περιοχές (Temporary Segregated Areas).
12. Οι εκμεταλλεζόμενοι/χειριστές ΣμηΕΑ των οποίων η πτήση διεξάγεται σε απόσταση μεγαλύτερη των 50 μ. από τον χειριστή, έχουν την υποχρέωση πριν τη διεξαγωγή της πτήσης τους να συμπληρώνουν τα στοιχεία διαδρομής μέσω της ειδικής ηλεκτρονικής εφαρμογής για Σχέδιο Πτήσης των ΣμηΕΑ στον ιστότοπο της ΥΠΑ, στην οποία αποτυπώνονται οι δομές του εναερίου χώρου, δημοσιεύονται οι περιοχές όπου απαγορεύονται οι πτήσεις των ΣμηΕΑ, όπως τα αεροδρόμια, οι απαγορευμένες, περιορισμένες, επικίνδυνες περιοχές (Prohibited, Restricted, Danger Areas) για ΣμηΕΑ και επανδρωμένα αεροσκάφη. Επίσης στην ίδια εφαρμογή δημοσιεύονται οι προσωρινές αποκλειστικές περιοχές που ορίζονται για χρήση των ΣμηΕΑ.
13. Οι χειριστές συμπληρώνουν τα στοιχεία άμεσης επικοινωνίας (κινητό ή και σταθερό τηλέφωνο) και παραμένουν διαθέσιμοι για επικοινωνία με Υπηρεσίες Εναέριας Κυκλοφορίας της ΥΠΑ για τυχόν οδηγίες κατά τη διάρκεια της πτήσης.
14. Οι χειριστές (operators) ή/και οι ιδιοκτήτες ΣμηΕΑ πρέπει να αναφέρουν, συμπληρώνοντας την ειδική ηλεκτρονική φόρμα στην ιστοσελίδα της ΥΠΑ, τυχόν βλάβες, δυσλειτουργίες, ελαττώματα ή άλλα συμβάντα που προκάλεσαν ή θα μπορούσαν να προκαλέσουν σοβαρό τραυματισμό ή θάνατο προσώπου.

Άρθρο 6: «Ανοικτή» κατηγορία ΣμηΕΑ (UAS Open Category)

1. Γενικές προϋποθέσεις:
 - α. Ο χειριστής (remote pilot) έχει απευθείας οπτική επαφή με το ΣμηΕΑ και η πτήση διεξάγεται σε απόσταση μικρότερη από 500μ. από τον χειριστή του ΣμηΕΑ.
 - β. Οι πτήσεις της «Ανοικτής» κατηγορίας εκτελούνται μόνο με μη επανδρωμένα αεροσκάφη με μέγιστη μάζα κατά την απογείωση (MTOM) μικρότερη των 25 κιλών.
 - γ. Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη που ίπτανται σε Προσωρινές Αποκλειστικές Περιοχές

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Παράρτημα Α: Κανόνες πτήσης συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών

(Temporary Segregated Areas) για την πτήση ΣμηΕΑ πρέπει να συμμορφώνονται προς τους ισχύοντες περιορισμούς.

δ. Το μεγαλύτερο επιτρεπόμενο ύψος πτήσης των ΣμηΕΑ της «ανοικτής» κατηγορίας είναι τα 400 πόδια (FT) από την επιφάνεια του εδάφους (AGL) ή της μέσης στάθμης της θάλασσας (MSL).

ε. Τα ΣμηΕΑ της «ανοικτής» κατηγορίας δεν επιτρέπεται να εκτελούν πτήση επάνω από συγκεντρώσεις και η πτητική ασφάλεια συμπληρώνεται με μηχανισμούς ασφαλείας (αλεξίπτωτα, μικρό βάρος σώματος με αφρώδες υλικό κ.α.)

ζ. Ο εκμεταλλεόμενος (ιδιοκτήτης, κάτοχος, αγοραστής ή μισθωτής) και ο χειριστής (remote pilot) των ΣμηΕΑ της «ανοικτής» κατηγορίας με εμβέλεια τηλεχειρισμού άνω των 50μ.

εγγράφεται σε ειδικά Μητρώα (ιδιοκτητών, κατόχων, μισθωτών και χειριστών ΣμηΕΑ) τα οποία τηρούνται στην ΥΠΑ, ανεξαρτήτως τρόπου πτήσης ή κατασκευής (περιλαμβανομένων των ηλεκτρονικών καταστημάτων ή και των ιδιοκατασκευών). Η εγγραφή θα γίνεται με συμπλήρωση στοιχείων σε ηλεκτρονική φόρμα που θα παρέχεται προς συμπλήρωση από τον ιστότοπο της ΥΠΑ και θα αποστέλλεται ηλεκτρονικά (email, FAX) στην ΥΠΑ με την παράλληλη υποχρέωση για βεβαίωση ταυτοπροσωπίας από ΚΕΠ ή άλλο αρμόδιο φορέα και εναλλακτικά με τις προβλεπόμενες από τον νόμο διαδικασίες (σε περίπτωση καθιέρωσης ηλεκτρονικής υπογραφής). Στην φόρμα εγγραφής θα αναγράφονται τα στοιχεία αστυνομικής ταυτότητας, η διεύθυνση κατοικίας, ο τύπος της συσκευής, ο σειριακός αριθμός καθώς και το κατάσταση και η ημερομηνία αγοράς ή ιδιοκατασκευής, σύμφωνα με τις οδηγίες στην ιστοσελίδα της ΥΠΑ. Σε περίπτωση επαγγελματικής χρήσης των ΣμηΕΑ «ανοικτής» κατηγορίας υποβάλλεται και αντίγραφο ποινικού μητρώου όπως αναφέρεται στο άρθρο 11.

η. Ο εκμεταλλεόμενος (ιδιοκτήτης, κάτοχος, μισθωτής – operator) και ο χειριστής (remote pilot) ΣμηΕΑ που έχει εγγραφεί στα Ειδικά Μητρώα υποχρεούται να δηλώνει στην ΥΠΑ:

- κάθε περίπτωση απώλειας, κλοπής ή καταστροφής του ΣμηΕΑ με αντίστοιχο έντυπο και υπεύθυνη δήλωση που θα είναι διαθέσιμα στην ιστοσελίδα της ΥΠΑ.

- με ηλεκτρονικό τρόπο μέσω της ιστοσελίδας της, τυχόν βλάβες, δυσλειτουργίες, ελαττώματα ή άλλα συμβάντα που προκάλεσαν ή θα μπορούσαν να προκαλέσουν σοβαρό τραυματισμό ή θάνατο προσώπου.

θ. Οι εκμεταλλεόμενοι (ιδιοκτήτες, κάτοχοι, αγοραστές ή μισθωτές) και οι χειριστές (remote pilot) των ΣμηΕΑ «ανοικτής» κατηγορίας ταυτόχρονα με την εγγραφή τους καταχωρούν ηλεκτρονική διεύθυνση για να λαμβάνουν ενημερώσεις (newsletters) για τα ΣμηΕΑ από την υπηρεσία ενημέρωσης του ιστότοπου της ΥΠΑ.

ι. Όλοι οι εκμεταλλεόμενοι/ιδιοκτήτες/χειριστές των ΣμηΕΑ της «ανοικτής» κατηγορίας ανεξαρτήτως εμβέλειας, συμπεριλαμβανομένων και εκείνων με εμβέλεια τηλεχειρισμού κάτω των 50μ. έχουν την υποχρέωση πριν τη διεξαγωγή της πτήσης τους, να ενημερώνονται για τις περιοχές όπου ισχύουν απαγορεύσεις πτήσεων ΣμηΕΑ. Για τις πτήσεις των ΣμηΕΑ με εμβέλεια τηλεχειρισμού άνω των 50μ. υπάρχει η υποχρέωση να συμπληρώνονται τα στοιχεία της διαδρομής τους σε ειδικό σχέδιο πτήσεως μέσω της ειδικής ηλεκτρονικής εφαρμογής για Σχέδιο Πτήσης των ΣμηΕΑ στον ιστότοπο της ΥΠΑ, όπου αποτυπώνονται οι δομές του εναέριου χώρου, τα αεροδρόμια, οι απαγορευμένες και οι αποκλειστικές περιοχές για τις πτήσεις των ΣμηΕΑ.

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Παράρτημα Α: Κανόνες πτήσης συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών

Άρθρο 7: Υποκατηγορίες «ανοικτής» κατηγορίας – ειδικές προϋποθέσεις

1. Η «ανοικτή» κατηγορία ΣμηΕΑ διακρίνεται σε τρεις υποκατηγορίες για τις οποίες απαιτούνται οι παρακάτω προϋποθέσεις:
 - 1.1 CAT A0: «Μίνι Συστήματα Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών» με μέγιστη μάζα αεροσκάφους κατά την απογείωση (MTOM) μικρότερη του ενός κιλού (<1kg)
 - 1.1.1 Κάθε Σύστημα Μη Επανδρωμένου Αεροσκάφους που πωλείται ως καταναλωτικό προϊόν και έχει MTOM μικρότερη του ενός κιλού (1) θα πρέπει να ακολουθεί τις προϋποθέσεις της γενικής ασφάλειας των προϊόντων.
 - 1.1.2 Ανάλογα με το επίπεδο εξοπλισμού, οι χειριστές των ΣμηΕΑ της A0 «ανοικτής» κατηγορίας:
 - α. θα περιορίζουν την πτήση τους έως τα 50μ. επάνω από το έδαφος, σε τοπική πτήση, ή
 - β. εναλλακτικά έχοντας τις τεχνικές δυνατότητες να ορίσουν αυτομάτως των πτήση τους σε ύψος και διαδρομή, έως το όριο των 400 ποδιών (FT).
 - 1.1.3 Διευκρινίζεται ότι τα ΣμηΕΑ CAT A0 σε περίπτωση επαγγελματικής χρήσης, ακολουθούν τα προβλεπόμενα για τα ΣμηΕΑ επαγγελματικής χρήσης, ανεξαρτήτως εμβέλειας τηλεχειρισμού.
 - 1.2 CAT A1: «Πολύ Μικρά Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών» με μέγιστη μάζα αεροσκάφους κατά την απογείωση (MTOM) από ένα κιλό (≥ 1 kg) έως τα τέσσερα κιλά (<4kg).
 - 1.2.1. Κάθε μη επανδρωμένο αεροσκάφος που πωλείται ως καταναλωτικό προϊόν και έχει MTOM από ένα και μέχρι 4 κιλά πρέπει να ακολουθεί τη γενική ασφάλεια των προϊόντων και πρέπει να διαθέτει τα μέσα για τον αυτόματο περιορισμό του Εναερίου Χώρου στον οποίον μπορεί να εισέρχεται. Οι τεχνικές δυνατότητες των Πολύ Μικρών μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών θα πρέπει να διασφαλίζουν ότι θα ίπτανται κάτω από τα 400 πόδια (FT) από το έδαφος ή την επιφάνεια της θάλασσας σε λειτουργία τηλεχειριζόμενης τοπικής πτήσης και θα διαθέτει τα μέσα για τον αυτόματο περιορισμό του Εναερίου Χώρου στον οποίον μπορεί να εισέρχεται.
 - 1.2.2. Τα Πολύ Μικρά Συστήματα Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών ΣμηΕΑ που πετούν σε Προσωρινές Αποκλειστικές Περιοχές (Temporary Segregated Areas) για την πτήση συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών πρέπει να διαθέτουν ενεργοποιημένη ικανότητα ενημερωμένης γεωπερίφραξης (geofencing).
 - 1.3. CAT A2: «Μικρά Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών» με μέγιστη μάζα αεροσκάφους κατά την απογείωση (MTOM) από τα τέσσερα κιλά (≥ 4 kg) και έως τα είκοσι πέντε κιλά (<25 kg).
 - 1.3.1. Κάθε μη επανδρωμένο αεροσκάφος που πωλείται ως καταναλωτικό προϊόν και έχει MTOM από 4 κιλά έως και λιγότερο από 25 κιλά, πρέπει να ακολουθεί τις προϋποθέσεις του παρόντος Κανονισμού ως προς τη γενική ασφάλεια των προϊόντων και πρέπει να διαθέτει τα μέσα για τον αυτόματο περιορισμό του Εναερίου Χώρου στον οποίον μπορεί να εισέρχεται.
 - 1.3.2. Τα Συστήματα Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών ΣμηΕΑ που πετούν σε Προσωρινές Αποκλειστικές Περιοχές (Temporary Segregated Areas) για την πτήση συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών πρέπει να διαθέτουν ενεργοποιημένη την ικανότητα ενεργούς αναγνώρισης και ενημερωμένης γεωπερίφραξης.

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Παράρτημα Α: Κανόνες πτήσης συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών

Άρθρο 8: Προϋποθέσεις πτήσεων ΣμηΕΑ «ειδικής» κατηγορίας

1. Τα ΣμηΕΑ εντάσσονται στην ειδική κατηγορία με απόφαση της ΥΠΑ είτε κατά την διαδικασία καταχώρησης στο Ειδικό Μητρώο ΣμηΕΑ είτε όταν έχοντας καταχωρηθεί σε Μητρώο/Νηολόγιο άλλου Κράτους, υποβάλλουν αίτηση για χρήση Εναερίου Χώρου. Για την εκτέλεση πτήσεων από ΣμηΕΑ που ανήκουν στην εν λόγω κατηγορία («ειδική» κατηγορία) απαιτείται η εξασφάλιση άδειας «πτητικής λειτουργίας» (Operation Authorization) από την ΥΠΑ/Δ2 η οποία χορηγείται εφ' όσον ο εκμεταλλεόμενος το(τα) ΣμηΕΑ παρουσιάσει προς έγκριση:

α) Σχέδιο αξιολόγησης κινδύνων ασφαλείας (risk assessment):

Το οποίο να αναφέρεται στα μη επανδρωμένα αεροσκάφη καθώς και την πτητική λειτουργία τους, προσδιορίζοντας όλους τους κινδύνους που σχετίζονται με τη συγκεκριμένη πτητική λειτουργία και προτείνοντας κατάλληλα μέτρα μετριασμού (περιορισμού) των κινδύνων. Ειδικότερα το σχέδιο συντεταγμένο στην ελληνική γλώσσα πρέπει να περιλαμβάνει:

- την (τις) περιοχή(-ές) επάνω από την οποία(-ες) θα επιχειρεί το ΣμηΕΑ με ρητή αναφορά στην πυκνότητα του πληθυσμού της(των).
- τον εναέριο χώρο όπου θα πραγματοποιεί πτήσεις το ΣμηΕΑ καθώς και τις διαδικασίες που αφορούν στην εναέρια κυκλοφορία
- την κατασκευαστική περιγραφή και τις δυνατότητες του ΣμηΕΑ
- το είδος των δραστηριοτήτων του ΣμηΕΑ (Αεροπορικές εργασίες κλπ) καθώς και περιγραφή των διαδικασιών ασφαλούς εκτέλεσής τους
- την επάρκεια (ικανότητα - προσόντα) του χειριστή του ΣμηΕΑ κυρίως από πλευράς επιπέδου εκπαίδευσης σε θέματα εναέριας κυκλοφορίας
- την οργανωτική δομή του εκμεταλλεόμενου το ΣμηΕΑ
- την διαδικασία προστασίας και φύλαξης του εξοπλισμού από παρεμβάσεις τρίτων

Κατά την εξέταση των ανωτέρω η ΥΠΑ/Δ2 δύναται να ζητήσει τη συνδρομή ή τις απόψεις άλλων Δ/σεων της ΥΠΑ.

β) Εγχειρίδιο πτητικής λειτουργίας (operations manual):

το οποίο να περιέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες, περιγραφές, προϋποθέσεις και περιορισμούς για την πτητική λειτουργία, συμπεριλαμβανομένων της κατάρτισης και των προσόντων του προσωπικού, τη συντήρηση του μη επανδρωμένου αεροσκάφους και των συστημάτων του, καθώς και την αναφορά συμβάντων.

γ) Ασφαλιστήριο συμβόλαιο για την κάλυψη κινδύνων από την άσκηση των δραστηριοτήτων.

2. Σε περίπτωση εμπορικής χρήσης (εμπορικής εκμετάλλευσης) του ΣμηΕΑ της «ειδικής» κατηγορίας απαιτούνται επιπρόσθετα τα εξής:

2.1 Εγγραφή του ΣμηΕΑ σε ειδικό Μητρώο σύμφωνα με το άρθρο 10 του παρόντος κανονισμού.

2.2 Καταχώρηση του εκμεταλλεόμενου και του Χειριστή του ΣμηΕΑ σε ειδικό Μητρώο που τηρείται στην ΥΠΑ σύμφωνα με το άρθρο 11 του παρόντος Κανονισμού και προσκόμιση Ποινικού

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Παράρτημα Α: Κανόνες πτήσης συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών

Μητρώου γενικής χρήσης για αμφοτέρους (εκμεταλλεούμενου και χειριστή).

2.3 Εξασφάλιση ειδικής άδειας (έγκρισης) από την ΥΠΑ/Δ1 με καταβολή του αντίστοιχου οικονομικού παραβόλου.

Άρθρο 9: Προϋποθέσεις πτήσεων ΣμηΕΑ «πιστοποιημένης» κατηγορίας

Τα ΣμηΕΑ εντάσσονται στην «πιστοποιημένη» κατηγορία με απόφαση της ΥΠΑ/Δ2 μετά από την υποβολή της αίτησης εγγραφής τους και την εξέτασή της. Για την εκτέλεση πτήσεων από ΣμηΕΑ που ανήκουν στην λόγω κατηγορία («πιστοποιημένη» κατηγορία) απαιτείται η νηολόγησή του στο ειδικό μητρώο της ΥΠΑ (ΥΠΑ/Δ13) καθώς και η έκδοση ειδικού πιστοποιητικού αξιοπλοΐας (πτητικής ικανότητας) για ΣμηΕΑ (Special Certificate of Airworthiness - CofA) σύμφωνα με τους ειδικότερους όρους και προϋποθέσεις που αναφέρονται στο άρθρο 17 καθώς και στο καθοδηγητικό υλικό που δημοσιεύεται στον ιστότοπο της ΥΠΑ. ΣμηΕΑ καταχωρημένα σε Μητρώο/Νηολόγιο άλλου Κράτους, υπάγονται στις διαδικασίες αναγνώρισης αδειών όπως ισχύουν εκάστοτε.

1. Το πιστοποιητικό (CofA) εκδίδεται από την ΥΠΑ η οποία το χορηγεί εφ' όσον ο εκμεταλλεούμενος το(τα) ΣμηΕΑ παρουσιάσει άδειες και λοιπές πιστοποιήσεις ανάλογες με εκείνες που απαιτούνται για την ασφαλή πτητική λειτουργία των επανδρωμένων αεροσκαφών.
2. Οι άδειες της προηγούμενης παραγράφου αφορούν τόσο στους κατασκευαστές - προμηθευτές των ΣμηΕΑ ως προς την πιστοποίηση του σχεδιασμού, παραγωγής, συντήρησης και επισκευής του ΣμηΕΑ καθώς και εκπαίδευσης του προσωπικού που ασχολείται με τις ανωτέρω δραστηριότητες (εξασφάλιση του Restricted Type Certificate) όσο και στην πτητική ικανότητα (λειτουργία) του (των) συγκεκριμένου (-ων) ΣμηΕΑ για το (τα) οποίο (-α) ζητείται η έκδοση του ειδικού πιστοποιητικού πτητικής ικανότητας (Special Certificate of Airworthiness). Ο εκμεταλλεούμενος ΣμηΕΑ της εν λόγω κατηγορίας υποχρεούται να έχει στην κατοχή του Πιστοποιητικό εκμεταλλεούμενου ΣμηΕΑ (ΠΕΣμηΕΑ - ROC) σύμφωνα με τους ειδικότερους όρους και προϋποθέσεις που αναφέρονται στο άρθρο 16 του παρόντος καθώς και στο καθοδηγητικό υλικό που δημοσιεύεται στον ιστότοπο της ΥΠΑ.
3. Ο χειριστής ενός ΣμηΕΑ «πιστοποιημένης» κατηγορίας έχει την απόφαση για την ασφαλή λειτουργία του αεροσκάφους και έχει παρόμοια ανάλογη υποχρέωση με τους χειριστές Επανδρωμένων Αεροσκαφών, για τη γνώση του αεροπορικού δικαίου, γενικές γνώσεις των αεροσκαφών, τις επιδόσεις της πτήσης, το σχεδιασμό και τη φόρτωση, την ανθρώπινη απόδοση, μετεωρολογία, πλοήγηση, λειτουργικές διαδικασίες, κανόνες αέρος και ραδιοτηλεφωνίας. Ο χειριστής του ΣμηΕΑ «πιστοποιημένης» κατηγορίας θα διαθέτει σύμφωνα με τα άρθρα του παρόντος κανονισμού, εκπαίδευση χειριστή η οποία θα αποδεικνύει ότι υπάρχει ικανότητα, να επιτύχουν ένα επίπεδο ικανοτήτων, γνώσης ή και εμπειρίας και να λάβει άδεια. Με απόφαση του Διοικητή ΥΠΑ καθορίζεται το περιεχόμενο της εκπαίδευσης και οι απαιτούμενες εξετάσεις για την έκδοση πιστοποιητικού εκπαίδευσης.
4. Η ασφαλιστική κάλυψη του ΣμηΕΑ της παρούσης κατηγορίας εξασφαλίζεται με την προσκόμιση ανάλογου Ασφαλιστήριου Συμβολαίου.

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Παράρτημα Α: Κανόνες πτήσης συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών

5. Ειδικότερες λεπτομέρειες για καθορισμό προτύπων ασφάλειας από έκνομες ενέργειες και λοιπές απαιτήσεις για τους χώρους ή τα πεδία δραστηριότητας της εν λόγω κατηγορίας ΣμηΕΑ καθορίζονται με απόφαση Δ/ΥΠΑ.

Άρθρο 10: Καταχώρηση στο ειδικό Μητρώο των ΣμηΕΑ ή Νηολόγηση

1. Ο Ιδιοκτήτης/εκμεταλλεούμενος ΣμηΕΑ των οποίων η πτήση διεξάγεται σε απόσταση μεγαλύτερη των 50 μ. από τον χειριστή, έχει την υποχρέωση να δηλώσει εγγράφως τα στοιχεία του ΣμηΕΑ και τα στοιχεία ταυτότητας Ιδιοκτήτη, Χειριστή και Εκμεταλλεούμενου, με επικύρωση ταυτοπροσωπίας σε ΚΕΠ ή άλλο αρμόδιο φορέα συμπληρώνοντας την ειδική ηλεκτρονική φόρμα που υπάρχει στον ιστότοπο της ΥΠΑ και να τα αποστείλει με ηλεκτρονικό τρόπο (email/FAX) στην ΥΠΑ. Με απόφαση της ΥΠΑ/Δ2 και σε σχέση και με την χρήση και το επιχειρησιακό περιβάλλον τους, μετά από αίτηση των ενδιαφερομένων, τα ΣμηΕΑ κατηγοριοποιούνται στην «Ανοικτή» ή την «Ειδική» Κατηγορία και εντάσσονται στο Ειδικό Μητρώο ΣμηΕΑ της ΥΠΑ, ενώ τα ΣμηΕΑ τα οποία κατηγοριοποιούνται από την ΥΠΑ στην «Πιστοποιημένη» Κατηγορία, εγγράφονται στο Τμήμα ΣμηΕΑ του Μητρώου Ελληνικών πολιτικών αεροσκαφών, που τηρείται στην ΥΠΑ και λαμβάνουν στοιχεία εθνικότητας και νηολόγησης (Nationality and Registration Marks).
2. Για την νηολόγηση των ΣμηΕΑ της «Πιστοποιημένης» Κατηγορίας στο Τμήμα ΣμηΕΑ του Μητρώου Ελληνικών πολιτικών αεροσκαφών εφαρμόζονται αναλογικά τα εν γένει οριζόμενα στο εν ισχύει ANNEX 7 του ICAO «Περί νηολόγησης αεροσκαφών», στον Κώδικα Αεροπορικού Δικαίου (Ν. 1815/1988, ως εκάστοτε ισχύει), για την νηολόγηση των Ελληνικών πολιτικών αεροσκαφών καθώς και στο αντίστοιχο Κανονιστικό και διαδικαστικό πλαίσιο της ΥΠΑ.
3. Τα χορηγούμενα στοιχεία εθνικότητας και νηολόγησης των ΣμηΕΑ της «Πιστοποιημένης» Κατηγορίας αποτελούνται από τα γράμματα SX, ακολουθούμενα από παύλα και συνδυασμό τριών αριθμών και γραμμάτων σε οποιαδήποτε σειρά και αλληλουχία μεταξύ τους, κατά την κρίση του αρμοδίου Τμήματος Νηολογίων, Υποθηκών και Κωδικοποίησης. Τα μη-επανδρωμένα αεροσκάφη της πιστοποιημένης κατηγορίας φέρουν επί της ατράκτου τα στοιχεία Ελληνικού νηολογίου τα οποία τοποθετούνται σε εμφανές σημείο, είναι ευκρινή και βάφονται με ανεξίτηλα χρώματα.
4. Για την εγγραφή στο ειδικό Μητρώο των ΣμηΕΑ και «Ειδικής» ή στο Νηολόγιο της Πιστοποιημένης Κατηγορίας απαιτούνται:
 - α. Αίτηση του εκμεταλλεούμενου (ιδιοκτήτη, κατόχου μισθωτή) η οποία υποβάλλεται εντός ευλόγου χρόνου από την ημερομηνία κτήσης/κατοχής του ΣμηΕΑ και σε κάθε περίπτωση πριν από την πρώτη χρήση του αεροσκάφους.
 - β. Αντίγραφο ταυτότητας ή διαβατηρίου του αγοραστή ή μισθωτή, σε περίπτωση φυσικού προσώπου, καταστατικού, σε περίπτωση νομικών προσώπων, για την διαπίστωση της συνδρομής των προϋποθέσεων του άρθρου 18 του Κώδικα Αεροπορικού Δικαίου (Ν. 1815/1988), όπως εκάστοτε ισχύει.
 - γ. Πρωτότυπο ή ακριβές αντίγραφο τίτλου κτήσης, μίσθωσης ή παραχώρησης, ήτοι απόδειξη, τιμολόγιο ιδιωτικό συμφωνητικό, από όπου θα προκύπτουν τα στοιχεία πωλητή, αγοραστή ή

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Παράρτημα Α: Κανόνες πτήσης συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών

των συμβαλλομένων αντίστοιχα, καθώς και επαρκής περιγραφή του ΣμηΕΑ, με βάση τον Κατασκευαστή, τον τύπο του, την Κατηγορία του και τον Αριθμό Σειράς, εφ' όσον υφίσταται. δ. Σε περίπτωση ιδιοκατασκευής των Α1,Α2 υποκατηγοριών της «Ανοικτής Κατηγορίας», της «Ειδικής» και της «Πιστοποιημένης» Κατηγορίας ΣμηΕΑ, αλλά και όλων των Κατηγοριών ΣμηΕΑ με επαγγελματική χρήση, απαιτείται πιστοποιητικό πλοϊμότητας. Αν δεν υφίσταται, χορηγείται από την ΥΠΑ/Δ2. Ο ελεγκτής κατασκευής στον οποίο έχει χορηγηθεί άδεια από την ΥΠΑ διενεργεί τον έλεγχο κατασκευής του μη επανδρωμένου αεροσκάφους, καταγράφει τα αποτελέσματα των ελέγχων και εισηγείται στην ΥΠΑ/Δ2 την έκδοση ή μη του ειδικού πιστοποιητικού πτητικής ικανότητας για ΣμηΕΑ (Special Certificate of Airworthiness -CofA).Η ΥΠΑ/Δ2 συντάσσει κατάλογο των ελεγκτών κατασκευής ΣμηΕΑ και είναι στην διάθεση των ενδιαφερομένων.

ε. Αντίγραφο ασφαλιστηρίου συμβολαίου του ΣμηΕΑ.

στ. Υπεύθυνη Δήλωση του εκμεταλλευόμενου περί μη εγγραφής του συγκεκριμένου ΣμηΕΑ σε Μητρώο άλλου Κράτους.

ζ. Πιστοποιητικό Διαγραφής του ΣμηΕΑ από το αλλοδαπό Μητρώο, σε περίπτωση προηγούμενης εγγραφής του σε Μητρώο άλλου Κράτους.

η. Σε περίπτωση ιδιοκατασκευής, φωτογραφία του ΣμηΕΑ, σε ηλεκτρονική μορφή, στην οποία θα εμφανίζεται η προβλεπόμενη προσαρτημένη πινακίδα με τα στοιχεία εθνικότητας και νηολόγησης του ΣμηΕΑ.

5. Για την εγγραφή στο Τμήμα ΣμηΕΑ του Μητρώου Ελληνικών πολιτικών αεροσκαφών της «Πιστοποιημένης» Κατηγορίας, αποδεικτικό πληρωμής τελών για την νηολόγηση αεροσκαφών σύμφωνα με την κοινή απόφαση των Υπουργών Οικονομικών και Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων, όπως ισχύει.
6. Κατά την νηολόγηση στο Τμήμα ΣμηΕΑ του Μητρώου Ελληνικών πολιτικών αεροσκαφών της «Πιστοποιημένης» Κατηγορίας, εκδίδεται Πιστοποιητικό Νηολόγησης ΣμηΕΑ, το οποίο περιλαμβάνει τα χορηγηθέντα στοιχεία εθνικότητας και νηολόγησης, τον Αριθμό Νηολογίου, τα στοιχεία του ειδικού Τμήματος του Μητρώου, στο οποίο είναι εγγεγραμμένο, Κατηγορία και περιγραφή του ΣμηΕΑ, τα στοιχεία του εκμεταλλευόμενου (ιδιοκτήτη, κατόχου ή μισθωτή - Operator), και την ημερομηνία νηολόγησης.
7. Για τα ΣμηΕΑ επαγγελματικής χρήσης όλων των Κατηγοριών και για όλα τα ΣμηΕΑ της «Ειδικής» και της «Πιστοποιημένης» Κατηγορίας, παραδίδεται Πρωτότυπο του Πιστοποιητικού εγγραφής στο ειδικό μητρώο ή νηολόγησης στον εκμεταλλευόμενο, ο οποίος υποχρεούται να το διατηρεί σε καλή κατάσταση, να το φέρει μαζί του στον Σταθμό εδάφους, όποτε το ΣμηΕΑ τελεί σε λειτουργία, και να το επιδεικνύει στις κατά περίπτωση αρμόδιες Αρχές, εφ' όσον του ζητηθεί.
8. Για κάθε νηολόγηση ΣμηΕΑ «Πιστοποιημένης» Κατηγορίας εκδίδεται από το αρμόδιο Τμήμα Νηολογίων, Υποθηκών και Κωδικοποίησης της ΥΠΑ σχετική Ανακοίνωση, που κοινοποιείται στις ενδιαφερόμενες λοιπές Κρατικές Αρχές και Φορείς, κατά τα ισχύοντα για τα Ελληνικά πολιτικά αεροσκάφη.
9. Ο εκμεταλλευόμενος ΣΜηΕΑ υποχρεούται να ενημερώσει εγγράφως αρμοδίως το αρμόδιο τμήμα εγγραφής αμελλητί σε κάθε περίπτωση:
 - α. απώλειας, κλοπής ή καταστροφής του ΣμηΕΑ.
 - β. απώλειας, κλοπής ή καταστροφής του Πιστοποιητικού νηολόγησης του ΣμηΕΑ.

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Παράρτημα Α: Κανόνες πτήσης συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών

- γ. οποιασδήποτε μεταβολής των προσωπικών του στοιχείων.
- δ. οποιασδήποτε μεταβολής στο ιδιοκτησιακό, μισθωτικό και εν γένει λειτουργικό καθεστώς του ΣμηΕΑ.
10. Η γνωστοποίηση απώλειας, κλοπής ή καταστροφής του Πιστοποιητικού Νηολόγησης στο Τμήμα ΣμηΕΑ του Μητρώου Ελληνικών πολιτικών αεροσκαφών της «Πιστοποιημένης» Κατηγορίας, πρέπει να συνοδεύεται από σχετική ένορκη βεβαίωση του εκμεταλλεόμενου, σύμφωνα με τα οριζόμενα στο άρθρο 28, παρ. 1, του Κώδικα Αεροπορικού Δικαίου (Ν. 1815/1988), από Αίτηση αντικατάστασής του και από την προβλεπόμενη καταβολή του αντίστοιχου τέλους.
11. Διαγραφή του ΣμηΕΑ από το ειδικό Τμήμα ΣμηΕΑ του Μητρώου χωρεί:
- α. κατά βούληση του εκμεταλλεόμενου, έπειτα από Αίτησή του, συνοδευόμενη από άπαντα τα εκδοθέντα από την ΥΠΑ Πιστοποιητικά και από Υπεύθυνη Δήλωση περί απόσυρσης του ΣμηΕΑ από την πτητική εκμετάλλευση και κυκλοφορία.
- β. υποχρεωτικά, σε περίπτωση συνδρομής μίας από τις προϋποθέσεις του άρθρου 31 του Κώδικα Αεροπορικού Δικαίου (Ν. 1815/1988), η οποία βεβαιώνεται με σχετική Υπεύθυνη Δήλωση του εκμεταλλεόμενου ή με άλλη επίσημη πιστοποίηση, συνοδευόμενη πάντα από όλα τα εκδοθέντα από την ΥΠΑ Πιστοποιητικά, που αφορούν στο ΣμηΕΑ.
12. Η Αίτηση διαγραφής ειδικά για το Τμήμα ΣμηΕΑ του Μητρώου Ελληνικών πολιτικών αεροσκαφών της «Πιστοποιημένης» Κατηγορίας, συνοδεύεται από την καταβολή τέλους για την διαγραφή νηολόγησης σύμφωνα με την κοινή απόφαση των Υπουργών Οικονομικών και Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων, όπως ισχύει.
13. Μετά την διαγραφή από το Τμήμα ΣμηΕΑ του Μητρώου Ελληνικών πολιτικών αεροσκαφών της «Πιστοποιημένης» Κατηγορίας, το αρμόδιο Τμήμα Νηολογίων, Υποθηκών και Κωδικοποίησης της ΥΠΑ/Δ13 εκδίδει σχετική απόφαση Διαγραφής. Πιστοποιητικό Διαγραφής για κάθε νόμιμη χρήση εκδίδεται, εφ' όσον αυτό ζητηθεί από τον εκμεταλλεόμενο.
14. Για την ταυτοποίησή τους, τα μη-επανδρωμένα αεροσκάφη φέρουν:
- Α. ετικέτα ή ανεξίτηλη επιγραφή ταυτοποίησης με τον αριθμό καταγραφής/χαρακτηριστικό κωδικό νηολόγησης.
- Β. συσκευή παθητικής ή ενεργητικής ταυτοποίησης με τον αριθμό καταγραφής ή χαρακτηριστικό κωδικό νηολόγησης μέσω ραδιοσυχνοτήτων (Radio frequency identification tag - RFID). Η ηλεκτρονική ταυτοποίηση παθητικού τύπου θα ισχύει για μη-επανδρωμένα αεροσκάφη της Α2 «Ανοικτής» Κατηγορίας ενώ θα είναι ενεργητικού τύπου εμβέλειας τουλάχιστον 800 μέτρων για μη-επανδρωμένα αεροσκάφη κάθε κατηγορίας και για όλα τα ΣμηΕΑ της «Ειδικής» και της «Πιστοποιημένης» Κατηγορίας. Τα στοιχεία ταυτοποίησης ορίζονται από την ΥΠΑ/Δ2 κατά τη διαδικασία εγγραφής στο ειδικό μητρώο των ΣμηΕΑ.
15. Για ΣμηΕΑ νηολογημένα στην αλλοδαπή, τα οποία διεξάγουν πτήσεις σε απόσταση μεγαλύτερη των 50 μ. από τον χειρίστη τους, απαιτείται να κατατεθεί ηλεκτρονικά το αποδεικτικό και ο κωδικός καταχώρησής του στο αντίστοιχο μητρώο της αλλοδαπής. Όσον αφορά στα απαιτούμενα πιστοποιητικά ΣμηΕΑ, εκμεταλλεόμενου και χειριστή, αν τα υφιστάμενα σχετικά πιστοποιητικά της αλλοδαπής αναγνωρίζονται κατά το ελληνικό και το ευρωπαϊκό δίκαιο, αυτά γίνονται αποδεκτά. Σε αντίθετη περίπτωση, οι ενδιαφερόμενοι θα αιτούνται την εγγραφή τους στα ελληνικά μητρώα ή νηολόγια. Θα εγγράφονται με ευχερείς και ταχείες διαδικασίες σύμφωνα

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Παράρτημα Α: Κανόνες πτήσης συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών

με τις απαιτούμενες προϋποθέσεις. Κάθε άλλη τυχόν άδεια θα χορηγείται στη συνέχεια σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στον παρόντα κανονισμό.

Άρθρο 11: Τήρηση Μητρώου Εκμεταλλεόμενων και Χειριστών ΣμηΕΑ

1. Ο εκμεταλλεόμενος και ο χειριστής του ΣμηΕΑ Ειδικής, Πιστοποιημένης ή και Ανοικτής Κατηγορίας με εμβέλεια τηλεχειρισμού άνω των 50μ. εγγράφονται σε ειδικό Μητρώο που τηρείται από την ΥΠΑ.
2. Η καταχώρηση γίνεται μέσω της διατιθέμενης από τον ιστότοπο της ΥΠΑ ηλεκτρονικής φόρμας και υποβάλλεται από τον εκμεταλλεόμενο και τον χειριστή ΣμηΕΑ με ηλεκτρονικό τρόπο (FAX, Email) προς την ΥΠΑ.
3. Σε περίπτωση επαγγελματικής χρήσης, η αίτηση συνοδεύεται από αντίγραφο Ποινικού Μητρώου Γενικής χρήσης του εκμεταλλεόμενου (ιδιοκτήτη, κατόχου ή μισθωτή) εφ' όσον πρόκειται για φυσικό πρόσωπο ή του νόμιμου εκπροσώπου του αν πρόκειται για νομικό πρόσωπο, από το οποίο να προκύπτει ότι δεν έχει καταδικαστεί κατά την τελευταία πενταετία για διάπραξη ενός των αδικημάτων που αναφέρονται στην παρ.1 του Παραρτήματος 1 του Εθνικού Κανονισμού Ασφάλειας Πολιτικής Αεροπορίας.

Άρθρο 12: Τήρηση Μητρώου Ελεγκτών Κατασκευής και Εκπαιδευτών ΣμηΕΑ

1. Ο υποψήφιος ελεγκτής κατασκευής ΣΜηΕΑ πρέπει να διαθέτει πτυχίο κατά EASA Part 66.
2. Ο υποψήφιος ελεγκτής κατασκευής καταθέτει αίτηση στην ΥΠΑ/Δ2 συνοδευόμενη από τα απαραίτητα δικαιολογητικά (αντίγραφο πτυχίου, βιογραφικό σημείωμα, αποδεικτικά εμπειρίας κ.λπ.).
3. Η ΥΠΑ/Δ2 μετά από τον έλεγχο των δικαιολογητικών εκδίδει την άδεια ελεγκτή ΣΜηΕΑ. Η άδεια έχει διάρκεια τριών (3) ετών υπό την προϋπόθεση το πτυχίο μηχανικού αεροσκαφών που κατέχει να είναι σε ισχύ.
4. Η ανανέωση της άδειας ελεγκτή ΣΜηΕΑ γίνεται μετά από αίτηση του ενδιαφερομένου. Η ανανέωση εκδίδεται κατόπιν έγκρισης της ΥΠΑ/Δ2 λαμβανομένης υπόψη της δραστηριότητας του ελεγκτή κατασκευής κατά την προηγούμενη τριετία και εφόσον τα πτυχία του εξακολουθούν να είναι σε ισχύ.
5. Η άδεια του ελεγκτή κατασκευής αναστέλλεται: α) μετά από αιτιολογημένη απόφαση της ΥΠΑ/Δ2 β) με την ημερομηνία λήξεως του πτυχίου του μηχανικού.
6. Σε απόφαση Διοικητή ΥΠΑ που θα ακολουθήσει την έκδοση του παρόντος κανονισμού, διευκρινίζονται τα θέματα των προσόντων της κατάρτισης και της διαδικασίας εξετάσεων, αδειών και μητρώου των εκπαιδευτών χειριστών ΣμηΕΑ.

Άρθρο 13: Προϋποθέσεις χορήγησης έγκρισης για επαγγελματικούς σκοπούς ΣμηΕΑ

1. Για τη εκμετάλλευση ΣμηΕΑ οποιασδήποτε Κατηγορίας για επαγγελματικούς σκοπούς (εμπορική εκμετάλλευση ΣμηΕΑ) απαιτείται ειδική άδεια χορηγούμενη από την ΥΠΑ/Δ1

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Παράρτημα Α: Κανόνες πτήσης συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών

Διεύθυνση Αεροπορικής Εκμετάλλευσης. Κάθε δικαιούμενο φυσικό ή νομικό πρόσωπο κατά το Ευρωπαϊκό ή Εθνικό Δίκαιο μπορεί να υποβάλλει σχετικό αίτημα.

2. Μαζί με το αίτημα υποβάλλονται τα εξής δικαιολογητικά:
 - Βεβαίωση εγγραφής του ΣμηΕΑ στο Νηολόγιο ΣμηΕΑ .
 - Βεβαίωση εγγραφής του εκμεταλλεόμενου και του χειριστή του ΣμηΕΑ στο ειδικό Μητρώο της ΥΠΑ.
 - Ασφαλιστήριο συμβόλαιο.
 - Παράβολο που προβλέπεται στην εκάστοτε ισχύουσα κοινή υπουργική απόφαση.
 - Βεβαίωση των εξουσιοδοτημένων για την εκπαίδευση χειριστών ΣμηΕΑ περί εκμάθησης των απαιτούμενων κατά περίπτωση και αναλόγως της κατηγορίας του ΣμηΕΑ βασικών γνώσεων κανόνων εναερίου κυκλοφορίας ή/και χειριστού αεροσκαφών πολιτικής Αεροπορίας.
3. Το αίτημα εξετάζεται από την ΥΠΑ/Δ1 ως προς την ισχύ των δικαιολογητικών καθώς και την συνδρομή των ανωτέρω αναφερομένων Γενικών και ειδικών προϋποθέσεων του παρόντος Κανονισμού ως προς την χρήση και λειτουργία του ΣμηΕΑ.
4. Η χορηγούμενη από την ΥΠΑ/Δ1 άδεια (έγκριση) για την εκτέλεση πτήσεων με το/τα συγκεκριμένα ΣμηΕΑ εκδίδεται στο όνομα του εκμεταλλεόμενου και έχει δωδεκάμηνη ισχύ. Μετά την παρέλευση του δωδεκαμήνου και εφ' όσον ο εκμεταλλεόμενος επιθυμεί την συνέχιση της εκμετάλλευσης, υποχρεούται σε επανέλεγχο των προϋποθέσεων και δικαιολογητικών καθώς και καταβολή νέου ισόποσου παραβόλου.
5. Αναστολή της ισχύος της χορηγούμενης άδειας ή ανάκληση αυτής θα επέρχεται όταν παύσει να συντρέχει μία ή περισσότερες από τις προϋποθέσεις νόμιμης λειτουργίας του ΣμηΕΑ όπως περιγράφονται στον παρόντα Κανονισμό.
6. Η αίτηση συνοδεύεται από αντίγραφο Ποινικού Μητρώου Γενικής χρήσης του εκμεταλλεόμενου (ιδιοκτήτη, κατόχου ή μισθωτή) εφ' όσον πρόκειται για φυσικό πρόσωπο ή του νόμιμου εκπροσώπου του αν πρόκειται για νομικό πρόσωπο, από το οποίο να προκύπτει ότι δεν έχει καταδικαστεί κατά την τελευταία δεκαετία για διάπραξη ενός των αδικημάτων που αναφέρονται στην παρ.1 του Παραρτήματος 1 του Εθνικού Κανονισμού Ασφάλειας Πολιτικής Αεροπορίας.

Άρθρο 14: Ασφάλιση έναντι τρίτων

Ο Εκμεταλλεόμενος/Ιδιοκτήτης/Χειριστής ΣμηΕΑ της Α2 «ανοικτής» κατηγορίας, της «Ειδικής» και της «Πιστοποιημένης» κατηγορίας, αλλά και κάθε κατηγορίας/ υποκατηγορίας σε περίπτωση χρήσης ΣμηΕΑ για επαγγελματικούς σκοπούς οφείλει να ασφαλίζει το ΣμηΕΑ για ζημιές έναντι τρίτων και ειδικότερα έναντι υλικών ζημιών τρίτων έως 150.000 και για σωματικές βλάβες έως 1.000.000.

Άρθρο 15: Προστασία Προσωπικών δεδομένων

1. Στην περίπτωση που κατά την εκτέλεση των δραστηριοτήτων (αεροπορικών εργασιών ή άλλων χρήσεων) του(των) ΣμηΕΑ πραγματοποιείται επεξεργασία δεδομένων προσωπικού χαρακτήρα, πρέπει αυτή να είναι σύμφωνη με την ισχύουσα σχετική νομοθεσία.
2. Η ΥΠΑ, εφόσον ενημερωθεί σχετικά, γνωστοποιεί στην Αρχή Προστασίας Δεδομένων Προσωπικού Χαρακτήρα ζητήματα που ανακύπτουν σχετικά με την προστασία δεδομένων προσωπικού χαρακτήρα από την χρήση των ΣμηΕΑ.
3. Κυρώσεις επιβάλλονται στους παραβάτες σύμφωνα με τις διατάξεις του Ν. 2472/1997 περί προστασίας δεδομένων προσωπικού χαρακτήρα.

Άρθρο 16: Πιστοποιητικό εκμεταλλεόμενου ΣμηΕΑ της πιστοποιημένης (certified) κατηγορίας – Διαδικασία χορήγησης πιστοποιητικού

1. Ο εκμεταλλεόμενος ΣμηΕΑ της πιστοποιημένης κατηγορίας είναι υπεύθυνος για τη λειτουργία τους. Για το σκοπό αυτό είναι υποχρεωμένος να εκπονήσει συστήματα διαχείρισης ασφαλείας (Safety Management System – SMS) το οποίο υποβάλλεται για έγκριση στην ΥΠΑ/Δ2.
2. Ο εκμεταλλεόμενος ΣμηΕΑ εξασφαλίζει ότι όλο το προσωπικό που εμπλέκεται άμεσα ή έμμεσα στη λειτουργία του συστήματος είναι εξοικειωμένο με τη νομοθεσία, τους κανονισμούς και τις διαδικασίες που εφαρμόζονται κατά την εκτέλεση των καθηκόντων του.
3. Ο έλεγχος της λειτουργίας του συστήματος μη επανδρωμένων αεροσκαφών ανατίθεται σε χειριστή μη επανδρωμένων αεροσκαφών ή σε υπεύθυνο λειτουργίας που έχουν τα προβλεπόμενα από τον παρόντα κανονισμό πτυχία, πιστοποιητικά και άδειες.
4. Το πιστοποιητικό εκμεταλλεόμενου ΣμηΕΑ (ΠΕΣμηΕΑ – ROC Remote Operations Certificate) εκδίδεται από την ΥΠΑ/Δ1 και συμπεριλαμβάνει:
 - A) Αύξοντα Αριθμό Πιστοποιητικού και ημερομηνίες έκδοσης, τροποποίησης και λήξης.
 - B) Τα όνομα του εκμεταλλεόμενου, τον διακριτικό τίτλο, διεύθυνση και βάση λειτουργίας.
 - Γ) Υπογραφή του αρμόδιου Διευθυντού της ΥΠΑ/Δ1.
 - Δ) Περιγραφή των πτητικών λειτουργιών για τις οποίες έχει εξουσιοδοτηθεί ο εκμεταλλεόμενος.
 - E) Τύπους, αριθμό και στοιχεία νηολογίου μη επανδρωμένων αεροσκαφών.
 - ΣΤ) Τύπους, αριθμό και τοποθέτηση σταθμών εδάφους.
 - Z) Διάρκεια ισχύος του ΠΕΣμηΕΑ.
5. Διάρκεια ισχύος του ΠΕΣμηΕΑ. Το πιστοποιητικό εκμεταλλεόμενου ΣμηΕΑ παραμένει σε ισχύ εφόσον ο εκμεταλλεόμενος συμμορφώνεται με τους όρους του και δεν έχει τροποποιηθεί, ανασταλεί ή ανακληθεί από την ΥΠΑ/Δ1.
6. Τροποποίηση ΠΕΣμηΕΑ. Το πιστοποιητικό τροποποιείται μετά από αίτηση του εκμεταλλεόμενου. Ο εκμεταλλεόμενος αποδεικνύει ότι έχει τις προϋποθέσεις για την τροποποιημένη λειτουργία μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Η ΥΠΑ/Δ1 μπορεί να ορίσει προσωρινούς όρους λειτουργίας μέχρι την έκδοση της τροποποιημένης άδειας.
7. Αναστολή και ανάκληση της άδειας. Το πιστοποιητικό αναστέλλεται ή ανακαλείται με απόφαση της ΥΠΑ/Δ1 εφόσον διαπιστωθεί ότι ο εκμεταλλεόμενος δεν πληροί τις προϋποθέσεις χορήγησης του ΠΕΣμηΕΑ ή έχει παραβιάσει τους όρους ή περιορισμούς αυτού.

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Παράρτημα Α: Κανόνες πτήσης συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών

8. Προϋποθέσεις και απαιτήσεις που αφορούν στο σύστημα διαχείρισης ασφαλείας (Safety Management System – SMS), το προσωπικό που απασχολεί ο εκμεταλλεόμενος ΣμηΕΑ (χειριστές, υπεύθυνο λειτουργίας, κλπ.) της πιστοποιημένης κατηγορίας, τα εκπαιδευτικά προγράμματα του προσωπικού, την τήρηση αρχείων, το σύστημα διαχείρισης της συντήρησης του(των) ΣμηΕΑ καθώς και άλλα τεχνικά θέματα ανακοινώνονται από την ΥΠΑ/Δ2 στην ιστοσελίδα της ΥΠΑ για τα ΣμηΕΑ.

Άρθρο 17: Ειδικό πιστοποιητικό αξιοπλοΐας (πτητικής ικανότητας) συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών της «πιστοποιημένης» κατηγορίας

1. Γενικά
 - 1.1 Η αξιοπλοΐα μη επανδρωμένων αεροσκαφών της «πιστοποιημένης» κατηγορίας πιστοποιείται από τη Διεύθυνση Πτητικών Προτύπων της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας.
 - 1.2 Απαραίτητη προϋπόθεση για να αποκτήσει το ΣμηΕΑ στοιχεία νηολογίου αποτελεί η πιστοποίηση όλου του συστήματος του ΣμηΕΑ συμπεριλαμβανομένων των σταθμών εδάφους, εντολών και ελέγχου, επικοινωνιών και αποφυγής σύγκρουσης, όπου έχει εφαρμογή.
 - 1.3 Στο χορηγούμενο από την ΥΠΑ/Δ2 Ειδικό Πιστοποιητικό Αξιοπλοΐας (CofA – Special Airworthiness Certificate) συμπεριλαμβάνονται και τα λοιπά μέρη του συστήματος, δηλαδή ο σταθμός(σταθμοί) εδάφους και το σύστημα εντολών και ελέγχου. Το Ειδικό Πιστοποιητικό Αξιοπλοΐας χορηγείται όταν όλα τα μέρη του συστήματος πληρούν τις απαιτήσεις αξιοπλοΐας.
 - 1.4 Το μη επανδρωμένο αεροσκάφος θεωρείται αξιόπλοο μόνο εφόσον συμμορφώνεται με τον αρχικό σχεδιασμό του συστήματος, έχει επιθεωρηθεί και συντηρηθεί κανονικά όπως και όλα τα λοιπά μέρη του συστήματός του. Επιπλέον εξασφαλίζεται ότι όλα τα συστήματα που απαιτούνται για τη συγκεκριμένη πτήση και ο ειδικός εξοπλισμός για εκτέλεση της αποστολής είναι πλήρως λειτουργικά.
2. Ειδικό Πιστοποιητικό Αξιοπλοΐας (πτητικής ικανότητας) - Special Airworthiness Certificate. Σε κάθε μη επανδρωμένο αεροσκάφος της «πιστοποιημένης» κατηγορίας χορηγείται Ειδικό Πιστοποιητικό Αξιοπλοΐας εφόσον αυτό πληροί τις προϋποθέσεις αξιοπλοΐας του παρόντος κανονισμού.
3. Ειδική άδεια πτήσης - Flight Permit. Ειδική άδεια πτήσης χορηγείται από τη Διεύθυνση Πτητικών Προτύπων της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας για σκοπούς απόδειξης των πτητικών χαρακτηριστικών του μη-επανδρωμένου αεροσκάφους και λειτουργικών χαρακτηριστικών του συστήματος.
4. Ισχύς
 - 4.1 Το Ειδικό Πιστοποιητικό Αξιοπλοΐας χορηγείται για χρονικό διάστημα τριών (3) ετών και ανανεώνεται για την ίδια περίοδο μετά από αίτηση του εκμεταλλεόμενου. Το Ειδικό Πιστοποιητικό Αξιοπλοΐας παραμένει σε ισχύ εφόσον πληρούνται οι προϋποθέσεις συνεχούς αξιοπλοΐας, δεν έχουν πραγματοποιηθεί αλλαγές ή τροποποιήσεις σε αυτό και δεν έχει ανασταλεί ή ανακληθεί.
 - 4.2 Η Ειδική Άδεια Πτήσης χορηγείται για μία ή περισσότερες πτήσεις που περιγράφονται σε αυτή και για χρονική περίοδο μέχρι έξι (6) μηνών. Παραμένει σε ισχύ εφόσον δεν έχει ανακληθεί ή ανασταλεί.

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Παράρτημα Α: Κανόνες πτήσης συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών

5. Αναστολή και ανάκληση του Ειδικού Πιστοποιητικού Αξιοπλοΐας ή της Άδειας Πτήσης μη-επανδρωμένου αεροσκάφους. Το Ειδικό Πιστοποιητικό Αξιοπλοΐας ή η Άδεια Πτήσης ανακαλείται από την ΥΠΑ/Δ2 εφόσον διαπιστωθεί ότι το Σύστημα μη-επανδρωμένου αεροσκάφους δεν πληροί της προϋποθέσεις υπό τις οποίες έχει χορηγηθεί ή έχουν παραβιαστεί οι ειδικοί όροι αυτού.
6. Οι προϋποθέσεις χορήγησης της αρχικής αξιοπλοΐας, της χορήγησης και ανανέωσης του Πιστοποιητικού καθώς και ρυθμίσεις άλλων τεχνικών θεμάτων που αφορούν στην πτητική ικανότητα του ΣμηΕΑ ανακοινώνονται από την ΥΠΑ/Δ2 στην ιστοσελίδα της ΥΠΑ για τα ΣμηΕΑ.

Άρθρο 18: Διαδικασία Αδειοδότησης Χειριστών ΣμηΕΑ

1. Οι χειριστές των ΣμηΕΑ :
 - της Α2 «Ανοικτής Κατηγορίας» αλλά και όλων των υποκατηγοριών της «Ανοικτής Κατηγορίας» σε περίπτωση επαγγελματικής δραστηριότητας,
 - ειδικής κατηγορίας και
 - πιστοποιημένης κατηγορίας

πρέπει να είναι κάτοχοι των κατωτέρω αναφερόμενων πιστοποιητικών, πτυχίων και αδειών.

2. Ο χειριστής μη-επανδρωμένων αεροσκαφών επιδεικνύει τις άδειες και τα πτυχία που του έχουν χορηγηθεί εφόσον ζητηθούν από τις αρμόδιες αρχές.
3. Για την απόκτηση πτυχίου (άδειας) χειριστή μη-επανδρωμένων αεροσκαφών απαιτούνται:
 - Πιστοποιητικό υγείας σε ισχύ, επιπέδου αντίστοιχου του ελεγκτού εναερίου κυκλοφορίας (Class 3 Medical Fitness) στην «Ειδική» και στην «Πιστοποιημένη» κατηγορία.
 - Πρόσφατη εμπειρία σε πτήση ΣμηΕΑ που αποδεικνύεται με την επιτυχή εκτέλεση τεσσάρων (4) απογειώσεων/προσγειώσεων ΣμηΕΑ ενώπιον πιστοποιημένου ή αρμόδιου εκπαιδευτή της ΥΠΑ.
 - Πολύ καλή γνώση Ελληνικής γλώσσας επιπέδου απόφοιτου γυμνασίου.
 - Επαρκής γνώση Αγγλικής γλώσσας επιπέδου ICAO English proficiency standard levels 4 ή ανώτερο για πτήσεις με ΣμηΕΑ «ειδικής» και «πιστοποιημένης» κατηγορίας. Η ικανότητα της αγγλικής γλώσσας χειριστής καταχωρείται στην άδειά του.
 - Ικανοποιητικό επίπεδο θεωρητικών γνώσεων για θέματα πολιτικής αεροπορίας που αποδεικνύεται με γραπτή εξέταση ενώπιον αρμόδιου εκπαιδευτή της ΥΠΑ
 - πρακτική σε πτήση εξέταση, ενώπιον εκπαιδευτή
 - συμπλήρωση ορίου ηλικίας (18 έτη)
4. Χορήγηση, διάρκεια ισχύος και τρόπος αλλαγής πτυχίου χειριστή ΣμηΕΑ
- 4.1 Άδεια χειριστή μη-επανδρωμένων αεροσκαφών χορηγείται από ΥΠΑ/Δ2 μετά από σχετική αίτηση του ενδιαφερόμενου και εφόσον πληρούνται όλες οι προϋποθέσεις του παρόντος άρθρου για τη χορήγησή της.
- 4.2 Ο ενδιαφερόμενος υποβάλλει για τη χορήγηση της άδειας:

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Παράρτημα Α: Κανόνες πτήσης συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών

- Αίτηση στην οποία αναφέρει την κατηγορία της άδειας, ικανότητα και ειδικότητα
 - Πιστοποιητικό υγείας
 - Παράβολο
 - Βεβαίωση επιτυχούς περάτωσης θεωρητικών μαθημάτων και εξετάσεων
 - Βεβαίωση ολοκλήρωσης πρακτικής εμπειρίας και πρακτικής εν πτήση εξέτασης
 - Βεβαίωση επιπέδου γλωσσών
 - Βεβαίωση ορίου ηλικίας
- 4.3 Το χορηγούμενο πτυχίο παραμένει σε ισχύ εφόσον δεν έχει λήξει η σύμφωνα με την οριζόμενη σε αυτό χρονική διάρκειά του, δεν έχει ανασταλεί ή ανακληθεί από την ΥΠΑ/Δ2.
- 4.4 Στο χορηγούμενο πτυχίο μπορεί να προστεθούν επιπλέον κατηγορίες, ικανότητες και ειδικότητες και μετά την έκδοση αυτού εφόσον πληρούνται οι προϋποθέσεις του παρόντος Κανονισμού. Η ΥΠΑ/Δ2 τροποποιεί το πτυχίο μετά από αίτηση του χειριστή ΣμηΕΑ με διαδικασία που περιγράφεται στην σχετική τεχνική οδηγία που θα εκδοθεί σε συνέχεια του παρόντος Κανονισμού.
5. Το πτυχίο αναστέλλεται ή ανακαλείται με τεκμηριωμένη απόφαση της ΥΠΑ/Δ2 σε περίπτωση που αθετούνται ή παραβιάζονται οι όροι χορήγησης αυτού, μετά από προηγούμενη κλήση του παραβάτη σε απολογία.
6. Χρήση ουσιών: Απαγορεύεται ο χειριστής, παρατηρητής ή άλλο άτομο που εμπλέκεται άμεσα στη λειτουργία μη-επανδρωμένων αεροσκαφών να καταναλώνει ή να βρίσκεται υπό επήρεια αλκοόλ, φαρμάκων ή άλλων ουσιών που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την ορθή εκτέλεση των καθηκόντων του.
7. Θεώρηση - Αναγνώριση πτυχίων (αδειών) που εκδόθηκαν από Αρχές άλλων κρατών. Η ΥΠΑ μπορεί να αναγνωρίσει τα πτυχία που έχουν εκδοθεί από τα άλλα κράτη μέλη του ICAO, εφόσον βεβαιωθεί ότι έχουν εκδοθεί με κριτήρια ανάλογα του παρόντος Κανονισμού.
8. Αναγνώριση Αδειών που αποκτήθηκαν κατά τη διάρκεια υπηρεσίας στις Ελληνικές Ένοπλες Δυνάμεις ή στα Σώματα Ασφαλείας. Στους χειριστές που απέκτησαν πτυχίο κατά την διάρκεια της υπηρεσίας τους στις Ελληνικές Ένοπλες Δυνάμεις ή στα Σώματα Ασφαλείας αναγνωρίζεται κατά την υποβολή της αίτησης τους στην ΥΠΑ/Δ2, η προηγούμενη εμπειρία που βεβαιώνεται από την Υπηρεσία τους. Για έκδοση πτυχίου χειριστή μη-επανδρωμένων αεροσκαφών απαιτείται επιτυχής περάτωση των θεωρητικών μαθημάτων και τις πρακτικής εξέτασης, όπου έχει εφαρμογή.
9. Ειδικότερα θέματα που αφορούν στα πτυχία και άδειες των χειριστών ΣμηΕΑ (ενδεικτικά αναφέρονται: κατηγορίες πτυχίων χειριστών, ικανότητες και ειδικότητες, μαθητευόμενοι χειριστές, σχολές και εκπαιδευτικά κέντρα ΣμηΕΑ, αντικείμενα θεωρητικής και πρακτικής εξέτασης του υποψήφιου χειριστή) ρυθμίζονται από την ΥΠΑ/Δ2 και ανακοινώνονται στην ιστοσελίδα της ΥΠΑ.

Άρθρο 19: Προϋποθέσεις για τη διεξαγωγή των πτήσεων των ΣμηΕΑ

1. Οι πτήσεις των ΣμηΕΑ διεξάγονται όταν τηρούνται οι παρακάτω προϋποθέσεις:
 - 1.1 Καταχώρηση σε Μητρώο/Νηολόγηση Στο ειδικό Μητρώο ή το Νηολόγιο καταγράφονται ανάλογα με την Κατηγορία τους όσα ΣμηΕΑ χρησιμοποιούνται για πτήσεις που διεξάγονται σε

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Παράρτημα Α: Κανόνες πτήσης συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών

απόσταση μεγαλύτερη από 50 μ. από τον χειριστή τους και όλα όσα χρησιμοποιούνται για επαγγελματικούς σκοπούς.

1.2 Ικανότητα Πτητικής Λειτουργίας

Η ικανότητα Πτητικής Λειτουργίας αποδεικνύεται με τα κατωτέρω:

- Βεβαίωση κατασκευαστή ισχύουσα στην Ευρωπαϊκή Ένωση, για τη γενική ασφάλεια του προϊόντος για τα ΣμηΕΑ «Ανοικτής Κατηγορίας».
- Άδεια πτητικής λειτουργίας (Operation Authorization) από την ΥΠΑ/Δ2 για τα ΣμηΕΑ της «Ειδικής Κατηγορίας».
- Ειδικό πιστοποιητικό πτητικής ικανότητας (Special Certificate of Airworthiness - CofA) από την ΥΠΑ/Δ2 για τα ΣμηΕΑ της «Πιστοποιημένης Κατηγορίας».

1.3 Κατάθεση Στοιχείων Διαδρομής σε ειδικό σχέδιο πτήσεως για τα ΣμηΕΑ

Για κάθε πτήση ΣμηΕΑ Ανοικτής Κατηγορίας, η οποία διεξάγεται σε απόσταση μεγαλύτερη των 50 μ. από το σημείο που βρίσκεται ο χειριστής της, ανεξαρτήτως καταχώρησης, στο ελληνικό ή σε αλλοδαπό μητρώο ΣμηΕΑ, κατατίθενται υποχρεωτικά τα Στοιχεία Διαδρομής της από τον χειριστή/εκμεταλλεόμενο του ΣμηΕΑ σε ειδικό σχέδιο πτήσεως για συστήματα μη επανδρωμένων αεροσκαφών, σε ειδική ηλεκτρονική φόρμα στην ιστοσελίδα της ΥΠΑ (www.yra.gr), η οποία θα περιέχει απαραίτητως τα παρακάτω:

Α. Το/τα όνομα/ονόματα του ιδιοκτήτη και του χειριστή του.

Β. Τον χαρακτηριστικό αριθμό/κωδικό καταχώρησης ΣμηΕΑ στα ειδικά μητρώα/νηολόγια των ΣμηΕΑ, αν έχει καταχωρηθεί στο ελληνικό ή σε αλλοδαπό μητρώο ΣμηΕΑ.

Γ. Το κινητό τηλέφωνο επικοινωνίας του χειριστή του.

Δ. Τη διαδρομή σε συντεταγμένες.

Ε. Την ύπαρξη ή μη και περαιτέρω την ορθή λειτουργία συστήματος γεωπερίφραξης (Geofencing).

ΣΤ. Την δήλωση ότι έχει ενημερωθεί για τις απαγορευμένες για την πτήση του περιοχές, όπως δημοσιεύονται σε σχετική διαδικτυακή σελίδα της ΥΠΑ, ή ότι έχει λάβει ειδική άδεια από την ΥΠΑ και τις αρμόδιες αρχές για την πτήση του.

Ο εκμεταλλεόμενος ή ο χειριστής ΣμηΕΑ της Ειδικής και της Πιστοποιημένης Κατηγορίας καταθέτει σχέδιο πτήσεως -έχοντας λάβει τις προβλεπόμενες άδειες για την πτήση του αν απαιτείται- ακολουθώντας τις οδηγίες από τον ιστότοπο της ΥΠΑ για αυτοματοποιημένη κατάθεση με ειδική ηλεκτρονική φόρμα.

Εντός του AthinaI FIR/Hellas UIR,

1.4 Άδεια για χρήση Εναερίου Χώρου από πτήσεις ΣμηΕΑ

Απαιτείται άδεια από την ΥΠΑ/Δ4 με ειδική αίτηση για τις πτήσεις όλων των κατηγοριών ΣμηΕΑ σε εναέριο χώρο:

- Σε απόσταση μικρότερη από 8 χλμ. από αεροδρόμιο ή και πεδίο προσγείωσης
- Σε περιοχές στις οποίες οι πτήσεις αεροσκαφών επανδρωμένων ή μη υπόκεινται σε περιορισμούς
- Σε κάθε μορφής εναέριο χώρο σε ύψος πάνω από τα 400 πόδια (FT) από την επιφάνεια του εδάφους ή της μέσης στάθμης της θάλασσας.

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Παράρτημα Α: Κανόνες πτήσης συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών

1.5 Άδεια Χειριστή ΣμηΕΑ

Απαιτείται άδεια Χειριστή ΣμηΕΑ για τους χειριστές ΣμηΕΑ:

- «Ανοικτής Κατηγορίας» σε περίπτωση επαγγελματικής χρήσης
- «Ειδικής Κατηγορίας»
- «Πιστοποιημένης Κατηγορίας»

1.6 Ασφαλιστική κάλυψη

Απαιτείται ασφαλιστική κάλυψη για :

- τα ΣμηΕΑ της Α2 «Ανοικτής Κατηγορίας» αλλά και για όλες τις υποκατηγορίες της «Ανοικτής Κατηγορίας» σε περίπτωση επαγγελματικής χρήσης
- τα ΣμηΕΑ της «Ειδικής Κατηγορίας»
- τα ΣμηΕΑ της «Πιστοποιημένης Κατηγορίας»

1.7 Καταχώρηση άδειας και ενσωμάτωση μηχανισμών ασφαλείας για πτήσεις ΣμηΕΑ επάνω από συγκεντρώσεις προσώπων. Για πτήσεις επάνω από συγκεντρώσεις προσώπων απαιτείται ειδική επέκταση/καταχώρηση της άδειας Χειριστή ΣμηΕΑ και ενσωμάτωση μηχανισμών ασφαλείας (αλεξίπτωτα, μικρό βάρος σώματος με αφρώδες υλικό κ.α.) στο πτητικό μέσο.

2. Οι πτήσεις των ΣμηΕΑ, χαρακτηρίζονται αναλόγως προς την οπτική επαφή που διατηρεί ο Χειριστής τους με το αεροσκάφος, ως εξής:

2.1 Πτήση με Οπτική επαφή (VLOS)

Κατά τις Πτήσεις ΣμηΕΑ με Οπτική επαφή (VLOS) ο χειριστής του συστήματος δύναται να διατηρήσει την άμεση οπτική επαφή με το Μη Επανδρωμένο Αεροσκάφος χωρίς βοήθεια (εκτός από διορθωτικούς φακούς-γυαλιά) για την παρακολούθηση της πορείας της πτήσης του σε σχέση με άλλα αεροσκάφη, ανθρώπους, οχήματα, σκάφη και δομές για την αποφυγή συγκρούσεων. Οι πτήσεις VLOS επιτρέπονται σε μια μέγιστη απόσταση 500 μέτρων οριζοντίως και 400 πόδια (FT) κατακόρυφα από τον χειριστή του συστήματος. Λειτουργίες σε μεγαλύτερη απόσταση από τον χειριστή του συστήματος μπορεί να επιτραπούν εφόσον υποβληθεί και εγκριθεί ως αποδεκτή αξιολόγηση ασφάλειας και σε περίπτωση πτήσης πάνω από τα 400 πόδια (FT) άδεια από την ΥΠΑ/Δ2.

2.2 Πτήση με Επέκταση Οπτικής επαφής (EVLOS)

Κατά τις Πτήσεις με Επέκταση Οπτικής επαφής (EVLOS) τα ΣμηΕΑ ίπτανται σε απόσταση εντός της εμβέλειας του συστήματος από τον χειριστή και 400 πόδια (FT) από την επιφάνεια του εδάφους ή του ύδατος, δηλαδή σε απόσταση όπου ο χειριστής του συστήματος είναι σε θέση να συμμορφωθεί με τις διαδικασίες αποφυγής συγκρούσεων. Στις εν λόγω πτήσεις η απαίτηση να διατηρεί ο χειριστής άμεση οπτική επαφή της επιχειρησιακής λειτουργίας του Μη Επανδρωμένου Αεροσκάφους επιτυγχάνεται μέσω της μεθόδου «οπτικής παρατήρησης», δηλαδή παρακολουθεί την πορεία μέσα από την κάμερα του, με τη μετάδοση της σχετικής εικόνας.

Ο εκμεταλλεούμενος πρέπει να υποβάλλει σχέδιο αξιολόγησης ασφάλειας, συμπεριλαμβανομένης της αξιολόγησης του κινδύνου για την επιχειρησιακή λειτουργία στο οποίο πρέπει να καθορίζονται:

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Παράρτημα Α: Κανόνες πτήσης συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών

- η διαδικασία για την αποφυγή συγκρούσεων
- το μέγεθος αεροσκάφους
- τα διακριτικά αεροσκάφους
- τα συστήματα μετάδοσης εικόνας και πληροφοριών
- οι μετεωρολογικές συνθήκες και η ορατότητα, συμπεριλαμβανομένων των συνθηκών του περιβάλλοντος (σύννεφο / γαλάζιο του ουρανού)
- η χρήση εναλλακτικού ελέγχου και
- η εμβέλεια πτήσης

Κατάλληλος ραδιοεξοπλισμός θα πρέπει να είναι εγκατεστημένος έτσι ώστε να είναι σε θέση ο χειριστής να ελέγχει το Μη Επανδρωμένο Αεροσκάφος ανά πάσα στιγμή. Τα ΣμηΕΑ που διεξάγουν πτήσεις σε συνθήκες EVLOS καταχωρούνται υποχρεωτικά στην «Ειδική» ή στην «Πιστοποιημένη» Κατηγορία, αναλαμβάνοντας τις αντίστοιχες υποχρεώσεις.

2.3 Πτήση Πέραν Οπτικής επαφής (BVLOS)

Κατά τις πτήσεις ΣμηΕΑ πέραν οπτικής επαφής, ο χειριστής του συστήματος δεν είναι σε θέση να ανταποκριθεί ή να αποφύγει άλλους χρήστες του Εναερίου Χώρου με οπτικά μέσα. Μη Επανδρωμένο Αεροσκάφος που προορίζεται για λειτουργία Πέραν της Οπτικής Επαφής του χειριστή του συστήματος απαιτεί περιορισμένο (segregated) εναέριο χώρο για την αποφυγή σύγκρουσης, ή ακολουθεί σε πλήρη συμμόρφωση τις οδηγίες σχετικής ειδικής άδειας που δίνεται από τις αρμόδιες υπηρεσίες Ελέγχου Εναέριας Κυκλοφορίας της ΥΠΑ. Οι Εκμεταλλεούμενοι ΣμηΕΑ που διεξάγουν πτήσεις σε συνθήκες BVLOS έχουν την υποχρέωση να υποβάλλουν σχέδιο αξιολόγησης ασφάλειας, συμπεριλαμβανομένης της αξιολόγησης του κινδύνου για την επιχειρησιακή λειτουργία της ανωτέρω παραγράφου 2.2 και καταχωρούνται υποχρεωτικά στην «Ειδική» ή στην «Πιστοποιημένη» Κατηγορία, αναλαμβάνοντας τις αντίστοιχες υποχρεώσεις.

3. Περιοχές απαγόρευσης πτήσεων ΣμηΕΑ

Για την πραγματοποίηση πτήσεων ΣμηΕΑ άνωθεν των περιοχών που αναφέρονται κατωτέρω απαιτείται ειδική άδεια από την ΥΠΑ/Δ4 καθώς και από την κατά λόγο αρμοδιότητας Δημόσια Υπηρεσία (π.χ. Υπουργείο Πολιτισμού για τους αρχαιολογικούς χώρους, Υπουργείο Εθνικής Άμυνας για τις στρατιωτικές εγκαταστάσεις κλπ):

3.1 Σε απαγορευμένες, περιορισμένες, επικίνδυνες και δεσμευμένες περιοχές όπως αυτές αναφέρονται στις πάσης φύσεως αεροναυτικές εκδόσεις της ΥΠΑ

3.2 Σε ύψος μεγαλύτερο των τετρακοσίων ποδών από την επιφάνεια του εδάφους ή του ύδατος

3.3 Σε απόσταση μικρότερη των οκτώ χιλιομέτρων - πέντε ναυτικών μιλίων (8 km-) από ελεγχόμενο αεροδρόμιο, πεδίο προσγειώσεως και ελικοδρόμιο

3.4 Άνωθεν, πλησίον ή εντός των πάσης φύσεως στρατιωτικών περιοχών / Εγκαταστάσεων, και ζωτικών υποδομών

3.5 Εντός στρατιωτικών ή πολιτικών αεροδρομίων και ελικοδρομίων

3.6 Άνωθεν ή πλησίον Σχολείων, Νοσοκομείων, Ιδρυμάτων, Καταστημάτων Κράτησης

3.7 Άνωθεν ή πλησίον εγκαταστάσεων κοινής ωφελείας

3.8 Άνωθεν ή πλησίον αρχαιολογικών χώρων

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Παράρτημα Α: Κανόνες πτήσης συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών

3.9 Σε περιοχές περιβαλλοντολογικής προστασίας Οδηγίες για την κατάθεση αιτημάτων και σχετικές ηλεκτρονικές φόρμες θα είναι διαθέσιμα στον ιστότοπο της ΥΠΑ.

Άρθρο 20: Σταθμός εδάφους Συστημάτων μη-επανδρωμένων αεροσκαφών

1. Γενικά

Ο σταθμός εδάφους αποτελεί αναπόσπαστο μέρος του συστήματος ελέγχου των μη-επανδρωμένων αεροσκαφών. Ο σταθμός εδάφους εξασφαλίζει λειτουργίες παρόμοιες με το πιλοτήριο επανδρωμένου αεροσκάφους και ως εκ τούτου πρέπει να πληροί παρόμοιες απαιτήσεις έτσι ώστε να εξασφαλίζεται πλήρης έλεγχος στη διαχείριση των συστημάτων του ΣμηΕΑ.

Ο σταθμός εδάφους έχει μέγεθος και εξοπλισμό αντίστοιχο του τύπου (-ων) μη-επανδρωμένων αεροσκαφών. Σημαντικοί παράγοντες για τον σχεδιασμό του σταθμού εδάφους είναι:

- Τύπος λειτουργίας (VLOS, EVLOS, BVLOS)
- Πολυπλοκότητα συστήματος
- Τύπος ελέγχου
- Αριθμός χειριστών και βοηθητικού προσωπικού
- Θέση του σταθμού (σταθερός σταθμός ή σταθμός επί οχήματος)

2. Λειτουργικές απαιτήσεις σταθμού εδάφους

Ο σταθμός εξασφαλίζει τις ακόλουθες λειτουργίες όπως αυτές έχουν εφαρμογή στο συγκεκριμένο σύστημα μη-επανδρωμένων αεροσκαφών:

- Ο σχεδιασμός των χειριστηρίων και συστημάτων ελέγχου πρέπει να ελαχιστοποιεί την πιθανότητα μηχανικής εμπλοκής, ανεπιθύμητης κακής λειτουργίας ή ανεπιθύμητου κλειδώματος επιφανειών ελέγχου πτήσης
- Ο σχεδιασμός του σταθμού εδάφους πρέπει να ελαχιστοποιεί την πιθανότητα εσφαλμένης ή περιορισμένης λειτουργίας των χειριστηρίων από τους χειριστές λόγω κόπωσης, σύγχυσης ή ξένης παρέμβασης. Προσοχή δίδεται τουλάχιστον στα εξής:

1. Διαμόρφωση, θέση και αναγνώριση των χειριστηρίων και οργάνων

2. Ταχεία αναγνώριση κατάστασης ανάγκης

3. Αίσθηση ελέγχου

4. Αερισμός, κλιματισμός, θέρμανση και θόρυβος

- Να παρέχονται μέσα που αυτόματα αποτρέπουν τον χειριστή σε περίπτωση προβλέψιμης βλάβης από χρήση συστημάτων που θα μπορούσαν να θέσουν σε κίνδυνο το μη-επανδρωμένο αεροσκάφος ή προτρέπουν τον χειριστή σε χρήση συστημάτων και μέσων που εξαλείφουν τη βλάβη
- Να υπάρχουν ενδεικτικές πινακίδες και αναγραφές σε οπτικό πεδίο του χειριστή που τον ενημερώνουν για τους περιορισμούς και όρια λειτουργίας του συστήματος
- Να υπάρχουν ενδείξεις των επιδόσεων του συστήματος ελέγχου και εντολών

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Παράρτημα Α: Κανόνες πτήσης συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών

- Σε περίπτωση σταθμού ελέγχου με οπτική επαφή (VLOS) εξασφαλίζεται θέση που επιτρέπει πλήρη και συνεχή οπτική επαφή με το μη-επανδρωμένο αεροσκάφος
- Σε περίπτωση σταθμού ελέγχου πέραν οπτικής επαφής (BVLOS) ο σταθμός ελέγχου πρέπει να παρέχει στον χειριστή επαρκείς πληροφορίες για να διατηρείται ο έλεγχος της κατάστασης. Αυτές οι ενδείξεις απεικονίζουν τη λειτουργία συστήματος αναγνώρισης και αποφυγής (Detect and Avoid-DAA)

Μέρη του συστήματος που είναι εκτεθειμένα στο περιβάλλον εξασφαλίζονται για τις προβλέψιμες μετεωρολογικές συνθήκες.

3. Χρήση συχνοτήτων επικοινωνίας Σταθμού Ελέγχου και ΣμηΕΑ.

Κάθε χρήση συχνοτήτων από ΣμηΕΑ για την επικοινωνία μεταξύ του σταθμού ελέγχου (είτε σε σταθερή ή κινητή βάση) και του ΣμηΕΑ, όπως ενδεικτικά για τις ανάγκες τηλεχειρισμού, πλοήγησης, μεταφοράς δεδομένων, μεταφοράς ήχου και εικόνας ή για την παθητική ή ενεργητική ταυτοποίηση των ΣμηΕΑ, γίνεται σύμφωνα με τα οριζόμενα στον Εθνικό Κανονισμό Κατανομής Ζωνών Συχνοτήτων (ΦΕΚ 105/Β'/27-1-2016) και ιδίως το Παράρτημα Α.1 (Συσκευές Μικρής Εμβέλειας) του Κανονισμού Όρων Χρήσης Μεμονωμένων Ραδιοσυχνοτήτων ή Ζωνών Ραδιοσυχνοτήτων της ΕΕΤΤ (ΦΕΚ 1713/Β'/ 26-6-2014), όπως εκάστοτε ισχύουν.

Ο ραδιοεξοπλισμός που θα χρησιμοποιείται θα πρέπει να συμμορφώνεται με τις ευρωπαϊκές αποφάσεις και οδηγίες όπως έχουν εναρμονιστεί στην ελληνική νομοθεσία και ισχύουν εκάστοτε.

4. Η κατηγοριοποίηση των σταθμών εδάφους καθώς και κάθε ειδικότερο θέμα που αφορά στη λειτουργία τους περιλαμβάνεται στις σχετικές διατάξεις που δημοσιεύονται από την ΥΠΑ/Δ2 στην ιστοσελίδα για τα ΣμηΕΑ.

Άρθρο 21: Συστήματα αναγνώρισης κινδύνου και αποφυγής σύγκρουσης στην «ειδική» και «πιστοποιημένη» κατηγορία

1. Γενικά

Με τα συστήματα αναγνώρισης και αποφυγής σύγκρουσης εννοούμε το σύνολο των συστημάτων που φέρονται στο μη-επανδρωμένο αεροσκάφος ή είναι τοποθετημένα στο έδαφος και διασφαλίζουν την αναγνώριση του πιθανού κινδύνου εναέριας σύγκρουσης ή πρόσκρουσης σε έδαφος ή όχημα ή άλλο κίνδυνο, όπως και την διαχείριση αυτών των κινδύνων.

2. Αναγνώριση κινδύνου

Τα συστήματα αναγνώρισης κινδύνων χωρίζονται σε αυτά που σχετίζονται με κινδύνους και διαχωρισμό εναερίου κυκλοφορίας και στα λοιπά συστήματα.

Τα συστήματα εξασφαλίζουν αποφυγή κινδύνου σε σχέση με:

- Την εναέρια κυκλοφορία
- Το έδαφος
- Τις καιρικές συνθήκες και αναταράξεις
- Τα οχήματα στο έδαφος ή στην πίστα του αεροδρομίου

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Παράρτημα Α: Κανόνες πτήσης συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών

3. Διαβάθμιση κινδύνου

Ο κίνδυνος διαβαθμίζεται και ανάλογα αυτής της διαβάθμισης τα συστήματα αναλαμβάνουν δράση. Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι μπορεί ο κίνδυνος για το ίδιο μη-επανδρωμένο αεροσκάφος να είναι μικρός, όμως ο κίνδυνος για τα άλλα αεροσκάφη ή εγκαταστάσεις και οχήματα στο έδαφος μπορεί να είναι δυσανάλογα μεγάλος.

4. Ανιχνευσιμότητα και ορατότητα

Τα μη-επανδρωμένα αεροσκάφη δύναται να ανιχνεύονται από τα πληρώματα άλλων αεροσκαφών από τα συστήματα αναγνώρισης όπως οι αποκριτές (transponders), πρέπει όμως σε κάθε περίπτωση να γίνονται εύκολα ορατά για τους υπόλοιπους χρήστες Εναερίου Χώρου μέσω των φώτων αναγνώρισης.

5. Διαχείριση κινδύνου

Η διαχείριση κινδύνου γίνεται σε τρία επίπεδα:

- Φάση στρατηγικής αποφυγής σύγκρουσης - γίνεται κυρίως κατά την προετοιμασία της πτήσης όπου λαμβάνονται όλα τα μέτρα για αποφυγή πιθανής σύγκρουσης.
- Φάση διασφάλισης διαχωρισμού - γίνεται κατά την πτήση από τους χειριστές των μη-επανδρωμένων και επανδρωμένων αεροσκαφών και τις υπηρεσίες εναερίου κυκλοφορίας με σκοπό την διασφάλιση επαρκούς διαχωρισμού σε όλες τις φάσεις της πτήσης.
- Αποφυγή σύγκρουσης - περιλαμβάνει όλους τους απαραίτητους ελιγμούς για αποφυγή σύγκρουσης, αν δεν απέδωσαν τα μέτρα των προηγούμενων φάσεων.

6. Τρόποι αναγνώρισης κινδύνου

Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες αναγνώρισης κινδύνου
Οπτική αναγνώριση Μη-οπτική αναγνώριση .

7. Τεχνικά θέματα

Τεχνικά θέματα που αφορούν στα συστήματα αναγνώρισης κινδύνου και αποφυγής σύγκρουσης περιλαμβάνονται στο καθοδηγητικό υλικό που δημοσιεύεται στον ιστότοπο της ΥΠΑ.

Άρθρο 22: Κυρώσεις και Αρμοδιότητα επιβολής αυτών

1. Ο εκμεταλλεόμενος (ιδιοκτήτης, κάτοχος, μισθωτής) η/και χειριστή του ΣμηΕΑ ο οποίος είτε:
Α) υποπίπτει σε παράβαση των διατάξεων του Κανονισμού αναφορικά με τη λειτουργία, την εκμετάλλευση, την ασφάλεια, τους κανόνες εναερίας κυκλοφορίας, καθώς και τις διατάξεις άλλων Νόμων και Κανονισμών της πολιτικής αεροπορίας
Β) αρνείται τον έλεγχο (επιθεώρηση) από την ΥΠΑ των εγκρίσεων και αδειών, των μέσων και εγκαταστάσεων που έχει στη διάθεσή του σχετικά με την λειτουργία και εκμετάλλευση του ΣμηΕΑ,
Γ) σε περίπτωση παραβίασης των όρων χρήσης των ραδιοσυχνοτήτων που χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία μεταξύ του σταθμού ελέγχου και του ΣμηΕΑ όπως ενδεικτικά για τις ανάγκες τηλεχειρισμού, πλοήγησης, μεταφοράς δεδομένων, μεταφοράς ήχου και εικόνας κ.α., ως αυτοί ορίζονται στον Κανονισμό Όρων Χρήσης Μεμονωμένων Ραδιοσυχνοτήτων ή Ζωνών Ραδιοσυχνοτήτων της ΕΕΤΤ και ιδίως στο Παράρτημα Α.1, ως εκάστοτε ισχύει, καλείται εγγράφως από την ΥΠΑ και ειδικότερα από την κατά περίπτωση Διεύθυνση, ανάλογα με τη

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Παράρτημα Α: Κανόνες πτήσης συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών

φύση της παράβασης και τον εκδότη της σχετικής απόφασης, έγκρισης, άδειας κλπ που δεν τηρήθηκε, σε ακρόαση προς παροχή διευκρινίσεων. Η έγγραφη κλήτευση του παραβάτη έχει τη θέση της κλήσης σε απολογία.

2. Μετά από αιτιολογημένη εισήγηση των αρμοδίων Διευθύνσεων της ΥΠΑ επιβάλλεται στον παραβάτη αιτιολογημένα:
 - το πρόστιμο της παρ. 1 του άρθρου 153 του Κώδικα Αεροπορικού Δικαίου όπως ισχύει, ανάλογα με τη βαρύτητα της παράβασης.
 - σε ιδιαίτερα σοβαρές ή και καθ' υποτροπήν παραβάσεις ή σε περιπτώσεις διαπίστωσης ότι δεν ισχύει κάποια από τις προϋποθέσεις ή δεν τηρήθηκε κάποιος όρος υπό τα οποία εκδόθηκε σχετική άδεια ή έγκριση, ή πιστοποιητικό, το αρμόδιο όργανο μπορεί να την αναστείλει για περιορισμένο χρόνο ή να την ανακαλέσει με αιτιολογημένη απόφασή του με βάση τη σχετική νομοθεσία.
3. Επί παραβίασης των όρων χρήσης των ραδιοσυχνοτήτων, η ΥΠΑ ενημερώνει την ΕΕΤΤ, η οποία στη συνέχεια προβαίνει στην εφαρμογή των διατάξεων των άρθρων 76 και 77 του Ν. 4070/2012 «Ρυθμίσεις Ηλεκτρονικών Επικοινωνιών, Μεταφορών, Δημοσίων Έργων και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ 82/Α' /10-4-2012), όπως εκάστοτε ισχύουν.
4. Οι ανωτέρω διοικητικές κυρώσεις δεν απαλλάσσουν τον παραβάτη από τυχόν άλλες ποινικές ευθύνες.
5. Τα πρόστιμα αποτελούν δημόσια έσοδα και εισπράττονται κατά τις διατάξεις του Κώδικα περί εισπράξεως δημοσίων εσόδων καθώς και τις ειδικότερες σχετικές διαδικασίες της ΥΠΑ. Ο παραβάτης μπορεί να προσφύγει κατά της απόφασης επιβολής κυρώσεων μέσα σε αποκλειστική προθεσμία δέκα (10) ημερών από την κοινοποίηση της απόφασης στο αρμόδιο Διοικητικό Πρωτοδικείο της περιφέρειας όπου έγινε η παράβαση ή της έδρας της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας. Η άσκηση της προσφυγής δεν αναστέλλει τις διαδικασίες εισπράξης του προστίμου.

Άρθρο 23: Έναρξη ισχύος

Οι διατάξεις του παρόντος Κανονισμού τίθενται σε ισχύ από 1-1-2017.

Ο κανονισμός αυτός να δημοσιευθεί στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως.

Αθήνα, 21 Σεπτεμβρίου 2016

Ο Διοικητής

ΚΩΝ. ΛΙΝΤΖΕΡΑΚΟΣ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β : ΘΕΩΡΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

Σύνοψη:

Στις αποτυπώσεις και γενικότερα σε όλες τις τοπογραφικές μετρήσεις υπεισέρχονται σφάλματα τυχαία, χονδροειδή (εξαιτίας του παρατηρητή) και εξαιτίας της μετρητικής ακρίβειας του οργάνου. Για την εξάλειψη αυτών των σφαλμάτων, θεσπίζονται κανόνες διαχείρισης τους και ελάχιστες απαιτήσεις, σύμφωνα με τις οποίες μία μέτρηση γίνεται δεκτή.

Στοιχεία θεωρίας σφαλμάτων [60]

Η διαδικασία προσδιορισμού αριθμητικής τιμής σε ένα μέγεθος που συνδέεται με το φυσικό σύστημα, ονομάζεται μέτρηση ή παρατήρηση. Η επανάληψη της ίδιας μέτρησης παρουσιάζει διαφορετικό αποτέλεσμα, επομένως αυτομάτως έχει εισαχθεί σφάλμα στην παρατήρηση. Το σφάλμα αυτό ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ της κάθε μέτρησης από την αληθινή τιμή. Όμως η αληθινή τιμή παραμένει άγνωστη και αρκούμαστε στη δυνατότητα καθορισμού της μέχρι μια τάξη μεγέθους μικρότερη από την τάξη μεγέθους των σφαλμάτων. Αυτή η αδυναμία καθορισμού της αληθινής τιμής οφείλεται στην επίδραση του σφάλματος.

Τα σφάλματα διαχωρίζονται σε χονδροειδή, συστηματικά και τυχαία. Τα χονδροειδή οφείλονται σε ανθρώπινα λάθη όπως αναγραμματισμούς και λάθη στις σκοπεύσεις. Ελέγχονται εύκολα και απομακρύνονται κατά την προεπεξεργασία των παρατηρήσεων. Τα συστηματικά σφάλματα έχουν σταθερή τιμή (κακή βαθμονόμηση οργάνου ή λάθος στο μοντέλο) και εξαλείφονται με σκοπεύσεις σε δύο θέσεις τηλεσκοπίου. Τα τυχαία σφάλματα είναι απρόβλεπτα και η συλλογική συμπεριφορά τους είναι δυνατό να περιγραφεί με τη βοήθεια της θεωρίας των πιθανοτήτων.

Στα συνήθη τοπογραφικά προβλήματα οι μετρήσεις (συνήθως γωνίες και αποστάσεις) εισάγονται στο μαθηματικό μοντέλο και προκύπτουν άλλα μεγέθη, όπως είναι οι συντεταγμένες. Εφαρμόζοντας τον νόμο μετάδοσης σφαλμάτων, υπολογίζονται οι ακρίβειες των ποσοτήτων αυτών με βάση την ακρίβεια των παρατηρήσεων. Συνήθως μία αρχική τιμή για την ακρίβεια των μετρήσεων δίνεται από τον κατασκευαστή των οργάνων, για παράδειγμα ακρίβεια 1 cc στις γωνιομετρήσεις για ένα γεωδαιτικό σταθμό. Οι ακρίβειες του κατασκευαστή έχουν προκύψει από βαθμονομήσεις σε ιδανικό εργαστηριακό περιβάλλον. Όταν μετράμε με τη μέθοδο των διευθύνσεων σε πολλές περιόδους, η ακρίβεια των συγκεκριμένων μετρήσεων μπορεί να προκύψει από τη διαδικασία που ονομάζεται **συνόρθωση σταθμού**. Με τη διαδικασία αυτή ελέγχονται οι μετρήσεις για την ύπαρξη χονδροειδών σφαλμάτων (έλεγχος αξιοπιστίας).

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Παράρτημα Γ: Θεωρία σφαλμάτων

Οι τυπικές αποκλίσεις των μετρήσεων με EDM δίνεται από τους κατασκευαστές στην μορφή:

$$\sigma_s = \pm a \pm b \cdot 10^{-6} \cdot S = \pm(a \text{ mm} + b \text{ ppm})$$

όπου ppm: parts per million

π.χ. Για ακρίβεια 5 mm + 5 ppm σε απόσταση 1000 m, ισχύει:

$$5 \text{ mm} + 5 \times 10^{-6} \times 1000000 \text{ mm} = 10 \text{ mm} = 1 \text{ cm}$$

Ακόμα πιο σωστή είναι η σχέση που προκύπτει από την ανάλυση των επιμέρους σφαλμάτων με την εφαρμογή του νόμου μετάδοσης:

$$\sigma_s = \pm \sqrt{a^2 + (b \cdot 10^{-6} \cdot S)^2}$$

Έντυπο ελληνικών κανονισμών οδεύσεων [61]

ΕΔΑΦΟΣ	ΜΕΓΙΣΤΟ ΜΗΚΟΣ ΟΔΕΥΣΗΣ		ΜΕΓΙΣΤΟ ΜΗΚΟΣ ΠΛΕΥΡΑΣ	
	ΠΕΔΙΝΟ (m)	ΟΡΕΙΝΟ (m)	ΠΕΔΙΝΟ (m)	ΟΡΕΙΝΟ (m)
1:200	750	1000	50	75
1:500	900	1000	75	100
1:1000	1000	1300	100	150
1:2000	1500	2200	150	200
1:5000	2500	3000	250	300
1:10000	3500	4500	400	500

1. Μέγιστα μήκη οδεύσεων και των πλευρών τους κατά τους ελληνικούς κανονισμούς.

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Παράρτημα Γ: Θεωρία σφαλμάτων

ΚΛΙΜΑΚΑ	ΟΜΑΛΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΚΕΚΛΙΜΕΝΟ ΕΔΑΦΟΣ
1:200 1:500	$0.002\sqrt{S} + S/1000$	$0.004\sqrt{S} + S/5000$
1:1000 1:2000	$0.004\sqrt{S} + S/5000$	$0.006\sqrt{S} + S/2500$
1:5000	$0.006\sqrt{S} + S/2500$	$0.008\sqrt{S} + S/1250$

2. Οι ανεκτές διαφορές για διπλές πλευρομετρήσεις πολυγωνικής όδευσης σύμφωνα με τους ελληνικούς κανονισμούς.

ΚΛΙΜΑΚΑ	ΟΜΑΛΟ ΕΔΑΦΟΣ		ΚΕΚΛΙΜΕΝΟ ΕΔΑΦΟΣ	
	ΠΡΩΤΕΥΟΥΣΑ	ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΑ	ΠΡΩΤΕΥΟΥΣΑ	ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΑ
1:200	\sqrt{N}	$1.5\sqrt{N}$	$2\sqrt{N}$	$3\sqrt{N}$
1:500	$2\sqrt{N}$	$3\sqrt{N}$	$3\sqrt{N}$	$5\sqrt{N}$
1:1000 1:2000	$2\sqrt{N}$	$5\sqrt{N}$	$5\sqrt{N}$	$8\sqrt{N}$
1:5000 1:10000	$3\sqrt{N}$	$5\sqrt{N}$	$5\sqrt{N}$	$8\sqrt{N}$

3. Μέγιστα σφάλματα κλεισίματος των γωνιών όδευσης ($^{\circ}$) σύμφωνα με τους ελληνικούς κανονισμούς.

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Παράρτημα Γ: Θεωρία σφαλμάτων

ΚΛΙΜΑΚΑ	ΟΜΑΛΟ ΕΔΑΦΟΣ		ΚΕΚΛΙΜΕΝΟ ΕΔΑΦΟΣ	
	ΠΡΩΤΕΥΟΥΣΑ	ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΑ	ΠΡΩΤΕΥΟΥΣΑ	ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΑ
1:200 1:500	$0.005\sqrt{s} + 0.05$	$0.01\sqrt{s} + 0.05$	$0.01\sqrt{s} + 0.10$	$0.02\sqrt{s} + 0.10$
1:1000	$0.01\sqrt{s} + 0.10$	$0.02\sqrt{s} + 0.10$	$0.02\sqrt{s} + 0.20$	$0.04\sqrt{s} + 0.20$
1:2000	$0.02\sqrt{s} + 0.10$	$0.04\sqrt{s} + 0.10$	$0.04\sqrt{s} + 0.20$	$0.08\sqrt{s} + 0.20$
1:5000	$0.04\sqrt{s} + 0.20$	$0.06\sqrt{s} + 0.20$	$0.06\sqrt{s} + 0.40$	$0.10\sqrt{s} + 0.40$
1:10000	$0.10\sqrt{s} + 0.30$	$0.15\sqrt{s} + 0.30$	$0.15\sqrt{s} + 0.30$	$0.20\sqrt{s} + 0.30$

4. Όρια του ολικού γραμμικού σφάλματος κλεισίματος πολυγωνικής όδευσης σύμφωνα με τους ελληνικούς κανονισμούς.

Οδηγός προσδιορισμού της ακρίβειας (LOA: Level Of Accuracy) του ινστιτούτου USIBD (U.S. Institute of Building Documentation) [62]

Ο Οδηγός LOA της USIBD προϋποθέτει ότι οι χρήστες των εγγράφων αυτών έχουν εμπειρία στην τεκμηρίωση κατασκευών και θα χρησιμοποιήσουν την επαγγελματική τους κρίση για την εφαρμογή των προτεινόμενων οδηγιών που περιέχονται στον οδηγό.

Η κατανόηση ερωτημάτων που αφορούν την ακρίβεια, όπως αν είναι σχετική ή απόλυτη, καθώς και ποιός θα είναι ο καταληκτικός σκοπός μιας κατασκευής, μπορεί να βοηθήσει στην αποφυγή προβλημάτων στα παραδοτέα προϊόντα. Ενώ υπάρχουν, οδηγίες και πρότυπα που προσδίδουν ένα επίπεδο ακρίβειας στη σχεδίαση, φαίνεται ότι υπάρχει η έλλειψη ενός κοινώς αναγνωρισμένου προτύπου όσον αφορά την τεκμηρίωση της οικοδόμησης. Η προσέγγισή της **USIBD (U.S. Institute of Building Documentation)** στην ανάπτυξη των προδιαγραφών **LOA (Level Of Accuracy)** ήταν να αναγνωριστούν οι υπάρχουσες αναγνωρισμένες προδιαγραφές ακρίβειας και να χρησιμοποιηθούν ως βάση για το νέο μοντέλο. Μια τέτοια προδιαγραφή είναι το πρότυπο DIN 18710 που αναγνωρίζεται ευρέως και γίνεται αποδεκτό στην Ευρώπη. Η προδιαγραφή DIN 18710 περιγράφει πέντε επίπεδα ακρίβειας όσον αφορά την τυπική απόκλιση, καθένα με καθορισμένο εύρος τιμών. Οι ανώτερες και κατώτερες τιμές εύρους αυτής της προδιαγραφής φαίνονται κατάλληλες για την εφαρμογή τεκμηρίωσης κτιρίου. Ωστόσο, οι προδιαγραφές όπως γράφονται δεν αναγνωρίζουν ούτε διακρίνουν τον τρόπο με τον οποίο οι καθορισμένες τυπικές αποκλίσεις σχετίζονται με συστήματα κτιρίων και υποσυστήματα. Για να αντιμετωπιστεί αυτή η έλλειψη, δημιουργήθηκαν οι προδιαγραφές ακρίβειας (LOD) οι οποίες αναπτύχθηκαν από το Φόρουμ BIM της AGC, το οποίο βασίζεται στο Έντυπο Πρωτοκόλλου Μοντελοποίησης Πληροφοριών Κτιρίου G202-2013 του Οργανισμού AIA και οργανώνεται από το CSI UniFormat™ 2010. Η αρχική προδιαγραφή AIA LOD έχει ήδη λάβει γενική αποδοχή από το Φόρουμ BIM της AGC.

Δεδομένης της αποδοχής αυτών των προτύπων, της λογικής στην οποία βασίζεται το πλαίσιο για αυτά τα πρότυπα και της υποστήριξης της διαλειτουργικότητας της USIBD, οι προδιαγραφές LOA της USIBD ακολουθούν τα ήδη υπάρχοντα πρότυπα με ένα παρόμοιο πλαίσιο που ενσωματώνει όλα αυτά τα γνωστά πρότυπα, με ουσιαστικό τρόπο για να ικανοποιήσει την ανάγκη της βιομηχανίας **AECO (Architecture, Engineering, Construction and Operations)** για μια προδιαγραφή LOA που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξασφαλίσει την ακρίβεια στην περιγραφή και αποτύπωση των κτιριακών έργων.

Το LOA της USIBD είναι δομημένο σε πέντε βήματα αρχίζοντας από το LOA10 και φτάνοντας στο LOA50. Αυτή η διψήφια σειρά "Δέκα" αποσκοπεί να διαφοροποιηθεί από την τριμερή σειρά "εκατό" LOD του Φόρουμ BIM, αποφεύγοντας έτσι πιθανή σύγχυση. Το σύστημα χρησιμοποιεί μια παρόμοια και γνωστή δομή με την ίδια έννοια που έχει επίπεδα που ξεκινούν χαμηλά στο LOA10 και προχωρούν σε υψηλά επίπεδα στο LOA50. Τα πέντε καθορισμένα επίπεδα ακρίβειας είναι τα: LOA10, LOA20, LOA30, LOA40 και LOA50. Το σύστημα αυτό έχει σχεδιαστεί ώστε η βιομηχανία

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Παράρτημα Γ: Θεωρία σφαλμάτων

AECO να επιτύχει ένα σαφώς καθορισμένο, οικονομικά αποδοτικό πεδίο εφαρμογής της ακρίβειας του έργου.

Επίπεδο	Άνω εύρος	Κάτω εύρος
LOA10	Προδιορισμός από τον χρήστη	5 cm *
LOA20	5 cm *	15 mm *
LOA30	15 mm *	5 mm *
LOA40	5 mm *	1 mm *
LOA50	1 mm *	0 *

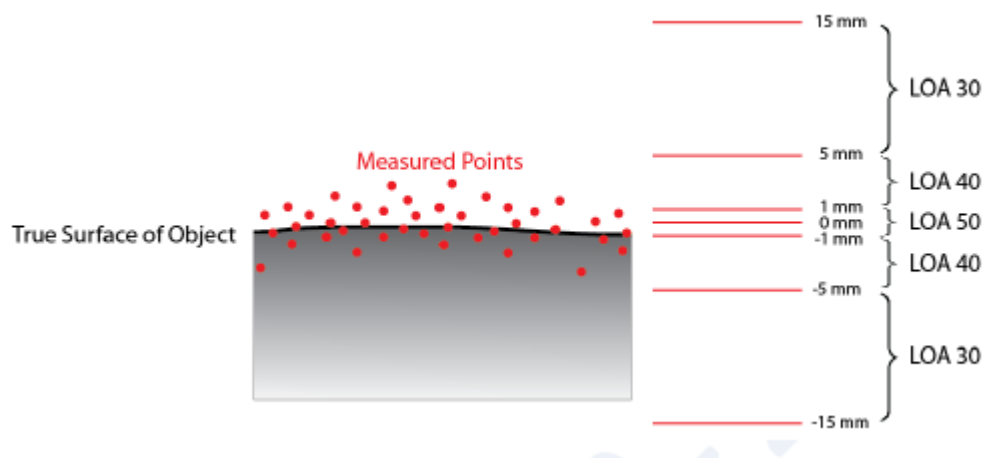
Πίνακας B1: Επίπεδα LOA (*Προσδιορίζεται στο 95% του διαστήματος εμπιστοσύνης)

Οι μέθοδοι τεκμηρίωσης που χρησιμοποιούνται από τους επαγγελματίες ποικίλλουν ανάλογα με τους στόχους του έργου και τον διαθέσιμο εξοπλισμό. Επίσης, η τεχνολογία τεκμηρίωσης αλλάζει συνεχώς. Ως εκ τούτου, ένα πρότυπο για ένα συγκεκριμένο LOA δεν μπορεί να καθορίσει μεθόδους ή εξοπλισμό ώστε να μην καταστεί παρωχημένο πριν ακόμη υιοθετηθεί. Το πλαίσιο είναι μια γενική περιγραφή των απαιτήσεων του έργου μαζί με τις απαιτήσεις αναφοράς και ακρίβειας. Το πλαίσιο αυτό θα βοηθήσει στον καθορισμό των στόχων και των στοιχείων του έργου που θα τεκμηριωθούν, στον καθορισμό του τρόπου δήλωσης των αποτελεσμάτων, στον καθορισμό της ακρίβειας των αποτελεσμάτων, καθώς και στη διαμόρφωση της μεθόδου επικύρωσης. Πρέπει να επιλέγονται κατάλληλες διαδικασίες και εξοπλισμός ώστε να επιτυγχάνεται η απαιτούμενη ακρίβεια όπως ορίζεται στο LOA. Συμπερασματικά, ένα προκαθορισμένο σχέδιο εκτέλεσης είναι το κλειδί για την απόκτηση του απαιτούμενου LOA.

Το πρότυπο **DIN 18710** βασίζεται σε μετρικές μονάδες μέτρησης (metric system). Τα επίπεδα USIBD LOA βασίζονται επίσης σε μετρικές μονάδες μέτρησης. Ωστόσο, το LOA της USIBD παρέχει μετατροπή σε αυτοκρατορικές μονάδες (imperial system). Πρέπει να σημειωθεί ότι αυτή η μετατροπή δεν είναι μια ακριβής μετάφραση από τις μετρικές προς τις αυτοκρατορικές μονάδες, καθώς υπάρχει στρογγυλοποίηση στο πλησιέστερο 1/16 της ίντσας. Επομένως, οποιοσδήποτε χρήστης της προδιαγραφής USIBD LOA που απαιτεί μετάφραση από τη μια μονάδα μέτρησης στην άλλη, θα χρειαστεί να λάβει τις δικές του αποφάσεις σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο θα λογοδοτεί αυτή η στρογγυλοποίηση στη μετατροπή τους και κατ' επέκταση στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

Το πλαίσιο LOA είναι περαιτέρω δομημένο σε δύο μέρη. Το πρώτο μέρος αναφέρεται ως μετρημένη ακρίβεια και το δεύτερο μέρος αναφέρεται ως αντιπροσωπευτική ακρίβεια. Η μετρημένη ακρίβεια αντιπροσωπεύει το εύρος τυπικής απόκλισης που πρέπει να επιτευχθεί από τις τελικές μετρήσεις που λαμβάνονται ανεξάρτητα από τη μέθοδο που χρησιμοποιείται για την απόκτηση αυτών των μετρήσεων. Η ακρίβεια αντιπροσωπεύει το εύρος τυπικής απόκλισης που πρέπει να επιτευχθεί μόλις

μετατραπούν τα μετρημένα δεδομένα σε κάποια άλλη μορφή, όπως ένα τρισδιάστατο μοντέλο σε τεχνολογία BIM. Κατά τον προσδιορισμό της μετρημένης ακρίβειας, ο μηχανικός καλείται να επιλέξει εάν η καθορισμένη ακρίβεια όσον αφορά την τυπική απόκλιση θα είναι απόλυτη ή σχετική (βλ. εικ. B1).



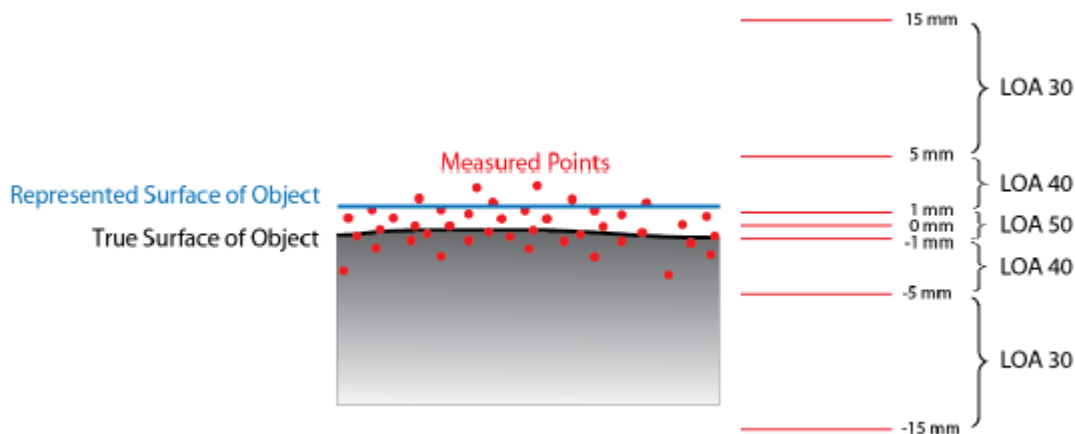
Εικόνα B1: Πραγματική επιφάνεια μετρήσεων

Μερικές φορές απαιτούνται μόνο μετρήσεις. Σε τέτοιες περιπτώσεις, θα προσδιοριστεί η μετρητική ακρίβεια, αλλά όχι η αντιπροσωπευτική ακρίβεια. Όταν οι μετρήσεις πρόκειται να ληφθούν και να μεταποιηθούν σε κάποιο άλλο παραδοτέο προϊόν, τότε θα πρέπει να προσδιοριστεί τόσο η μετρητική ακρίβεια όσο και η αντιπροσωπευτική ακρίβεια. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ένας μηχανικός μπορεί να ανησυχεί μόνο για την αντιπροσωπευτική ακρίβεια. Ο μηχανικός μπορεί να επιλέξει να μην καθορίσει μια μετρητική ακρίβεια και να αφήσει την τεκμηρίωση του κτιρίου να καθοριστεί από την μετρημένη ακρίβεια LOA που απαιτείται για την επίτευξη της συγκεκριμένης αντιπροσωπευτικής ακρίβειας.

Η πρωταρχική διάκριση είναι ότι σφάλματα θα εισάγονται πάντοτε όταν τα μετρηθέντα δεδομένα επεξεργάζονται ή αντιπροσωπεύονται ως κάποια άλλη μορφή παραδοτέου προϊόντος. Σε αυτήν την περίπτωση, είναι σημαντικό να καθοριστεί το επίπεδο ακρίβειας και να κατηγοριοποιηθεί σε επίπεδο LOA (βλ. εικ. B2).

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Παράρτημα Γ: Θεωρία σφαλμάτων



Εικόνα B2: Αντιπροσωπευτική επιφάνεια μετρήσεων

Field of application		Measured Accuracy	
<input checked="" type="radio"/> structural <input type="radio"/> heritage <input checked="" type="radio"/> imperial <input type="radio"/> metric		X	Absolute If Absolute - describe reference frame here
			Relative If Relative - describe measure of relativity here
Level of Accuracy (2 σ std dev)		Upper Range (Metric) Lower Range (Metric)	
5cm 15mm 5mm 1mm 0		5cm 15mm 5mm 1mm 0	
Level 1 Level 2 Level 3 CSI UniFormat™ 2010		LOA10	LOA20
A SUBSTRUCTURE		LOA30	LOA40
A10 Foundations			
A1010 Standard Foundations			
A1020 Special Foundations			
A20 Subgrade Enclosures			
A2010 Walls for Subgrade Enclosures			
A40 Slabs-on-Grade			
A4010 Standard Slabs on Grade			
A4020 Structural Slabs on Grade			
		Validation	Note
			Exposed surface
			Exposed surface
			Exposed surface
			Exposed surface
			Interior or Exposed Surface
			Interior or Exposed Surface
			Exposed surface
			Exposed surface
			Exposed surface

Εικόνα B3: Τυπική εφαρμογή του LOA

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ : DRONES ΣΤΟ ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ

Σύνοψη:

Χρησιμοποιώντας με σωστό τρόπο τα drones στο εργοτάξιο έχουμε ταχύτερη, οικονομικότερη και υψηλής ανάλυσης αποτύπωση. Μία πετυχημένη πτήση drone μπορεί να προσφέρει πληροφορίες σχετικά με την πρόοδο και την παραγωγικότητα του εργοταξίου, καθώς και πληροφορίες που ο μηχανικός μπορεί να αξιοποιήσει για να εξασφαλίσει εργασία υψηλής ποιότητας, ελαχιστοποιώντας τους λειτουργικούς κινδύνους και το κόστος.

Βασικά χαρακτηριστικά μίας πετυχημένης πτήσης drone [64]

Για μία επιτυχημένη αποτύπωση – επίβλεψη με ΣμηΕΑ, είναι απαραίτητη η επιλογή του σωστού εξοπλισμού (μοντέλο drone), του κατάλληλου λογισμικού και των αδειών χρήσης που επιβάλλει νομοθεσία.

Οι κανόνες πτήσης ενός drone ρυθμίζονται διαφορετικά ανάλογα με τη χώρα και την τοποθεσία. Ορισμένες περιοχές έχουν αυστηρότερους περιορισμούς. Κοντά σε αεροδρόμια, ελικοδρόμια, κ.λπ., χρειάζεται ειδική εξουσιοδότηση ή άδεια για την πτήση, όπως επίσης και για χαμηλές πτήσεις κατά τις οποίες υπάρχει ο κίνδυνος τραυματισμού ή ατυχήματος. Αυτός είναι και ο λόγος που πρέπει να πραγματοποιηθεί μία έρευνα στις αρμόδιες αρχές για το αν το εργοτάξιο βρίσκεται σε ζώνη που απαγορεύεται ή είναι περιορισμένη η πτήση ενός ΣμηΕΑ, ώστε να εξαχθούν οι απαραίτητες άδειες πτήσης. Συνήθως, όλα τα μη επανδρωμένα οχήματα υπακούν στους κανόνες πτήσης που θεσπίζει η ρυθμιστική αρχή της αεροπορίας της εκάστοτε χώρας (βλ. Παράρτημα Α).

Για την επιλογή του κατάλληλου drone εξοπλισμού, πρέπει να ληφθούν υπόψη τα ακόλουθα:

- Η έκταση της περιοχής του θα αποτυπωθεί
- Ποιος είναι ο προϋπολογισμός και τί ποσό προβλέπει για την αγορά του εξοπλισμού
- Ποια είναι η καλύτερη κάμερα για τις ανάγκες αποτύπωσης – επίβλεψης
- Αν χρειάζεται πρόσθετος εξοπλισμός τοποθετημένος πάνω στο drone και ποιες είναι οι βέλτιστες επιλογές (βλ. εικ. Γ1)
- Η διαθεσιμότητα ανταλλακτικών και η συντήρηση επιφέρουν ένα επιπλέον κόστος



Εικόνα Γ1: Πρόσθετος εξοπλισμός αποτύπωσης σε DJI drone

Η κυκλοφορία ενός προσιτού σε κόστος RTK (Real-Time Kinematic) drone δίνει μία υψηλής ακρίβειας αποτύπωση του εργοταξίου. Καταγράφει συντεταγμένες GPS και πραγματοποιεί λήψη εικόνων γεωγραφικών δεδομένων. Ένας ενεργός σταθμός - βάση (βλ. εικ. Γ2) στο έδαφος στέλνει στο UAV δεδομένα GPS, το οποίο τα συνδυάζει με τα δικά του δεδομένα για πιο ακριβή προσδιορισμό της θέσης. Κατά τη διάρκεια της πτήσης, το RTK drone πρέπει να παραμείνει συνδεδεμένο με το σταθμό - βάση ενώ συλλέγει δεδομένα. Η απώλεια σήματος μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια δεδομένων.



Εικόνα Γ2: DJI's Phantom 4 RTK

Συνήθως, οι ανάγκες στον εξοπλισμού πεδίου είναι αρκετά ευδιάκριτες για τον μηχανικό, όμως η επιλογή του απαραίτητου λογισμικού επεξεργασίας απαιτεί μεγάλη προσοχή. Οι εργασίες κατασκευής είναι αρκετά πολύπλοκες, με πολλά επίπεδα αποτύπωσης, σχεδιασμού και διαχείρισης. Πρέπει να επιλεγεί το κατάλληλο λογισμικό για να επεξεργαστεί τα δεδομένα που αντλήθηκαν από ένα συγκεκριμένο εξοπλισμό. Αρκετές από τις εταιρείες παραγωγής εξαρτημάτων και εξοπλισμού drones συνοδεύουν τα προϊόντα τους με το απαραίτητο λογισμικό για αυτή την επεξεργασία.

Επιπλέον, υπάρχουν εφαρμογές σχεδίου πτήσης για καλύτερο έλεγχο της πτήσης κατά τη διάρκεια της επιτήρησης – αποτύπωσης. Τέτοιου είδους εφαρμογές κάνουν τη χαρτογράφηση, τις πτήσεις επιτήρησης και τις 3D αεροφωτογραφήσεις πολύ πιο εύκολες. Κάποια επιπλέον χαρακτηριστικά αυτών των εφαρμογών επιτρέπουν βελτιστοποίηση της λήψης των εικόνων.

Πλεονεκτήματα:

- Αποθήκευση και επαναχρησιμοποίηση σχεδίων πτήσεως, για σταθερές τοποθεσίες που χρειάζονται τακτική παρακολούθηση.
- Οι εικόνες μπορούν να ληφθούν σε ίση απόσταση ή χρονικά διαστήματα κάτι που είναι πολύ χρήσιμο για αποτυπώσεις.
- Η γωνία της κάμερας μπορεί να ρυθμιστεί σε περιοχή 0-90 μοιρών, εάν είναι απαραίτητη η λήψη τεμαχίων εδάφους.



Εικόνα Γ3: Χειριστήριο πτήσης

Η κατασκευή έργων είναι μια πολύπλευρη βιομηχανία. Με τόσα πολλά κινούμενα μέλη, η υπευθυνότητα, η παρακολούθηση της προόδου και τα ακριβή δεδομένα είναι το κλειδί της επιτυχίας. Τα drones μπορούν δραστικά να βελτιώσουν και να επισπεύσουν όλες τις διαδικασίες στο εργοτάξιο.

Ογκομετρήσεις χωματουργικών εργασιών με UAV [64]

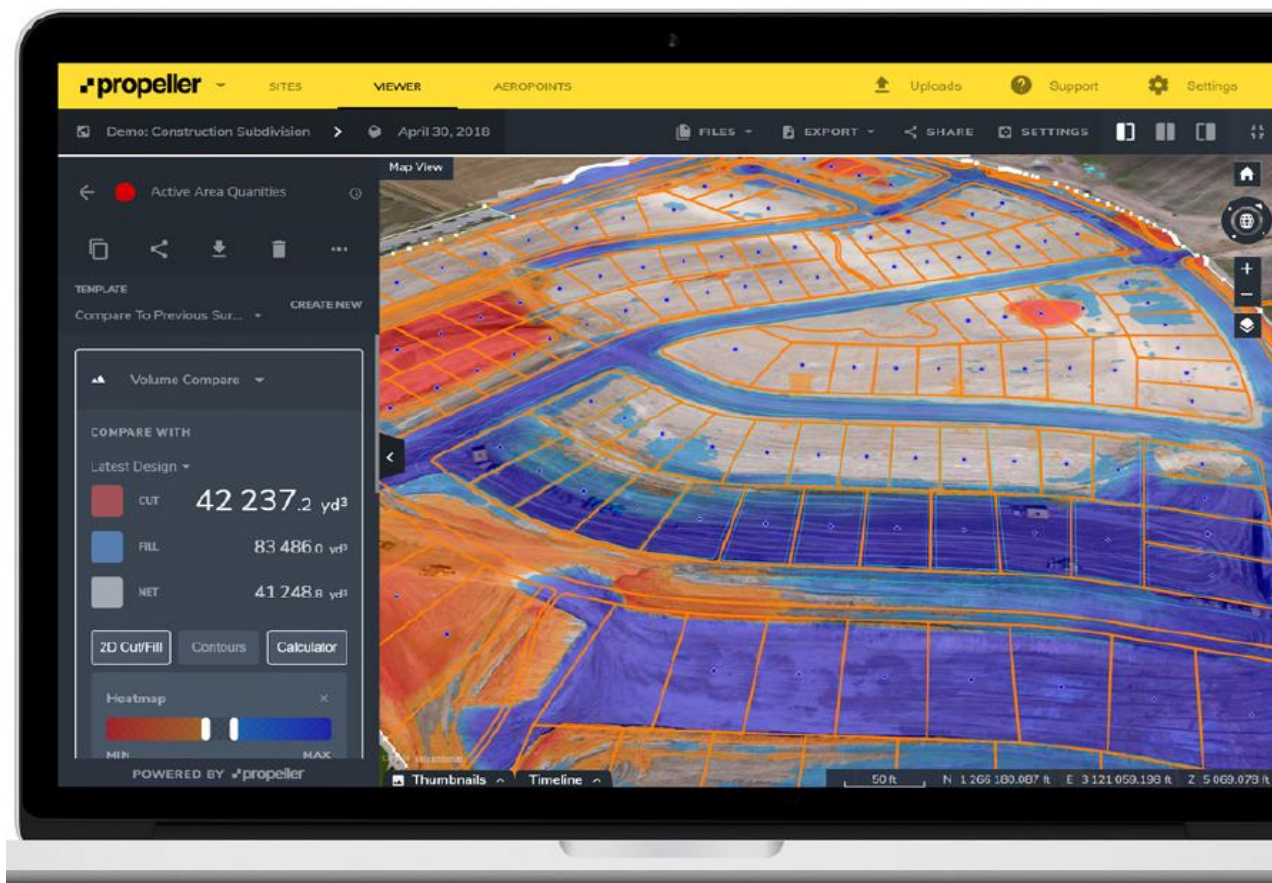
Ακόμα και μικρές αποκλίσεις στον υπολογισμό των χωματουργικών εργασιών του εργοταξίου, μπορεί να επιφέρει μεγάλα σφάλματα στην εκτίμηση του κόστους, κάτι που θα έχει μεγάλο αντίκτυπο στον προϋπολογισμό του έργου. Η μέτρηση του όγκου των εκσκαφών και των επιχωματώσεων είναι από τα πιο σημαντικά καθήκοντα της επιτόπιας αποτύπωσης. Πριν έρθουν στο προσκήνιο τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη, δημιουργώντας τα διαγράμματα υψομετρικών διαφορών ταχύτητα και με μεγάλη ακρίβεια, η ογκομέτρηση γινόταν με ένα τοπογραφικό συνεργείο. Οι τοπογράφοι, λαμβάνοντας δεδομένα από τις μετρήσεις του πεδίου και χρησιμοποιώντας μαθηματικά, υπολόγιζαν θέσεις, υψόμετρα και στη συνέχεια τους όγκους των χωματουργικών εργασιών. Αυτή η διαδικασία διαρκούσε αρκετές μέρες ή εβδομάδες για να ολοκληρωθεί.

Η τεχνολογία των UAVs έρχεται για να το αλλάξει αυτό. Οι τιμές τους είναι προσιτές και η αποτύπωση γίνεται ευκολότερα και ταχύτατα. Δεδομένου ότι ο εξοπλισμός των drones και η επεξεργασία των

Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης σε περιβάλλον τεχνολογίας BIM

Παράρτημα Γ: Drones στο εργοτάξιο

δεδομένων κοστίζουν λιγότερο από τη συμβατική μέθοδο μετρήσεων, έχουν αρχίσει και γίνονται πιο διαδεδομένα στον τομέα των αποτυπώσεων και των επιτηρήσεων ενός εργοταξίου.



Εικόνα Γ4: Ογκομέτρηση χωματουργικών με το λογισμικό propeller