

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΧΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

Διαχείριση Τεχνικών Έργων

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Καινοτόμες Μέθοδοι Παρακολούθησης Τεχνικών Έργων με τη Χρήση Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (Drones)

Φοιτήτρια:

Παπασταμάτη Αντιγόνη

Επιβλέπων Καθηγητής:

Κουλουριώτης Δημήτριος

Αθήνα, Ιούνιος 2026

Πίνακας Περιεχομένων

Πίνακας Περιεχομένων Εικόνων	4
Πίνακας Περιεχομένων Πινάκων.....	6
Ευρετήριο Όρων	7
Περίληψη	8
Λέξεις κλειδιά	9
Abstract.....	9
1. Εισαγωγή	10
1.1. Ιστορική ανασκόπηση.....	12
1.2. Μέθοδος Βιβλιογραφικής Συστηματικής Ανασκόπησης	14
2. Παραδοσιακές Μέθοδοι παρακολούθησης έργων.....	17
2.1. Διακριτά στάδια	17
2.2. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μεθόδου	19
3. Καινοτόμες μέθοδοι παρακολούθησης έργων με drones	21
3.1. Τύποι drones	24
3.2. Τύποι αισθητήρων.....	30
3.3. Επιλογή παραμέτρων	34
3.4. Παρακολούθηση έργων με drones	36
3.5. Στάδια παρακολούθησης.....	38
3.6. Εντοπισμός ελαττωμάτων με χρήση drone.....	45
3.7. Ενσωμάτωση αλγορίθμων Τεχνητής Νοημοσύνης στην χρήση drones στο εργοτάξιο	49
3.8. Προκλήσεις κατά την χρήση drones στο εργοτάξιο	50
4. Νομοθεσία και Κανονιστικό Πλαίσιο.....	54
5. Μελέτη περίπτωσης.....	57
5.1. Εισαγωγή	57
5.2. Επιλογή εξοπλισμού.....	59

5.3.	Επιλογή παραμέτρων και τελικά προϊόντα	60
5.4.	Ιστορικό λήψεων.....	61
5.5.	Λοιπά εργαλεία σύγκρισης προόδου	71
5.6.	Συμπεράσματα της μελέτης περίπτωσης	75
5.6.1.	Πλεονεκτήματα ως προς τον χρόνο, το κόστος και την ακρίβεια	75
5.6.2.	Προβλήματα και περιορισμοί	76
5.6.3.	Προτάσεις για βελτίωση	76
6.	Συγκριτική Αξιολόγηση Μεθόδων	77
7.	Προτάσεις	78
8.	Συμπεράσματα.....	80
	Βιβλιογραφικές αναφορές.....	84

Πίνακας Περιεχομένων Εικόνων

Εικόνα 1 - Χρονολογική εξέλιξη στις χρήσεις των drones. (Gautam & Johari, 2023)	13
Εικόνα 2 - Κλάδοι που έχουν χρησιμοποιηθεί τα drones. (Gautam & Johari, 2023)	14
Εικόνα 3 - Διαδικασία παρακολούθησης εργασιών (Rehman, Shafiq, Ullah, & Ahmed, 2023)	19
Εικόνα 4 - Εφαρμογές των drones (Hashem, Zerdoumi, Jhanjhi, Siddiq, & Foufou, 2025)	21
Εικόνα 5 - Χρήσεις drones στην κατασκευή (Tatum & Liu, 2017)	22
Εικόνα 6 - Ποσοστιαία κατανομή χρήσεων των drones στη φάση της κατασκευής (Choi, Kim, Kim, & Na, 2023)	23
Εικόνα 7 - Ταξινόμηση drone με βάση την μορφολογία (Choi, Kim, Kim, & Na, 2023)	25
Εικόνα 8 - Drone σταθερών πτερυγίων (Liang, Lee, Bae, Kim, & Seo, 2023)	26
Εικόνα 9 - Drone περιστρεφόμενων πτερυγίων: (a) quadcopters, (b) hexacopters και (c) octocopters (Liang, Lee, Bae, Kim, & Seo, 2023)	27
Εικόνα 10 - Υβριδικά drones (Liang, Lee, Bae, Kim, & Seo, 2023)	28
Εικόνα 11 - Σάρωση εδάφους με λέιζερ (LiDAR), (Χατζόπουλος & Χατζοπούλου, 2025)	31
Εικόνα 12 - Αισθητήρες drone χρήσιμοι για την παρακολούθηση έργων: (a) visible light sensor, (b) LiDAR, (c) TI και (d) GPS and RTK. (Liang, Lee, Bae, Kim, & Seo, 2023)	33
Εικόνα 13 - Λήψεις αεροφωτογραφιών και επικάλυψη (Χατζόπουλος & Χατζοπούλου, 2025)	35
Εικόνα 14 - Εικόνες από drone σε αποστολή επίβλεψης ασφάλειας εργοταξίου στη Χιλή: (a) και (c) απουσία προστατευτικού κιγκλιδώματος, (b) εργάτης σε ύψος χωρίς τη χρήση προστατευτικού ιμάντα, (Choi, Kim, Kim, & Na, 2023)	37
Εικόνα 15 – Είδη τροχιών πτήσης. (Choi, Kim, Kim, & Na, 2023)	39
Εικόνα 16 - Επικάλυψη και ύψη λήψεων. (Choi, Kim, Kim, & Na, 2023)	39
Εικόνα 17 - Τρισδιάστατο νέφος σημείων (αριστερά) και ορθομωσαϊκό (δεξιά), (Choi, Kim, Kim, & Na, 2023)	41
Εικόνα 18 - Στάδια επεξεργασίας εικόνας στο λογισμικό Agisoft (Palomino Ojeda, και συν., 2024)	42

Εικόνα 19 - Διάγραμμα ροής της προτεινόμενης μεθοδολογίας παρακολούθησης της προόδου εργασιών (Jacob-Loyola, Muñoz-La Rivera, Herrera, & Atencio, 2021).....	44
Εικόνα 20 - Διαφορετικοί τύποι φωτογραφιών ανάλογα με τον αισθητήρα που έχει χρησιμοποιηθεί, (Choi, Kim, Kim, & Na, 2023)	45
Εικόνα 21 - Διαδικασία εντοπισμού ρωγμών σε έργο γέφυρας με χρήση drone, (Choi, Kim, Kim, & Na, 2023)	48
Εικόνα 22 – Συνεχόμενες λήψεις για δημιουργία πανοράματος κυκλικού κόμβου	58
Εικόνα 23 – Πανόραμα κυκλικού κόμβου	58
Εικόνα 24 – Τα μέρη του DJI Mavic 3E (DJI, 2022).....	60
Εικόνα 25 - 04/04/2025 – Κατασκευή επιφανειακής αποστράγγισης οδού και τοποθέτηση πλαϊνών κρασπέδων.....	61
Εικόνα 26 - 10/04/2025 - Κατασκευή επιφανειακής αποστράγγισης οδού και τοποθέτηση πλαϊνών κρασπέδων (συνέχεια).....	62
Εικόνα 27 - 24/04/2025 – Επιχώσεις σκαμμάτων επιφανειακής αποστράγγισης.....	62
Εικόνα 28 - 05/05/2025 – Δημιουργία σκάμματος και εγκατάσταση 1ου αγωγού ΕΥΔΑΠ	63
Εικόνα 29 - 15/05/2025 – Δημιουργία σκάμματος και εγκατάσταση 2 ^{ου} (μοβ) αγωγού ΕΥΔΑΠ	63
Εικόνα 30 - 22/05/2025 – Δημιουργία σκάμματος και εγκατάσταση 3 ^{ου} (μοβ) αγωγού ΕΥΔΑΠ, εκσκαφές για τοποθέτηση βάσεων ιστών οδοφωτισμού	64
Εικόνα 31 - 29/05/2025 – Τοποθέτηση βάσεων ιστών οδοφωτισμού	64
Εικόνα 32 - 05/06/2025 – Επιχώσεις σκαμμάτων βάσεων	65
Εικόνα 33 - 12/06/2025 – Επιχώσεις λοιπών σκαμμάτων	65
Εικόνα 34 - 26/08/2025 – Τοποθέτηση κρασπέδων κεντρικής νησίδας	66
Εικόνα 35 - 24/10/2025 – Περαιτέρω διαμόρφωση κεντρικής νησίδας με τοποθέτηση κρασπέδων και πλήρωσης με χώμα	66
Εικόνα 36 - 20/11/2025 – Έναρξη οδοστρωσίας οδού	67
Εικόνα 37 - 27/11/2025 – Συνέχιση οδοστρωσίας οδού.....	67
Εικόνα 38 - 22/01/2026 – Τοποθέτηση ιστών οδοφωτισμού στο πάνω τμήμα της οδού	68
Εικόνα 39 - 30/01/2026 – Τοποθέτηση ιστών οδοφωτισμού στο κάτω τμήμα της οδού	68

Εικόνα 40 - 06/04/2026 – Διάστρωση πλακών (βόρειου) πεζοδρομίου, τοποθέτηση οριζόντιας και κατακόρυφης σήμανσης, φωτεινών σηματοδοτών και ιστών οδοφωτισμού.....	69
Εικόνα 41 - 24/04/2026 – Ολοκλήρωση διάστρωσης πλακών πεζοδρομίου και οριζόντιας σήμανσης.....	69
Εικόνα 42 - Σύγκριση προόδου σε δύο χρονικές στιγμές (αριστερά 17/11/2025, δεξιά 23/03/2026).....	71
Εικόνα 43 - Σύγκριση θέσης κατασκευασμένου φρεατίου ακαθάρτων με θέση φρεατίου από μελέτη	72
Εικόνα 44 - Σύγκριση θέσης σκάμματος με θέση του προς κατασκευή αγωγού αποχέτευσης.....	72
Εικόνα 45 - Point Cloud.....	73
Εικόνα 46 - Εργαλεία στην πλατφόρμα του point cloud	73
Εικόνα 47 - Μέτρηση υψομέτρων οδού μέσω του point cloud	74
Εικόνα 48 - Εργαλείο Mesh για απεικόνιση 3D κατασκευών	74

Πίνακας Περιεχομένων Πινάκων

Πίνακας 1 - Μεθοδολογία αναζήτησης και αποτελέσματα ανασκόπησης	16
Πίνακας 2 - Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα drone σταθερών πτερυγίων	26
Πίνακας 3 - Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα drone περιστρεφόμενων πτερυγίων.....	27
Πίνακας 4 - Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα υβριδικών drone	28
Πίνακας 5 - Κατηγοριοποίηση drones με βάση το βάρος, την εμβέλεια, το ύψος και τη διάρκεια πτήσης (Valavanis & Vachtsevanos, 2015).....	29
Πίνακας 6 - Τύποι ελαττωμάτων που ανιχνεύονται από drones	46
Πίνακας 7 - Προκλήσεις για την ενσωμάτωση των drones, (du Plessis & Amoah, 2025)	53
Πίνακας 8 - Συγκεντρωτική αποτύπωση λήψεων και προόδου εργασιών στο εξεταζόμενο τμήμα	70

Ευρετήριο Όρων

Term	Definition (EN)	Ορισμός (GR)
AI	Artificial Intelligence	Τεχνητή Νοημοσύνη
BIM	Building Information Modeling	Μοντέλο Δομικών Πληροφοριών
CPM	Construction Progress Monitoring	Παρακολούθηση Προόδου Κατασκευής
DT	Digital Twin	Ψηφιακό Δίδυμο
DTM	Digital Terrain Model	Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους
EASA	European Aviation Safety Agency	Ευρωπαϊκός Οργανισμός Ασφάλειας της Αεροπορίας
FAA	Federal Aviation Administration	Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αεροπορίας
FOV	Field of View	Πεδίο Ορατότητας
GNSS	Global Navigation Satellite System	Παγκόσμιο Δορυφορικό Σύστημα Πλοήγησης
GPS	Global Positioning System	Σύστημα Παγκόσμιου Εντοπισμού Θέσης
IoT	Internet of Things	Διαδίκτυο των Πραγμάτων
LiDAR	Light Detection and Ranging	Ανίχνευση και Μέτρηση Απόστασης με Φως
ML	Machine Learning	Μηχανική Μάθηση
MVS	Multi-View Stereo	
PRISMA	Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses	
RGB	Red-Green-Blue	
RTK	Real-Time Kinematic	Κινηματικός Εντοπισμός Πραγματικού Χρόνου
SfM	Structure from Motion	Δομή από Κίνηση
SIFT	Scale-Invariant Feature Transform	
SLR	Systematic Literature Review	Συστηματική Βιβλιογραφική Ανασκόπηση
TI	Thermal Imaging	Θερμική Απεικόνιση
UAV(s)	Unmanned Aerial Vehicle(s)	Μη Επανδρωμένα Αεροσκάφη
VTOL	Vertical Takeoff and Landing	Κάθετη Απογείωση και Προσγείωση

Περίληψη

Η παρακολούθηση της προόδου τεχνικών έργων αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για τη διασφάλιση της επιτυχούς ολοκλήρωσής τους εντός των καθορισμένων χρονικών και οικονομικών περιορισμών, διατηρώντας παράλληλα υψηλό επίπεδο ποιότητας. Οι παραδοσιακές μέθοδοι παρακολούθησης βασίζονται κυρίως σε χειροκίνητες διαδικασίες συλλογής και καταγραφής δεδομένων, οι οποίες χαρακτηρίζονται από χρονοβόρα υλοποίηση και αυξημένη πιθανότητα σφαλμάτων. Στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνώνται οι καινοτόμες μέθοδοι παρακολούθησης τεχνικών έργων με τη χρήση Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (UAVs – drones), στο πλαίσιο μιας συστηματικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης. Η ερευνητική διαδικασία βασίστηκε στη μεθοδολογία PRISMA, αξιοποιώντας επιστημονικές πηγές της περιόδου 2021–2025, με στόχο την αποτύπωση των σύγχρονων τεχνολογικών εξελίξεων στον τομέα. Η μελέτη επικεντρώνεται στην ανάλυση των τύπων drones, των αισθητήρων που φέρουν (όπως RGB κάμερες, LiDAR, θερμικοί αισθητήρες και συστήματα GPS/RTK), καθώς και των βασικών παραμέτρων σχεδιασμού πτήσεων που επηρεάζουν την ποιότητα των συλλεγόμενων δεδομένων. Παρουσιάζονται, επίσης, οι κύριες εφαρμογές των drones στην κατασκευή, όπως η παρακολούθηση προόδου, οι τοπογραφικές αποτυπώσεις, η ενίσχυση της ασφάλειας εργοταξίων και η δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων και ψηφιακών διδύμων (Digital Twins). Παράλληλα, πραγματοποιείται συγκριτική αξιολόγηση των καινοτόμων αυτών μεθόδων έναντι των παραδοσιακών, αναδεικνύοντας τα πλεονεκτήματα των drones ως προς την ταχύτητα, την ακρίβεια, την ασφάλεια και την εξοικονόμηση κόστους. Ωστόσο, επισημαίνονται και σημαντικές προκλήσεις που σχετίζονται με νομικούς περιορισμούς, τεχνικά ζητήματα, περιβαλλοντικές συνθήκες και τη διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων. Τέλος, η εργασία περιλαμβάνει μελέτη περίπτωσης πραγματικού έργου, μέσω της οποίας αναδεικνύεται η πρακτική εφαρμογή των drones στην παρακολούθηση της κατασκευαστικής προόδου, επιβεβαιώνοντας τη συνεισφορά τους στη βελτιστοποίηση της διαχείρισης έργων. Συνολικά, η παρούσα μελέτη καταδεικνύει ότι η ενσωμάτωση των drones αποτελεί ένα σύγχρονο και αποτελεσματικό εργαλείο, το οποίο μπορεί να συμβάλει καθοριστικά στη μετάβαση του κατασκευαστικού κλάδου προς την ψηφιοποίηση και την έξυπνη διαχείριση έργων.

Λέξεις κλειδιά

Παρακολούθηση κατασκευαστικών έργων, παρακολούθηση προόδου, διαχείριση κατασκευών, Μη Επανδρωμένα Αεροσκάφη (UAVs), drones, φωτογραμμετρία, ασφάλεια εργοταξίου, τρισδιάστατη μοντελοποίηση, Ψηφιακό Δίδυμο, έργα υποδομών

Abstract

Monitoring the progress of construction projects is a critical factor in ensuring their successful completion within predefined time and cost constraints, while maintaining a high level of quality. Traditional monitoring methods are primarily based on manual data collection and recording processes, which are time-consuming and prone to human error. This thesis investigates innovative methods for monitoring construction projects using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), commonly known as drones, within the framework of a systematic literature review. The research methodology follows the PRISMA protocol and focuses on scientific publications from the period 2021–2025, aiming to capture recent technological advancements in the field. The study analyzes different types of drones, their sensor systems (including RGB cameras, LiDAR, thermal imaging, and GPS/RTK technologies), as well as key flight planning parameters that affect the quality of collected data. Furthermore, it examines major applications of drones in construction, such as progress monitoring, topographic surveying, safety management, and the generation of 3D models and Digital Twins. In addition, a comparative evaluation between innovative drone-based methods and traditional monitoring approaches is conducted, highlighting the advantages of drones in terms of efficiency, accuracy, safety, and cost reduction. Nevertheless, several challenges are identified, including regulatory constraints, technical limitations, environmental factors, and the management of large volumes of data. Finally, the thesis includes a case study of a real construction project, demonstrating the practical application of drones in monitoring construction progress and confirming their contribution to improving project management processes. Overall, the findings indicate that the integration of drones represents a modern and effective tool that can significantly support the digital transformation of the construction industry.

1. Εισαγωγή

Ο σχεδιασμός, η κατασκευή και η συντήρηση έργων, είτε πρόκειται για έργα υποδομών είτε κτηριακά, βελτιώνουν τις συνθήκες ζωής των πολιτών και συμβάλλουν στην οικονομική ανάπτυξη. Αυτό καθιστά τον κατασκευαστικό κλάδο έναν από τους σημαντικότερους πυλώνες της κοινωνίας και της παγκόσμιας οικονομίας. (Palomino Ojeda, και συν., 2024), (Liang, Lee, Bae, Kim, & Seo, 2023) Το κύριο ζητούμενο ενός έργου είναι η υλοποίησή του εντός του χρόνου που είχε εκτιμηθεί, με το ελάχιστο δυνατό κόστος, διατηρώντας όμως την ποιότητά του ως τη βέλτιστη δυνατή. Ωστόσο και παρά τη συνεχή ανάγκη βελτιστοποίησης του τρίπτυχου χρόνος-κόστος-ποιότητα, ο κλάδος χαρακτηρίζεται από μια κουλτούρα αντίστασης στην υιοθέτηση ψηφιακών καινοτομιών και εργαλείων. (Rehman, Shafiq, Ullah, & Ahmed, 2023)

Η παρακολούθηση της προόδου ενός έργου κατά την κατασκευή (Construction Progress Monitoring - CPM) αποτελεί κρίσιμο σημείο για την ομάδα του έργου όσον αφορά την λήψη έγκαιρων και τεκμηριωμένων αποφάσεων ή/και διορθωτικών ενεργειών. (Reja, Varghese, & Ha, 2022) Σύμφωνα με τους Alaloul et al. (2021), η έλλειψη συλλογής ορθών και σε πραγματικό χρόνο δεδομένων προόδου μπορεί να προκαλέσει αποτυχία του έργου, δημιουργώντας καθυστερήσεις σε ποσοστό 53% των έργων, ενώ περισσότερα από το 66% των έργων υπερβαίνουν τον αρχικό προϋπολογισμό.

Μέχρι σήμερα, οι κοινές μέθοδοι παρακολούθησης έργων είναι οι παραδοσιακές που βασίζονται σε χειροκίνητη συλλογή και καταχώρηση δεδομένων, χρήση απλών φωτογραφιών και χειρόγραφων ημερολογίων. Οι μέθοδοι αυτές είναι χρονοβόρες κατά την καταχώρηση και επεξεργασία των δεδομένων και αυξάνουν την πιθανότητα ανθρώπινου σφάλματος. (Rehman, Shafiq, Ullah, & Ahmed, 2023), (Reja, Varghese, & Ha, 2022)

Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια καταγράφεται μια αυξανόμενη τάση ενσωμάτωσης Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (UAVs), κοινώς drones, στην παρακολούθηση έργων η οποία δύναται να μεταβάλει ουσιαστικά τον τρόπο διαχείρισής τους προκειμένου μέσα από τον αυτοματισμό και τις έξυπνες τεχνολογίες να ενισχυθεί η λειτουργικότητα, να μειωθούν τα κόστη και να διασφαλιστεί η ασφάλεια του εργοταξίου και των εργαζόμενων σε αυτό, δημιουργώντας έτσι ένα πιο αποδοτικό, ασφαλές και βιώσιμο κατασκευαστικό μέλλον. Σύμφωνα με τον Turan (2025), τα drones μπορούν να

μειώσουν τον χρόνο παρακολούθησης ενός έργου έως και 30%, ενώ παράλληλα ελαχιστοποιούν τα ανθρώπινα λάθη και ενισχύουν την ασφάλεια στο εργοτάξιο μειώνοντας την ανάγκη πρόσβασης των εργαζομένων σε περιοχές υψηλού κινδύνου. Ακόμα, μέσω της χρήσης drones για την παρακολούθηση των εργασιών έχει παρατηρηθεί μείωση του λειτουργικού κόστους του έργου έως και 50%. (Villarino, Valenzuela, Antón, Domínguez, & Méndez Cubillos, 2025)

Τα drones είναι αεροσκάφη τα οποία ελέγχονται απομακρυσμένα από κάποιον (εκπαιδευμένο) χειριστή και ανάλογα με την χρήση φέρουν διάφορους αισθητήρες και κάμερες υψηλής ανάλυσης. Η χρήση τους έχει γίνει αρκετά διαδεδομένη στα εργοτάξια διότι έχουν τη δυνατότητα προσπέλασης και παρακολούθησης δυσπρόσιτων σημείων, τα οποία ήταν δύσκολο και επικίνδυνο να παρακολουθηθούν χρησιμοποιώντας κάποια από τις παραδοσιακές μεθόδους. (Choi, Kim, Kim, & Na, 2023), (Liang, Lee, Bae, Kim, & Seo, 2023) Λέξεις κλειδιά που συνοδεύουν τη χρήση drones στην κατασκευή είναι μοντέλο BIM (Building Information Modeling), AI, αισθητήρες (sensors) και Internet of Things (IoT). (Serejo, dos Santos, Silva, & dos Santos, 2025)

Παρά τα σημαντικά οφέλη της χρήσης drones, εξακολουθούν να υφίστανται εμπόδια και περιορισμοί, όπως νομικά ζητήματα, τεχνικές δυσκολίες και μεγάλος όγκος δεδομένων προς επεξεργασία κλπ τα οποία θα αναλυθούν περαιτέρω σε επόμενο κεφάλαιο. (Liang, Lee, Bae, Kim, & Seo, 2023)

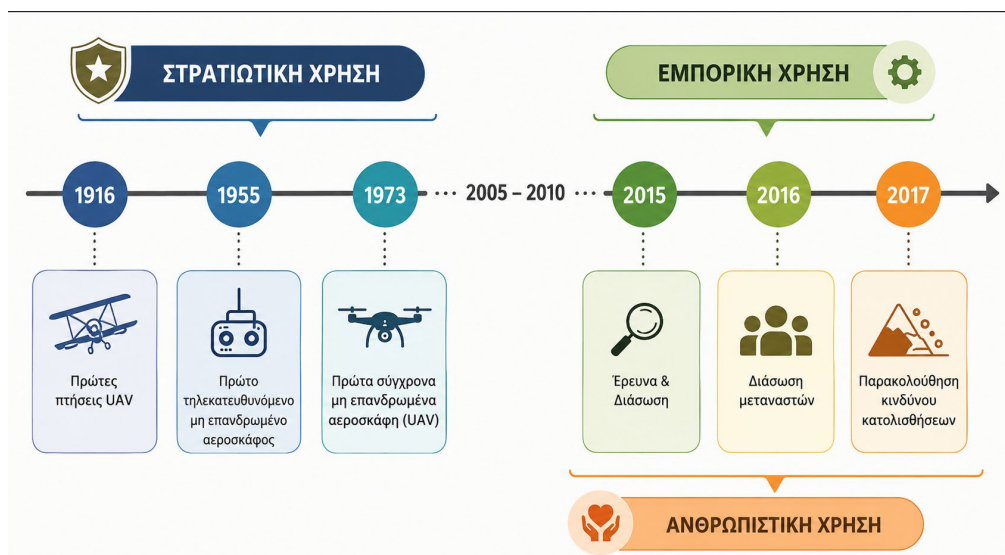
Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι μια βιβλιογραφική συστηματική ανασκόπηση και στοχεύει στη διερεύνηση των καινοτόμων μεθόδων παρακολούθησης τεχνικών έργων με τη χρήση drones, συγκρίνοντάς τις με τις παραδοσιακές μεθόδους, αναλύοντας τις τεχνολογικές δυνατότητες, τις προκλήσεις ενσωμάτωσης και τις προοπτικές που προσφέρουν, παραθέτοντας επίσης δεδομένα πραγματικού έργου στην Ελλάδα.

Το παρόν κεφάλαιο (Κεφάλαιο 1) αποτελεί την Εισαγωγή της εργασίας και παρουσιάζει μια συνοπτική ιστορική ανασκόπηση των drones καθώς και την μέθοδο της βιβλιογραφικής συστηματικής ανασκόπησης που χρησιμοποιήθηκε για την συγγραφή και έρευνα. Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται οι πρακτικές και στάδια παρακολούθησης των έργων με τις παραδοσιακές μεθόδους παρακολούθησης ενώ τα Κεφάλαια 3 και 4 αναλύουν το πλαίσιο γύρω από τον εξοπλισμό, τα στάδια παρακολούθησης και την νομοθεσία που απαιτείται για την επίβλεψη έργων με χρήση

drone. Το Κεφάλαιο 5 αποτελεί τον πυρήνα της εργασίας και πρόκειται για ανάλυση μελέτης περίπτωσης πραγματικού έργου όπου γίνεται εφαρμογή της παρακολούθησης έργων με drone. Τέλος, στα Κεφάλαια 6,7 και 8 καταγράφονται τα σημεία σύγκρισης των δύο μεθόδων, προτάσεις για το μέλλον και συμπεράσματα.

1.1.Ιστορική ανασκόπηση

Τα drones δεν αποτελούν τεχνολογία μόνο των τελευταίων ετών και η χρήση τους δεν περιορίζεται μόνο στην παρακολούθηση κατασκευών και τη λήψη αεροφωτογραφιών. Οι πρώτες αναφορές εντοπίζονται γύρω στο 2500πΧ στην Αρχαία Ελλάδα και Κίνα, όπου Πυθαγόρας, Αρχιμήδης και άλλοι μελετούσαν τη χρήση αυτόνομων μηχανισμών για ποικίλες εφαρμογές. (Valavanis & Vachtsevanos, 2015) Το 1783 στη Γαλλία πραγματοποιήθηκε η πρώτη δημόσια επίδειξη μη επανδρωμένου αεροσκάφους (γνωστό και ως Hot air balloon) από τους Joseph–Michel and Jacques–Etienne Montglofer. Το 1849 καταγράφεται η πρώτη πολεμική χρήση, όταν ο Franz von Uchatius που άνηκε στο Αυστριακό πυροβολικό πρότεινε τη χρήση μη επανδρωμένων αερόστατων εξοπλισμένων με βόμβες για να επιτεθεί στη Βενετία. Συνέχισε να χρησιμοποιείται για την εξυπηρέτηση πολεμικών σκοπών κατά τον 1^ο Παγκόσμιο Πόλεμο αλλά και αργότερα έως το 1955. Το 2006, τα drones χρησιμοποιήθηκαν στην Αμερική για παροχή βοήθειας σε καταστροφές βοηθώντας στον εντοπισμό ανθρώπων μέσω της ανίχνευσης της θερμοκρασίας του ανθρώπινου σώματος. (Gautam & Johari, 2023)



Εικόνα 1 - Χρονολογική εξέλιξη στις χρήσεις των drones. (Gautam & Johari, 2023)

Τα τελευταία χρόνια τα drones, εξελισσόμενα από στρατιωτικά εργαλεία σε απαραίτητα μέσα για την κατασκευή, έχουν αλλάξει τα δεδομένα στον προγραμματισμό, την εκτέλεση και την συντήρηση έργων προσφέροντας τη δυνατότητα γρήγορης και ασφαλούς παρακολούθησης μεγάλων και δυσπρόσιτων περιοχών. Εξοπλισμένα με ειδικούς αισθητήρες όπως κάμερες υψηλής ανάλυσης (RGB), αισθητήρες LiDAR για τη δημιουργία τρισδιάστατων απεικονίσεων (point clouds), θερμικές κάμερες και τεχνολογία GPS (global positioning system) τα drones έχουν καταφέρει να δώσουν μια νέα διάσταση στα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, στη μοντελοποίηση των κατασκευών και την απομακρυσμένη παρακολούθηση και έλεγχο της προόδου. (Choi, Kim, Kim, & Na, 2023), (Liang, Lee, Bae, Kim, & Seo, 2023)



Εικόνα 2 - Κλάδοι που έχουν χρησιμοποιηθεί τα drones. (Gautam & Johari, 2023)

1.2.Μέθοδος Βιβλιογραφικής Συστηματικής Ανασκόπησης

Για την επίτευξη των στόχων της παρούσας μελέτης, εφαρμόστηκε η μεθοδολογία της συστηματικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης (Systematic Literature Review - SLR). Η διαδικασία αναζήτησης και επιλογής των βιβλιογραφικών αναφορών βασίστηκε στην εφαρμογή του πρωτοκόλλου PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), διασφαλίζοντας τη διαφάνεια και τη δυνατότητα αναπαραγωγής της ερευνητικής διαδικασίας. (Hu & Assaad, 2023)

Ως μοναδική πηγή άντλησης δεδομένων χρησιμοποιήθηκε η διεθνής επιστημονική βάση δεδομένων SCOPUS, η οποία επιλέχθηκε λόγω του διεπιστημονικού της χαρακτήρα και της υψηλής ποιότητας των περιλαμβανομένων αναφορών, περιοδικών, άρθρων και ανασκοπήσεων. (Rachmawati & Kim, 2022) Ο χρονικός ορίζοντας της έρευνας ορίστηκε στην πενταετία 2021–2025, προκειμένου να αποτυπωθούν οι πλέον σύγχρονες τεχνολογικές τάσεις και καινοτομίες στην εν λόγω θεματολογία. Η αναζήτηση επικεντρώθηκε κυρίως σε ερευνητικές εργασίες (research papers), επιστημονικά άρθρα περιοδικών και πρακτικά συνεδρίων (peer-reviewed), δημοσιευμένα αποκλειστικά στην αγγλική γλώσσα. Ωστόσο, για το θεωρητικό τμήμα της παρούσας εργασίας, χρησιμοποιήθηκαν επίσης και αποσπάσματα από σχετικά βιβλία.

Για τον εντοπισμό της σχετικής βιβλιογραφίας, χρησιμοποιήθηκαν συνδυασμοί λέξεων-κλειδιών που σχετίζονται με τις υποδομές, την παρακολούθηση έργων με drones και την παρακολούθηση έργων με παραδοσιακές μεθόδους, εφαρμοσμένες κάθε φορά σε κατάλληλο πεδίο (στον τίτλο, την περίληψη ή/και τις λέξεις/κλειδιά).

Η αρχική αναζήτηση αποσκοπούσε στον εντοπισμό σχετικών επιστημονικών άρθρων και ανασκοπήσεων και περιλάμβανε τον συνδυασμό «(TITLE(infrastructure* OR

construction) AND TITLE-ABS-KEY(work*) AND TITLE-ABS-KEY(monitored OR inspection) AND TITLE-ABS-KEY(drone* OR UAV*))». Απέδωσε συνολικά 357 αποτελέσματα και μέσω της εφαρμογής φίλτρων περιορισμού (φίλτρο περιορισμού για έτη 2021-2025, φίλτρο εμφάνισης μόνο «Conference paper & review & Conference review»), ο αριθμός των πηγών ανήλθε σε 134. Κατόπιν ενδελεχούς ελέγχου της συνάφειας των περιλήψεων (abstract screening), προέκυψαν 10 αναφορές που αποτέλεσαν τη βάση της μελέτης.

Μια δεύτερη αναζήτηση πραγματοποιήθηκε με τον συνδυασμό «TITLE (infrastructure* OR construction) AND TITLE-ABS-KEY (work*) AND TITLE-ABS-KEY (monitored OR inspection) AND TITLE-ABS-KEY (method*) AND TITLE-ABS-KEY (drone* OR UAV*))» προκειμένου να εντοπιστούν περαιτέρω σχετικές αναφορές, όχι μόνο όσα αποτελούσαν επιστημονικά άρθρα και ανασκοπήσεις. Η αναζήτηση αυτή απέδωσε συνολικά 180 αποτελέσματα και μέσω της εφαρμογής φίλτρων περιορισμού (φίλτρο περιορισμού για έτη 2021-2025, φίλτρο εμφάνισης μόνο αποτελεσμάτων στα Αγγλικά), ο αριθμός των πηγών ανήλθε σε 125. Κατόπιν ενδελεχούς ελέγχου της συνάφειας των περιλήψεων (abstract screening), προέκυψαν 7 αναφορές που αποτέλεσαν τη βάση της μελέτης.

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί συγκριτική αξιολόγηση με τις συμβατικές μεθόδους, διεξήχθη συμπληρωματική αναζήτηση με τη χρήση των όρων «*traditional & manual*». Συγκεκριμένα, η αναζήτηση πραγματοποιήθηκε εφαρμόζοντας τον συνδυασμό «(TITLE (infrastructure* OR construction) AND TITLE-ABS-KEY (work*) AND TITLE-ABS-KEY (monitored OR inspection) AND TITLE-ABS-KEY (traditional method*) OR TITLE-ABS-KEY (manual method*))» και έπειτα από εφαρμογή των φίλτρων ετών και γλώσσας και έλεγχο συνάφειας, επιλέχθηκαν τελικά 8 αναφορές.

Εφαρμόζοντας την τεχνική backward snowballing (Serejo, dos Santos, Silva, & dos Santos, 2025) στα παραπάνω αποτελέσματα, έγινε περαιτέρω ενίσχυση των βιβλιογραφικών αναφορών αφού προστέθηκαν 13 σχετικές πηγές.

Πίνακας 1 - Μεθοδολογία αναζήτησης και αποτελέσματα ανασκόπησης

A/A Αναζήτησης	Λέξεις κλειδιά	Συνολικά Αποτελέσματα	Κριτήριο 1: «2021-2025»	Κριτήριο 2	Τελική επιλογή αναφορών από αυτή την αναζήτηση
1	TITLE(infrastructure* OR construction) AND TITLE-ABS-KEY(work*) AND TITLE-ABS-KEY(monitored OR inspection) AND TITLE-ABS-KEY(drone* OR UAV*)	357	231	Αποτελέσματα για «Conference paper & review & Conference review»=134	10
2	TITLE (infrastructure* OR construction) AND TITLE-ABS-KEY (work*) AND TITLE-ABS-KEY (monitored OR inspection) AND TITLE-ABS-KEY (method*) AND TITLE-ABS-KEY (drone* OR UAV*))	180	129	Γλώσσα Αγγλικά: 125	7
3	TITLE (infrastructure* OR construction) AND TITLE-ABS-KEY (work*) AND TITLE-ABS-KEY (monitored OR inspection) AND TITLE-ABS-KEY (traditional method*) OR TITLE-ABS-KEY (manual method*)	532	325	Γλώσσα Αγγλικά: 296	8
4	Μέθοδος backward snowballing				13

2. Παραδοσιακές Μέθοδοι παρακολούθησης έργων

Οι παραδοσιακές μέθοδοι παρακολούθησης έργων αποτελούν μια ανθρωποκεντρική διαδικασία και περιλαμβάνουν την ανθρώπινη επίβλεψη, χειροκίνητη καταγραφή πληροφορίας και εξαγωγή αποτελεσμάτων - στάδια που απαιτούν αρκετό χρόνο και εργασία ενώ είναι επιρρεπή σε σφάλματα. (Yingdong, Zhijun, Zhijie, & Jun, 2025), (Dilaksha, Ranadewa, Weerasooriya, Parameswaran, & Weerakoon, 2024)

2.1. Διακριτά στάδια

Η διαδικασία αυτή, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 3, αποτελείται από τα παρακάτω στάδια (Rehman, Shafiq, Ullah, & Ahmed, 2023):

➤ Προγραμματισμός παρακολούθησης εργασιών και χρονοδιαγράμματος

Ο προγραμματισμός εργασιών ενός έργου, είτε είναι χρονικός, είτε αφορά οικονομικούς, ανθρώπινους ή υλικούς πόρους, προκύπτει από τους μηχανικούς του Τμήματος Προγραμματισμού (Planning Department) έπειτα από λεπτομερή μελέτη των σχεδίων του έργου, των πινάκων ποσοτήτων (Bill Of Quantities), των προδιαγραφών σχεδιασμού και των ζητούμενων χρονικών οροσήμων (Milestones). Το βασικό και λεπτομερές χρονοδιάγραμμα εργασιών προκύπτει στη συνέχεια από την μελέτη των συμβατικών εγγράφων του έργου και είναι αυτό που θα χρησιμοποιηθεί έπειτα ως σημείο αναφοράς για τον εντοπισμό τυχόν αποκλίσεων. Σε αυτό το στάδιο, επίσης, καθορίζονται όλες οι φόρμες που θα απαιτηθούν κατά τη διαδικασία παρακολούθησης.

➤ Συλλογή πληροφοριών

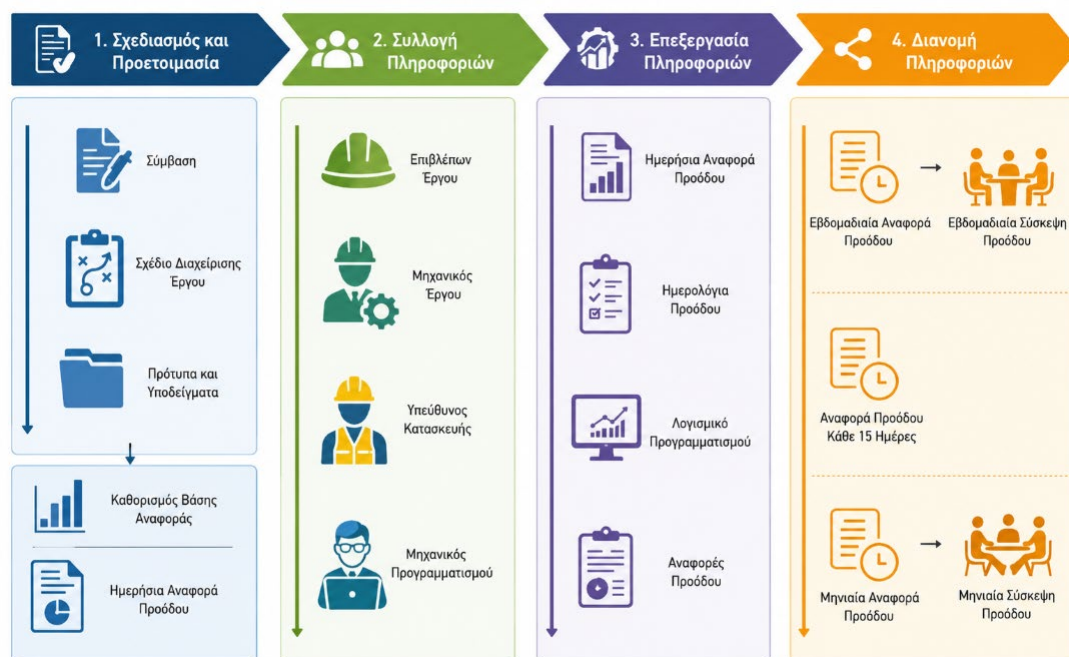
Κατά τις συμβατικές/παραδοσιακές μεθόδους παρακολούθησης, η επιθεώρηση, συλλογή των πληροφοριών, μετρήσεις και αναφορές βασίζονται εξ ολοκλήρου στην ανθρώπινη εργασία. Συγκεκριμένα, οι μηχανικοί που επιθεωρούν τις εργασίες περιηγούνται στο εργοτάξιο, αξιολογούν οπτικά την πρόοδο και με χρήση παραδοσιακών μέσων και εργαλείων λαμβάνουν μετρήσεις και φωτογραφίες χρησιμοποιώντας απλές ψηφιακές κάμερες. (Kaamin, et al., 2023) Καθ' όλη τη διάρκεια του έργου, η ομάδα επιθεώρησης καταγράφει την κατάσταση των κατασκευασμένων τμημάτων με σκοπό να συγκριθούν με το βασικό χρονοδιάγραμμα.

➤ Επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων

Τα δεδομένα που αντλήθηκαν κατά το στάδιο της συλλογής πληροφοριών μεταφέρονται στο γραφείο για περαιτέρω ανάλυση. Εκεί, τα στοιχεία εισάγονται χειροκίνητα σε λογιστικά φύλλα και εκτυπωμένες φόρμες και γίνεται σύγκριση μεταξύ κατασκευασμένων και προγραμματισμένων εργασιών με σκοπό τον εντοπισμό αποκλίσεων (όχι μόνο καθυστερήσεις αλλά και πρόωρες εκτελέσεις) και δημιουργία δεικτών, πχ ποσοστό εκτελεσμένων εργασιών επί των προγραμματισμένων, ποσοστό εκτελεσμένων εργασιών επί των συνολικών, εργατοώρες που καταγράφηκαν μεμονωμένα (ημερησίως) και συσσωρευτικά έως το πέρας της εργασίας, σύγκριση πόρων που χρησιμοποιήθηκαν με τις προγραμματισμένες ποσότητες και δείκτες οικονομικών καταστάσεων.

➤ Ενημέρωση των εμπλεκόμενων μερών

Για τις αποκλίσεις που προκύπτουν (χρονικές, προϋπολογισμού, πόρων) και με βάση τους δείκτες που προέκυψαν στο προηγούμενο στάδιο, συντάσσονται χειροκίνητα ημερήσιες, εβδομαδιαίες, δεκαπενθήμερες και μηνιαίες αναφορές με στοιχεία που αφορούν τις εκτελούμενες εργασίες, εργατοώρες που καταγράφηκαν και εξοπλισμός και πόροι που χρησιμοποιήθηκαν και δημιουργούνται καμπύλες προόδου (S-curves) και αυτές κοινοποιούνται στον πελάτη ή τον σύμβουλο προς ενημέρωση και λήψη ενεργειών. Οι αναφορές αυτές διανέμονται μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών και συζητούνται μέσω τακτικών συναντήσεων προόδου. Από την πλευρά του ο ανάδοχος θα κληθεί να λάβει τα απαραίτητα μέτρα για την διασφάλιση της ολοκλήρωσης του έργου εντός της συμφωνημένης διάρκειας.



Εικόνα 3 - Διαδικασία παρακολούθησης εργασιών (Rehman, Shafiq, Ullah, & Ahmed, 2023)

2.2. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μεθόδου

Οι παραδοσιακές μέθοδοι παρακολούθησης έργων διαθέτουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, τα οποία θα γίνουν πιο κατανοητά και διακριτά έπειτα από την ανάλυση των επόμενων κεφαλαίων και την παρουσίαση της παρακολούθησης με χρήση drone.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα των παραδοσιακών μεθόδων παρακολούθησης, τα οποία τις κάνουν να κυριαρχούν ακόμα στον κατασκευαστικό κλάδο είναι το χαμηλό αρχικό κόστος και η μικρή εμπλοκή τους με νομικά ζητήματα και περιορισμούς. Οι παραδοσιακές μέθοδοι δεν απαιτούν μεγάλες αρχικές επενδύσεις σε ακριβό εξοπλισμό (drones με RTK, αισθητήρες LiDAR) και τη συντήρηση αυτού ή άδειες λογισμικού και προγράμματα φωτογραμμετρίας. (du Plessis & Amoah, 2025) Επιπλέον, δεν απαιτείται ειδικά εκπαιδευμένο και πιστοποιημένο προσωπικό καθώς η παρακολούθηση βασίζεται στις τυπικές τοπογραφικές υπηρεσίες του μηχανικού του έργου.

Αναφορικά με το δεύτερο βασικό πλεονέκτημα που εντοπίζεται στους νομικούς περιορισμούς, οι παραδοσιακές μέθοδοι παρακολούθησης έργων δεν απαιτούν κάποιου είδους ειδική άδεια καταγραφής του περιβάλλοντος χώρου, εφόσον αυτός περιλαμβάνεται εντός των ορίων του έργου, και δεν τίθεται ζήτημα περί παραβίασης

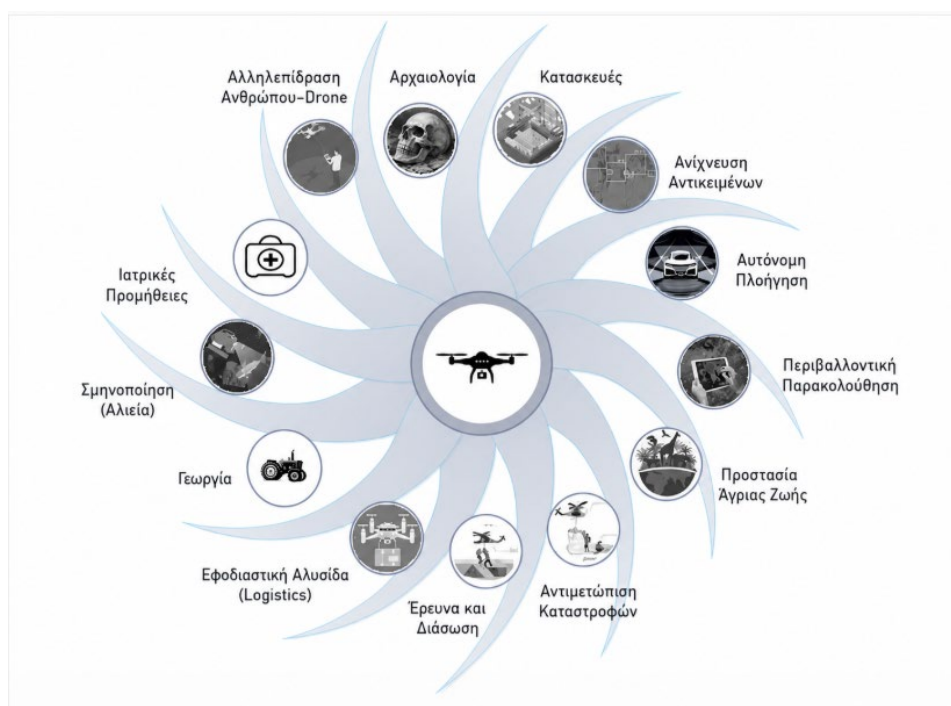
της ιδιωτικότητας των γύρω ιδιοκτησιών. (Villarino, Valenzuela, Antón, Domínguez, & Méndez Cubillos, 2025), (Turan, 2025)

Επιπλέον, σημαντικά πλεονεκτήματα αποτελούν η άμεση επαφή με το εργοτάξιο και η ανεξαρτησία των παραδοσιακών μεθόδων από τις καιρικές συνθήκες και τα τεχνικά ζητήματα. Η ανθρώπινη παρουσία στο εργοτάξιο επιτρέπει την άμεση επικοινωνία με το εργατικό προσωπικό και την επίλυση προβλημάτων σε πραγματικό χρόνο, χωρίς την καθυστέρηση της επεξεργασίας δεδομένων σε γραφείο. Επιπλέον, οι χειροκίνητες επιθεωρήσεις και καταγραφές μπορούν να πραγματοποιηθούν κάτω από συνθήκες βροχής ή ισχυρών ανέμων χωρίς κάποιον τεχνολογικό περιορισμό. (Turan, 2025) Τέλος, οι παραδοσιακές μέθοδοι απομπλέκονται σε μεγάλο βαθμό από προβλήματα όπως δυσλειτουργία εξοπλισμού ή απώλεια σήματος και συνδεσιμότητας.

Ωστόσο, σημαντικό είναι να αναφερθούν και τα μειονεκτήματα της μεθόδου για τη διαμόρφωση ολοκληρωμένης εικόνας. Ένα μειονέκτημα της παραδοσιακής μεθόδου είναι πως η χειροκίνητη συλλογή δεδομένων συχνά δεν διαθέτει προκαθορισμένα σημεία ελέγχου και δεν ακολουθεί ένα αυστηρό πλάνο επιθεώρησης, γεγονός που αυξάνει τα σφάλματα στην παρακολούθηση των κατασκευασμένων στοιχείων. (Serejo, dos Santos, Silva, & dos Santos, 2025) Επιπλέον, όπως αναφέρθηκε η πρόοδος εκτιμάται οπτικά επομένως βασίζεται στην υποκειμενική αξιολόγηση του επιβλέποντος και ενδέχεται να αντιμετωπιστούν με μεροληψία οι συλλεγόμενες πληροφορίες. (Yingdong, Zhijun, Zhijie, & Jun, 2025) Βασικό ζήτημα αποτελεί η ακρίβεια μετρήσεων με τις παραδοσιακές μεθόδους η οποία εκτιμάται να είναι επιπέδου δεκάτων (decimeter-level). (Turan, 2025) Ακόμα, πρόκειται για μια χρονοβόρα και περίπλοκη εργασία και συχνά τα αποτελέσματα δεν καλύπτουν πλήρως τις ανάγκες της επιθεώρησης. Για παράδειγμα, η λήψη φωτογραφιών από δυσπρόσιτα σημεία είναι συχνά αδύνατη όταν πρόκειται μεγάλες κατασκευές όπως είναι οι γέφυρες. (Freimuth & König, 2018), (Kaamin, et al., 2023)

3. Καινοτόμες μέθοδοι παρακολούθησης έργων με drones

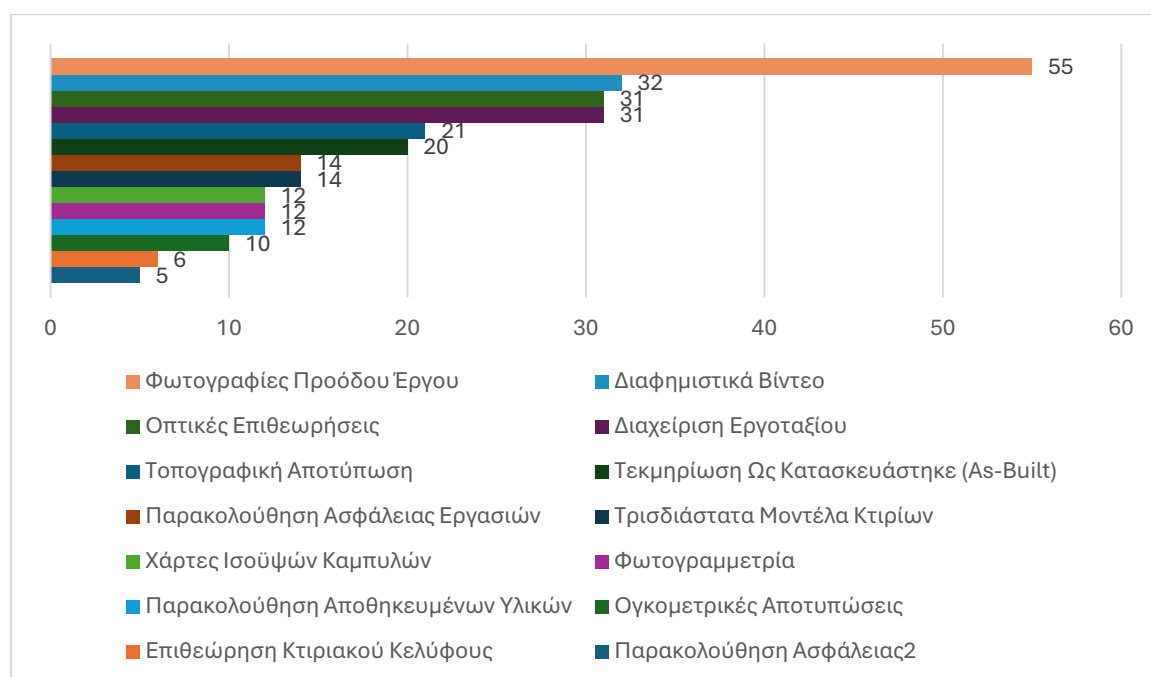
Τα drones βρίσκουν χρήση σε διάφορους τομείς, αναλόγως την εκάστοτε ανάγκη. Πιθανές εφαρμογές τους περιλαμβάνουν την έρευνα, διάσωση και αντιμετώπιση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, τον έλεγχο της οδικής κυκλοφορίας, την υποστήριξη και παρακολούθηση έργων υποδομών, την αεροφωτογράφιση, την προστασία των δασών και παρακολούθηση πυρκαγιών, την παρακολούθηση εγκαταστάσεων υψηλού κινδύνου (πχ διυλιστήρια), την επιθεώρηση αγωγών δικτύων ή ακόμα και την υποστήριξη της ακτοφυλακής. (Valavanis & Vachtsevanos, 2015)



Εικόνα 4 - Εφαρμογές των drones (Hashem, Zerdoumi, Jhanjhi, Siddiqi, & Fofou, 2025)

Αναφορικά με την παρακολούθηση έργων στον τομέα των κατασκευών με χρήση drones, το αντικείμενό τους μπορεί να επεκταθεί σε αρκετές πτυχές είτε είναι παρακολούθηση προόδου οδικών έργων, δικτύων κοινής ωφέλειας, γεφυρών και κτηριακών εγκαταστάσεων είτε παρακολούθηση για λόγους ασφάλειας και διαχείρισης εργοταξίου, είτε για την παραγωγή τρισδιάστατου μοντέλου κλπ. Μπορούν να αντικαταστήσουν τις παραδοσιακές και χειροκίνητες μεθόδους διότι εκτελούν την ίδια εργασία πιο αποτελεσματικά, με ασφάλεια και οικονομικά. (Gupta & Nair, 2023). Σύμφωνα με την έρευνα των (Tatum & Liu, 2017) κατά την οποία ερωτήθηκαν 167 Αμερικάνοι για το ποιες είναι οι κύριες λειτουργίες των drones στην κατασκευαστική

εταιρεία που εργάζονταν, αυτοί απάντησαν (Εικόνα 5) πως οι χρήσεις των drones στην κατασκευή κατά αύξουσα σειρά ποσοστού απαντήσεων μπορούν να είναι για παρακολούθηση ασφάλειας, επιθεωρήσεις κελύφους κτιρίου, ογκομετρικές μετρήσεις, παρακολούθηση αποθηκευμένων υλικών, φωτογραμμετρία, παραγωγή χαρτών ισοϋψών, παραγωγή τρισδιάστατων μοντέλων κτιρίων, παρακολούθηση ασφάλειας κατά την εργασία, καταγραφή έργων ως κατασκευάσθη, τοπογραφικές μετρήσεις, διαχείριση εργοταξίου, οπτικοί έλεγχοι, προωθητικά/διαφημιστικά βίντεο, με επικρατέστερη επιλογή την καταγραφή φωτογραφιών προόδου.



Εικόνα 5 - Χρήσεις drones στην κατασκευή (Tatum & Liu, 2017)

Πριν από την ανάλυση της παρακολούθησης έργων κατά την κατασκευή, αρκετά σημαντικό ρόλο παίζει η επιλογή της κατάλληλης τοποθεσίας του έργου. Χρησιμοποιώντας τα drones για άντληση δεδομένων και πληροφοριών από αεροφωτογραφίες υψηλής ανάλυσης και βίντεο των πιθανών τοποθεσιών από διαφορετικές γωνίες και υψόμετρα, η διοίκηση του έργου αξιολογεί την τοπογραφία, τυχόν υφιστάμενες κατασκευές, τα όρια του έργου, την προσβασιμότητα, την εύκολη μετακίνηση στα κοντινά μέσα μεταφοράς και τις γειτονικές υποδομές. Με αυτό τον τρόπο εντοπίζονται ευκολότερα τυχόν περιορισμοί ή προκλήσεις που σχετίζονται με την χωροθέτηση του εργοταξίου και την πρόσβαση σε αυτό, παράγοντες που

επηρεάζουν τις κατασκευαστικές δραστηριότητες, όπως πχ την μεταφορά υλικών και εξοπλισμού. (Choi, Kim, Kim, & Na, 2023)

Μια ακόμα καταγραφή των χρήσεων των drones, αυτή τη φορά κατά την φάση της κατασκευής, αναλύθηκε από τους (Choi, Kim, Kim, & Na, 2023) οι οποίοι αντιστοίχησαν σε ποσοστά το κάθε αντικείμενο (βλ. Εικόνα 6) με επικρατέστερη χρήση την υποστήριξη σε επιχειρήσεις διάσωσης η οποία πραγματοποιείται με χρήση θερμικών καμερών για εντοπισμό των εγκλωβισμένων.



Εικόνα 6 - Ποσοστιαία κατανομή χρήσεων των drones στη φάση της κατασκευής (Choi, Kim, Kim, & Na, 2023)

Η χρήση των drones αποτελεί ένα ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο για την επίβλεψη καθώς είναι πιο γρήγορα από τον άνθρωπο, έχουν ευκολότερη πρόσβαση σε δυσπρόσιτες περιοχές και με την χρήση συνοδευτικού εξοπλισμού όπως αισθητήρες, κάμερες και συσκευές εντοπισμού θέσης μπορούν να μεταφέρουν γρήγορα και αξιόπιστα την εικόνα του εργοταξίου στην ομάδα του έργου. (Gupta & Nair, 2023)

Μια ακόμη σημαντική πτυχή της παρακολούθησης έργων με χρήση drones αποτελεί η επίβλεψη των συνθηκών υγείας και ασφάλειας του εργοταξίου. Η ασφάλεια των εργατών στα κατασκευαστικά έργα βρίσκεται συνεχώς σε κίνδυνο και αυτό έχει επισημανθεί ιδιαίτερα από τα νούμερα που ακολουθούν τα οποία σύμφωνα με τους (Gupta & Nair, 2023) εφιστούν την ανάγκη παρακολούθησης και λήψης μέτρων:

- Στην Κίνα από το 2011 έως το 2017 καταγράφηκαν 4.766 θάνατοι στον κατασκευαστικό κλάδο το οποίο αντιστοιχεί σε 1,87 θάνατοι τη μέρα.
- Στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής από το 2003 έως το 2010 καταγράφηκαν 2.210 θάνατοι στον κατασκευαστικό κλάδο οι οποίοι προέκυψαν από τραυματισμούς στο κεφάλι.
- Στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής το 2014 καταγράφηκε ποσοστό 18% θανάτων στον κατασκευαστικό κλάδο.

Τα παραπάνω νούμερα αποτελούν αποδείξεις για την αναγκαιότητα της παρακολούθησης των μέτρων ασφαλείας στα εργοτάξια και την θέσπιση αυστηρών κανονισμών και κουλτούρας.

Πέρα από την απλή παρακολούθηση της ασφάλειας, τα drones δύνανται να συμβάλουν ουσιαστικά στην προστασία του χώρου και του εργοταξίου, παρέχοντας δυνατότητες επιτήρησης. Εξοπλισμένα με κάμερες και αισθητήρες, έχουν τη δυνατότητα να ελέγχουν την περίμετρο και να εντοπίζουν ενδεχόμενες μη εξουσιοδοτημένες εισόδους. (Choi, Kim, Kim, & Na, 2023)

Επιπλέον, η χρήση των drones μπορεί να βρει εφαρμογές στην διαχείριση των πόρων. Με χρήση αυτοματοποιημένων τεχνολογιών αναγνώρισης αντικειμένων είναι εφικτός ο εντοπισμός πόρων σε εσωτερικούς ή εξωτερικούς χώρους και η παρακολούθηση της κίνησής τους. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει τον εύκολο εντοπισμό της θέσης πόρων, την καταγραφή της κίνησής τους και την λήψη τυχόν διορθωτικών ενεργειών στα πλαίσια της συνολικής διαχείρισης του έργου. (Gupta & Nair, 2023) Επίσης, τα drones χρησιμοποιούνται στην κατασκευή για παράδοση υλικών γρήγορα και αποτελεσματικά, μειώνοντας τον χρόνο και το κόστος που σχετίζονται με τις παραδοσιακές μεθόδους παράδοσης. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε περιοχές με περιορισμένη πρόσβαση ή όπου δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν βαριά μηχανήματα. (Choi, Kim, Kim, & Na, 2023)

3.1. Τύποι drones

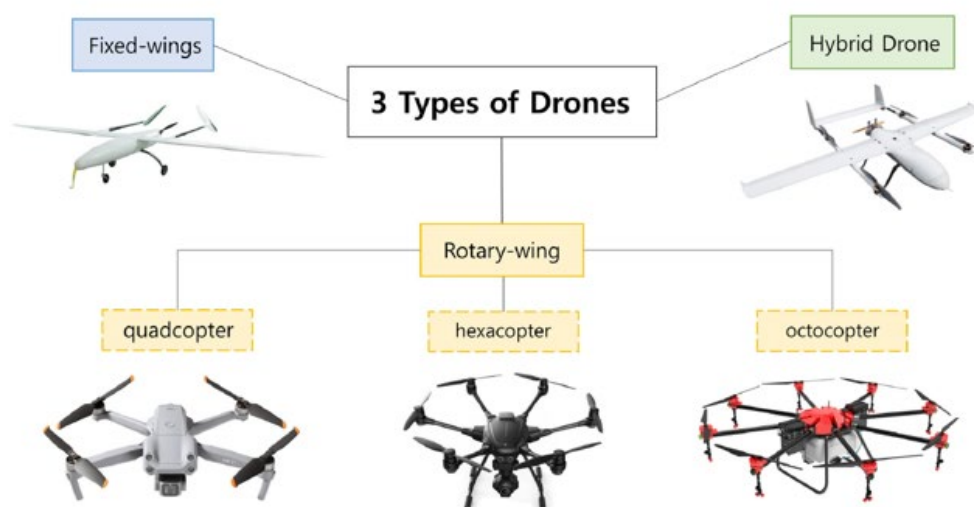
Ο προγραμματισμός της πτήσης, η επιλογή του τύπου και πλήθους των drones καθώς και των αισθητήρων που θα χρησιμοποιηθούν αποτελούν παράμετροι οι οποίοι πρέπει να εξεταστούν πριν από οποιαδήποτε αποστολή και εξαρτώνται από τις ανάγκες του

έργου και το επιθυμητό αποτέλεσμα. Κάθε τύπος drone έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και η επιλογή του θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη αυτές τις παραμέτρους. Επιπλέον χαρακτηριστικά που επηρεάζουν τα συλλεγόμενα δεδομένα και πρέπει να εξεταστούν εκ των προτέρων είναι το ύψος πτήσης, ο προσανατολισμός και γωνία λήψης, η περιοχή και ώρα πτήσης καθώς και οι καιρικές συνθήκες. (Liang, Lee, Bae, Kim, & Seo, 2023)

Αναφορικά με τους τύπους των drone, αυτά κατηγοριοποιούνται με βάση την μορφολογία/ανατομία τους, το μέγεθος και το είδος της χρήσης για την οποία προορίζονται.

Ταξινόμηση με βάση την μορφολογία:

Η ταξινόμηση αυτή αποτελεί την πιο συνήθη κατηγοριοποίηση και διακρίνεται στους παρακάτω τύπους.



Εικόνα 7 - Ταξινόμηση drone με βάση την μορφολογία (Choi, Kim, Kim, & Na, 2023)

Συγκεκριμένα:

➤ Σταθερών πτερυγίων (fixed-wing):

Ο τύπος αυτός μοιάζει αρκετά με τα κοινά αεροπλάνα και για την απογείωση απαιτεί μια αρχική ταχύτητα και διάδρομο απογείωσης/προσγείωσης ή χρήση εκτοξευτή. Έχει υψηλή αυτονομία του χρόνου πτήσης και καλύπτει μεγάλες

εκτάσεις, χαρακτηριστικά που τα καθιστούν ιδανικά όταν πρόκειται για μεγάλης κλίμακας έργα τοπογραφικής αποτύπωσης και χαρτογράφησης, παρακολούθηση κατασκευαστικών έργων. (Choi, Kim, Kim, & Na, 2023), (Villarino, Valenzuela, Antón, Domínguez, & Méndez Cubillos, 2025), (Liang, Lee, Bae, Kim, & Seo, 2023)



Εικόνα 8 - Drone σταθερών πτερυγίων (Liang, Lee, Bae, Kim, & Seo, 2023)

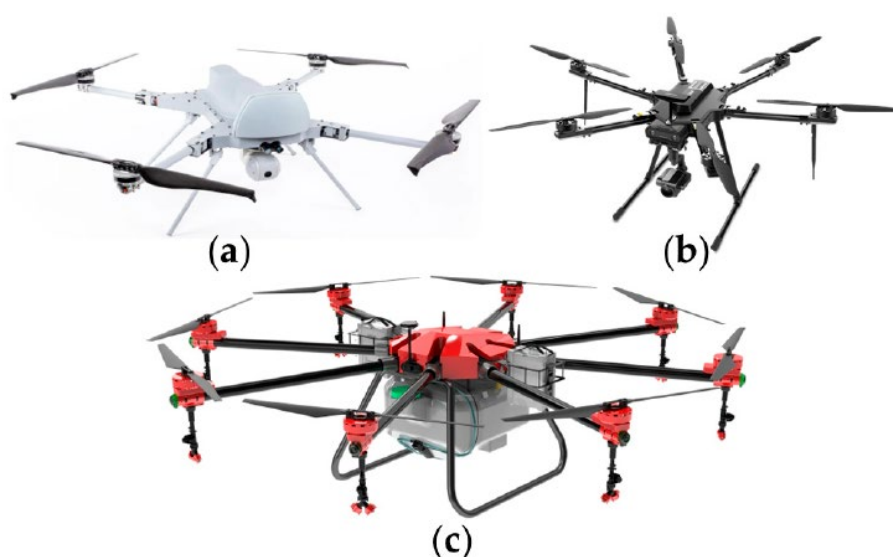
Πίνακας 2 - Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα drone σταθερών πτερυγίων

Σταθερών πτερυγίων	
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Μεγάλη διάρκεια, μεγάλη εμβέλεια	Όχι τόσο ευέλικτα όσο αυτά με περιστρεφόμενα πτερύγια
Γρηγορότερο από περιστρεφόμενων πτερυγίων	Δυσκολότερα στον χειρισμό
	Απαιτείται πιο εξειδικευμένος εξοπλισμός

➤ Περιστρεφόμενων πτερυγίων (rotary-wing ή Multi-rotor)

Ο τύπος αυτός είναι ο πιο διαδεδομένος στην αγορά. (Villarino, Valenzuela, Antón, Domínguez, & Méndez Cubillos, 2025) Μπορεί να χωριστεί σε υποκατηγορίες, ανάλογα με τον αριθμό των μοτέρ (ρότορες) που διαθέτουν: helicopters, tricopters (3), Quadcopters (4), Hexacopters (6) και Octocopters (8), με τυπική περίπτωση αυτή του Quadcopters (4). Η βασική τους διαφορά με τα drones σταθερών πτερυγίων είναι πως μπορούν να παραμείνουν σταθερά στον αέρα σε κάποιο σημείο. Ανάλογα με το μέγεθός

τους, μπορούν να αντέξουν και μεγαλύτερα φορτία όπως για παράδειγμα μια κάμερα υψηλής ανάλυσης. Ως προς την λειτουργία τους, η απογείωση και προσγείωσή τους είναι κατακόρυφη (VTOL:vertical takeoff and landing), είναι κατάλληλα για περιπτώσεις περιορισμένου χώρου όπου απαιτείται μεγάλη ευελιξία και είναι εύκολα στον χειρισμό. Τα βασικά μειονεκτήματά τους, όπως προαναφέρθηκαν είναι πως έχουν μειωμένη εμβέλεια (έως λίγα χιλιόμετρα) και ταχύτητα (έως περίπου 60χλμ/ώρα) από τα σταθερών πτερυγίων. (Liang, Lee, Bae, Kim, & Seo, 2023), (Choi, Kim, Kim, & Na, 2023), (Caballero-Martin, Lopez-Guede, Estevez, & Grana, 2024), (Hu & Assaad, 2023), (Villarino, Valenzuela, Antón, Domínguez, & Méndez Cubillos, 2025)



Εικόνα 9 - Drone περιστρεφόμενων πτερυγίων: (a) quadcopters, (b) hexacopters και (c) octocopters (Liang, Lee, Bae, Kim, & Seo, 2023)

Πίνακας 3 - Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα drone περιστρεφόμενων πτερυγίων

Περιστρεφόμενων πτερυγίων	
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Πολύ ευέλικτα και κατάλληλα για περιορισμένους χώρους, κατακόρυφη απογείωση και προσγείωση	Μειωμένη εμβέλεια και ταχύτητες σε σχέση με το σταθερό πτερυγίων
Εύκολα στον χειρισμό	Μικροί χρόνοι πτήσης
Πιο οικονομικό από το σταθερό πτερυγίων	Μικρότερη αντοχή φορτίων σε σχέση με το σταθερό πτερυγίων

➤ Υβριδικά (hybrid)

Ο τύπος αυτός συνδυάζει τα χαρακτηριστικά των δύο προηγούμενων τύπων. Συγκεκριμένα, συνδυάζουν την μεγάλη εμβέλεια και ταχύτητα των σταθερών πτερυγίων με την κάθετη απογείωση και προσγείωσή των περιστρεφόμενων. Βασικό πλεονέκτημα των υβριδικών drones είναι η ευελιξία τους. Χρησιμοποιούνται για την τοπογραφική παρακολούθηση και έλεγχο, χαρτογράφηση και παράδοση αντικειμένων. Επίσης, μπορούν να αντέξουν βάρη μεγαλύτερα από τους δύο παραπάνω τύπους, γεγονός που τα καθιστά ικανά στο να εξοπλιστούν με ποικίλους αισθητήρες και λοιπό εξοπλισμό. Τα μειονεκτήματά του είναι το υψηλότερο κόστος, απαιτητική συντήρηση και περισσότερο εξειδικευμένος χειρισμός σε σύγκριση με τους προηγούμενους τύπους καθώς και η ευαισθησία του στις καιρικές συνθήκες. (Liang, Lee, Bae, Kim, & Seo, 2023), (Choi, Kim, Kim, & Na, 2023), (Villarino, Valenzuela, Antón, Domínguez, & Méndez Cubillos, 2025)



Εικόνα 10 - Υβριδικά drones (Liang, Lee, Bae, Kim, & Seo, 2023)

Πίνακας 4 - Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα υβριδικών drone

Υβριδικά	
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Πολύ ευέλικτα	Ακριβότερα σε σχέση με τα δύο παραπάνω
Κατακόρυφη απογείωση και προσγείωση	Δυσκολότερα στον χειρισμό
Μεγάλη εμβέλεια	Απαιτείται πιο εξειδικευμένη εκπαίδευση
Μεγάλες ταχύτητες	Πιο απαιτητική συντήρηση
Αντοχή σε μεγαλύτερα βάρη	Περισσότερο ευαίσθητα σε καιρικές συνθήκες

Στην βιβλιογραφία αναφέρονται επιπλέον τύποι drones, όχι όμως τόσο διαδεδομένοι όσο οι βασικές 3 πρώτες κατηγορίες:

- drones μιμούμενα το φτερούγισμα πουλιών και εντόμων κατά το πέταγμα, πχ ορνιθόπτερα (Moschetta & Namuduri, 2017)
- αεροσκάφη ελαφρύτερα από τον αέρα (Lighter-than-air systems) με σημαντικά υψηλότερη αντοχή σε σχέση με άλλα συστήματα (Valavanis & Vachtsevanos, 2015)

Άλλα είδη ταξινόμησης

Τα drones μπορούν να ταξινομηθούν σε διάφορες ακόμα κατηγορίες, ανάλογα με την φύση της ανάλυσης. Για παράδειγμα, κατηγοριοποίηση με βάση τη μάζα/βάρος, την εμβέλεια, το ύψος πτήσης, την διάρκεια πτήσης, την εξάρτηση από τον χειριστή, τον τομέα χρήσης. (Valavanis & Vachtsevanos, 2015) Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνεται η σύγκριση διαφόρων τύπων με βάση τη μάζα/βάρος, την εμβέλεια, το ύψος πτήσης και την διάρκεια πτήσης.

Πίνακας 5 - Κατηγοριοποίηση drones με βάση το βάρος, την εμβέλεια, το ύψος και τη διάρκεια πτήσης (Valavanis & Vachtsevanos, 2015)

	Μάζα (kg)	Εμβέλεια (km)	Ύψος πτήσης (m)	Αντοχή (h)
Μικρο (Micro)	<5	<10	250	1
Μίνι (Mini)	<20/25/30/150 ^a	<10	150/250/300	<2
Τακτικά				
Μικρού Βεληνεκούς (CR)	25–150	10–30	3.000	2–4
Βραχείας Εμβέλειας (SR)	50–250	30–70	3.000	3–6
Μεσαίας Εμβέλειας (MR)	150–500	70–200	5.000	6–10
Μεσαίας Εμβέλειας Μεγάλης Αντοχής (MRE)	500–1.500	>500	8.000	10–18
Χαμηλού Ύψους Μεγάλης Διείσδυσης (LADP)	250–2.500	>250	50–9.000	0,5–1
Χαμηλού Ύψους Μεγάλης Αντοχής (LALE)	15–25	>500	3.000	>24
Μεσαίου Ύψους Μεγάλης Αντοχής (MALE)	1.000–1.500	>500	3.000	24–48
Στρατηγικά				
Υψηλού Ύψους Μεγάλης Αντοχής (HALE)	2.500–5.000	>2.000	20.000	24–48
Στρατοσφαιρικά (Strato)	>2.500	>2.000	>20.000	>48
Εξω-στρατοσφαιρικά (EXO)	TBD	TBD	>30.500	TBD
Ειδικών Αποστολών				
Μη Επανδρωμένα Μαχητικά Αεροσκάφη (UCAV)	>1.000	1.500	12.000	2
Φονικά (LET)	TBD	300	4.000	3–4
Δολώματα (DEC)	150–250	0–500	50–5.000	<4

^a Ποικίλλει ανάλογα με τους εθνικούς νομικούς περιορισμούς.

Με βάση τους τομείς εφαρμογής, τα drones μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παρακολούθηση κατασκευών, ασφάλειας εργοταξίων, έλεγχο ασφάλειας και συντήρησης έργων (πχ γέφυρες), τοπογραφικές αποτυπώσεις και χαρτογραφήσεις, γεωργικό έλεγχο καλλιεργειών και ψεκασμούς, διάσωση και εντοπισμό αγνοουμένων σε καταστροφές, έλεγχο και μεταφορά φορτίων εφοδιαστικής αλυσίδας με μεγάλη σημαντικότητα στην μεταφορά ιατρικών φαρμάκων. (Hu & Assaad, 2023), (Choi, Kim, Kim, & Na, 2023), (Gautam & Johari, 2023), (Caballero-Martin, Lopez-Guede, Estevez, & Grana, 2024), (Hashem, Zerdoumi, Jhanjhi, Siddiq, & Foufou, 2025)

Ανάλογα με τις ανάγκες του αντικειμένου προς παρακολούθηση, θα πρέπει να επιλέγεται ο κατάλληλος τύπος drone και συνοδευόμενου εξοπλισμού, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τα πλεονεκτήματα όσο και τα μειονεκτήματα του καθενός.

3.2. Τύποι αισθητήρων

Τα drones, χωρίς τον εξοπλισμό τους με αισθητήρες, έχουν αρκετά περιορισμένες δυνατότητες. Για αυτό τον λόγο και με βάση την ανάγκη του έργου, αυτά εξοπλίζονται με ενσωματωμένους ή μη αισθητήρες οι οποίοι έχουν κύριο ρόλο την οπτική απεικόνιση του περιβάλλοντος ή τον προσδιορισμό θέσης του drone. (Villarino, Valenzuela, Antón, Domínguez, & Méndez Cubillos, 2025) Επομένως, είναι ιδιαίτερα χρήσιμοι για τα έργα κατασκευών. Συγκεκριμένα, διακρίνονται οι παρακάτω τύποι (Liang, Lee, Bae, Kim, & Seo, 2023):

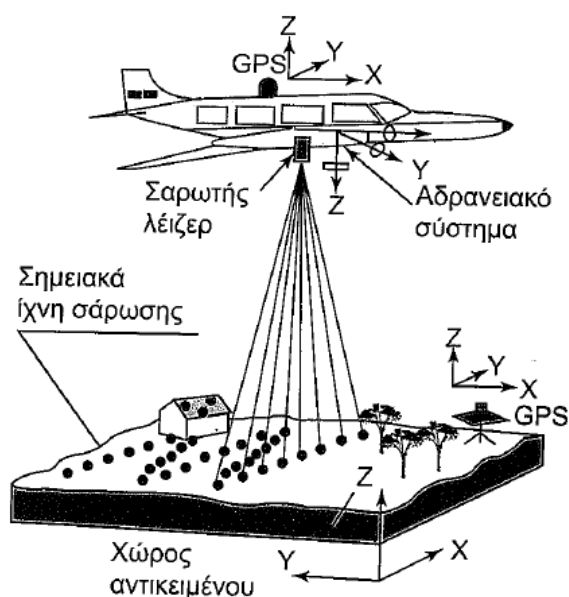
- Αισθητήρας ορατού φωτός (Visible light sensor ή αλλιώς RGB-red/green/blue sensors)

Οι αισθητήρες ορατού φωτός (Εικόνα 12a) καταγράφουν εικόνες υψηλής ανάλυσης και λεπτομέρειας, στο φάσμα που βλέπει το ανθρώπινο μάτι. Χρησιμοποιούνται για οπτική επιθεώρηση, φωτογραμμετρία και παρακολούθηση εργοταξίων. Είναι ευρέως διαθέσιμοι στην αγορά και οικονομικοί και δεν απαιτούν ιδιαίτερες ανάγκες εκπαίδευσης για την χρήση τους. Μειονεκτήματα αποτελούν α) η χαμηλή ευκρίνεια της λήψης σε περιπτώσεις σκοτεινού ή νεφώδους περιβάλλοντος, β) η φωτοευαισθησία του αισθητήρα καθώς με την αλλαγή της φωτεινότητας μεταξύ της ίδιας ή και διαφορετικών πτήσεων το ίδιο αντικείμενο μπορεί να παρουσιάσει μεταβολές στην απεικόνισή του και γ) η ευαισθησία του αισθητήρα στις

αντανάκλασεις (πχ επιφάνειες από γυαλί ή μέταλλο) και επομένως η τελική απεικόνιση προκύπτει θολή και με μειωμένη ευκρίνεια.

- LiDAR (Light Detection and Ranging)

Οι αισθητήρες LiDAR (Εικόνα 12b) (στα ελληνικά φωτοτοβολιστική ανίχνευση και απόστασης) μετρούν την απόσταση έως το έδαφος εκπέμποντας φωτεινούς παλμούς λέιζερ (Εικόνα 11). Συγκεκριμένα, λειτουργούν καταγράφοντας τον απαιτούμενο χρόνο επιστροφής του λέιζερ στην πηγή. Έτσι, υπολογίζεται η απόσταση του αντικειμένου ενώ η ένταση του παλμού δίνει πληροφορίες για τις ιδιότητες του αντικειμένου. (Χατζόπουλος & Χατζοπούλου, 2025) Οι αισθητήρες LiDAR τελικώς δημιουργούν ένα υψηλής ανάλυσης 3D μοντέλο του εργοταξίου. Παρέχουν ακρίβεια εκατοστών και μπορούν να θεωρηθούν όργανα υψηλής ακρίβειας. Για την εύρυθμη λειτουργία τους, απαιτούν καλές καιρικές συνθήκες και λειτουργούν το ίδιο αξιόπιστα μέρα και νύχτα. Παρόλα αυτά, έχουν και κάποια μειονεκτήματα. Ένα από αυτά είναι το ότι οι αισθητήρες LiDAR έχουν υψηλό κόστος αγοράς, συντήρησης και χειρισμού. Δεύτερο μειονέκτημα αποτελεί το μικρό εύρος λήψης τους το οποίο περιορίζεται στα 100μ. Αυτό σημαίνει πρακτικά πως σε ένα έργο με έντονη παρουσία υψηλών κτηρίων, αυτά ενδεχομένως να εμποδίζουν την ακτίνα μέτρησης με λέιζερ επομένως θα χρειαστούν περισσότερα drones για να καλύψουν πλήρως το έργο.



Εικόνα 11 - Σάρωση εδάφους με λέιζερ (LiDAR), (Χατζόπουλος & Χατζοπούλου, 2025)

- Θερμικές κάμερες (TI-Thermal imaging)

Οι θερμικές κάμερες (Εικόνα 12c) ανιχνεύουν και οπτικοποιούν την θερμική ενέργεια που εκπέμπουν αντικείμενα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό ενεργειακών και ηλεκτρικών διαρροών. Συγκεκριμένα, εντοπίζουν ζητήματα σε μονώσεις, διαρροές αέρα και εισχωρήσεις υγρασίας τα οποία είναι ιδιαίτερα χρήσιμα σε κτηριακές κατασκευές καθώς μπορούν να μειώσουν τον απαιτούμενο χρόνο, κόστος και ενέργεια σε περίπτωση που δεν εντοπιστούν εγκαίρως. Επιπλέον, οι θερμικές κάμερες έχουν την δυνατότητα να εντοπίσουν θερμικές ανωμαλίες που οφείλονται σε στατικά προβλήματα κτηρίων, όπως ρωγμές σε τοίχους, δάπεδα ή πλάκα οροφής. Όπως όλα τα τεχνολογικά προϊόντα, έτσι και οι θερμικές κάμερες έχουν κάποια μειονεκτήματα που απαιτούν ιδιαίτερη μεταχείριση κατά την χρήση τους. Οι θερμικές κάμερες είναι αρκετά ευαίσθητες στην κίνηση. Αυτό σημαίνει πως οποιαδήποτε δόνηση ή κίνηση προκληθεί από το drone στο οποίο βρίσκονται, θα προκαλέσει εικόνες χαμηλότερης ανάλυσης και ευκρίνειας. Δεύτερος περιορισμός κατά την χρήση θερμικών καμερών είναι πως αυτές έχουν μικρό εύρος κάλυψης, επομένως κατά την παρακολούθηση μεγάλων έργων απαιτείται μεγαλύτερο πλήθος σκαναρισμάτων. Τέλος, σε πολλές περιπτώσεις οι θερμικές κάμερες αδυνατούν να εντοπίσουν την πηγή από την οποία προκύπτει η θερμική διαρροή, λόγω ύπαρξης πολλών πηγών στο συγκεκριμένο σημείο. Έτσι, κατά την παρακολούθηση ενός κτηριακού έργου όπου ο εντοπισμός τέτοιων πηγών διαρροής είναι εξαιρετικά σημαντικός, η αδυναμία εντοπισμού της πηγής διαρροής θα αποτελέσει μια πρόκληση.

- Αισθητήρες Πλοήγησης και θέσης (GPS-Global positioning system και RTK-real-time kinematic)

Οι αισθητήρες γεωπροσανατολισμού και θέσης (Εικόνα 12d) παρέχουν δεδομένα θέσης του drone στον χώρο και βοηθούν στην πλοήγησή του στο εργοτάξιο. Λειτουργώντας με σήματα λαμβανόμενα από το δίκτυο των δορυφόρων GPS, δίνουν την θέση του drone σε πραγματικό χρόνο και με ακρίβεια εκατοστών. Συνδυάζοντάς τα με κάποιον από τους παραπάνω αισθητήρες, πχ LiDAR ή κάμερες, παρέχουν μια πιο ολοκληρωμένη απεικόνιση του εργοταξίου. Ωστόσο, δεδομένου ότι λαμβάνουν σήματα από δίκτυο δορυφόρων, είναι σύνηθες να παρουσιάσουν παρεμβολές οι οποίες οφείλονται σε διάφορους παράγοντες όπως οι

ατμοσφαιρικές συνθήκες, ψηλά κτήρια ή δέντρα. Ένας άλλος περιορισμός των αισθητήρων GPS και RTK εξαρτάται από την υποδομή που τους υποστηρίζει, όπως η διαθεσιμότητα σταθμών αναφοράς ή η ποιότητα της σύνδεσης επικοινωνίας με την βάση τους (base station). Αυτό μπορεί να προκαλέσει περιορισμούς στη χρήση τους σε απομακρυσμένες περιοχές και να καθυστερήσει ή να αυξήσει το κόστος επεξεργασίας δεδομένων.



Εικόνα 12 - Αισθητήρες drone χρήσιμοι για την παρακολούθηση έργων: (a) visible light sensor, (b) LiDAR, (c) TI και (d) GPS and RTK. (Liang, Lee, Bae, Kim, & Seo, 2023)

- Πολυφασματικές και Υπερφασματικές Κάμερες

Οι πολυφασματικές και υπερφασματικές κάμερες αποτελούν λιγότερο διαδεδομένους αισθητήρες λόγω της εξειδίκευσής τους. Ανιχνεύουν το φως πέρα από το ορατό φάσμα της ανθρώπινης όρασης και χρησιμοποιείται κυρίως στους γεωργικούς τομείς για εντοπισμό αρρωστιών σε φυτά και καλλιέργειες και γενικότερη παρακολούθηση της υγείας των καλλιεργειών, της υγρασίας και των παρασίτων. (Hashem, Zerdoumi, Jhanjhi, Siddiqa, & Foufou, 2025)

- Άλλοι Εξειδικευμένοι αισθητήρες

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, αναλόγως με την ανάγκη συλλογής δεδομένων και μέτρησης δεικτών, υπάρχουν στην αγορά και επιπλέον εξειδικευμένοι αισθητήρες όπως για παράδειγμα αισθητήρες μέτρησης ποιότητας αέρα και εκπομπών, οι οποίοι

χρησιμοποιούνται σε ηφαιστειογενή περιβάλλοντα και λαμβάνουν συνδυασμένες πληροφορίες θέσης και ποιότητας αέρα. (Valavanis & Vachtsevanos, 2015)

Γενικότερα, ιδιαίτερα σημαντικός είναι ο σχεδιασμός των drones να αποτελείται από στιβαρό συνοδευτικό εξοπλισμό, με καλή στεγανοποίηση και προηγμένα συστήματα πλοήγησης προκειμένου να τους επιτρέψει να αντέχουν σε σκληρές καιρικές συνθήκες και να συνεχίζουν με ασφάλεια τις δραστηριότητές τους σε απαιτητικά περιβάλλοντα. (Choi, Kim, Kim, & Na, 2023)

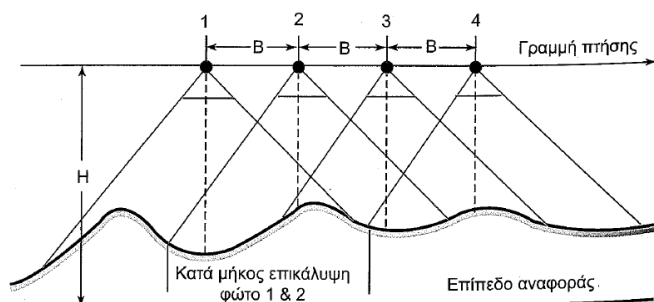
3.3.Επιλογή παραμέτρων

Για την επαρκή και ποιοτική παρακολούθηση έργων με drones απαιτείται προσδιορισμός και σχεδιασμός διάφορων παραμέτρων όπως για παράδειγμα τύπος drone και αισθητήρων, ύψος πτήσης, κατεύθυνση και διαδρομή, ποσοστά επικάλυψης μεταξύ των λήψεων και αριθμός drone. Η ορθή επιλογή του κατάλληλου συνδυασμού των παραπάνω επηρεάζει το αποτέλεσμα σημαντικά - χρονικά, οικονομικά και ποιοτικά. (Liang, Lee, Bae, Kim, & Seo, 2023)

- **Επιλογή τύπου drone και αισθητήρων:** Για την επιλογή του κατάλληλου τύπου drone και αισθητήρων θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η φύση του έργου, η έκταση του εργοταξίου, οι κλιματικές συνθήκες και η πληροφορία που ζητείται να αντληθεί από την παρακολούθηση. Για παράδειγμα, η επιλογή μη βέλτιστου τύπου drone και αισθητήρων για συγκεκριμένο τύπο εργοταξίου και έργων μπορεί να οδηγήσει σε ανεπαρκή διάρκεια πτήσης και μη χρήσιμη εξαγόμενη πληροφορία.
- **Επιλογή ύψους πτήσης:** Η επιλογή ύψους επηρεάζει την ευκρίνεια και το οπτικό πεδίο (FOV – field of view) των αισθητήρων. Ένα μικρό ύψος πτήσης παρέχει μεγαλύτερη λεπτομέρεια αλλά περιορίζει το FOV των αισθητήρων. Το μειονέκτημα της περίπτωσης αυτής είναι πως απαιτείται περισσότερος χρόνος πτήσης και έπειτα επεξεργασίας των φωτογραφιών. Αντιθέτως, ένα μεγαλύτερο ύψος πτήσης μειονεκτεί σε ευκρίνεια και λεπτομέρεια σε σχέση με το μικρότερο ύψος, αλλά διευρύνει το FOV των αισθητήρων, απαιτείται μικρότερος χρόνος πτήσης και πλήθος λήψεων.
- **Επιλογή κατεύθυνσης και διαδρομής:** Τα drones μπορούν να πετάξουν σε διάφορες κατευθύνσεις και σχηματισμούς – παράλληλα, κάθετα ή σε

σπειροειδές μοτίβο γύρω από ένα σημείο ενδιαφέροντος. Η επιλογή του μοτίβου επηρεάζει την έκταση που θα καλυφθεί και την ανάλυση των λήψεων που θα προκύψουν. Επίσης, η επιλογή της διαδρομής θα πρέπει είτε να έχει καθοριστεί εκ των προτέρων είτε σε πραγματικό χρόνο και σε κάθε περίπτωση να είναι τέτοια ώστε να αποφευχθούν εμπόδια. Έτσι λοιπόν, η διαδρομή που θα επιλεγεί θα πρέπει να φροντίζει για την ασφαλή λειτουργία του drone και την επαρκή και ευκρινή αποτύπωση του σημείου ενδιαφέροντος.

- **Επιλογή ποσοστού επικάλυψης:** Η επιλογή του ποσοστού επικάλυψης επηρεάζει την ανάλυση και ευκρίνεια της αποτύπωσης του σημείου ενδιαφέροντος. Όσο μεγαλύτερο ποσοστό επικάλυψης των λήψεων επιλεγεί, τόσο μεγαλύτερη ευκρίνεια θα διαθέτει η λήψη ενώ θα μεγαλώσει σημαντικά το πλήθος λήψεων και ο χρόνος πτήσης. Αντιθέτως, όσο μικρότερο ποσοστό επικάλυψης επιλεγεί, η πτήση θα ολοκληρωθεί σε μικρότερο χρόνο και με λιγότερο όγκο δεδομένων αλλά το σημείο ενδιαφέροντος θα παρουσιάζει μικρότερη ευκρίνεια.



Εικόνα 13 - Λήψεις αεροφωτογραφιών και επικάλυψη (Χατζόπουλος & Χατζοπούλου, 2025)

- **Επιλογή αριθμού drones:** Η επιλογή του αριθμού drones εξαρτάται από την έκταση του εργοταξίου και την ανάγκη παρακολούθησης. Σε περιπτώσεις όπου το μέγεθος του εργοταξίου είναι τέτοιο ώστε να απαιτείται η ταυτόχρονη πτήση drones και η χρήση αισθητήρων ταυτόχρονα, η επιλογή πολλαπλών μη επανδρωμένων αεροσκαφών κρίνεται αναγκαία. Σε γενικές γραμμές ωστόσο, προτείνεται η ελαχιστοποίηση του αριθμού τους τόσο για μείωση λειτουργικών κοστών όσο και για την αύξηση της εναέριας ασφάλειας.

Είναι αντιληπτό, επομένως, πως η επιλογή των παραμέτρων είναι πολυπαραγοντική και θα πρέπει να γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις κύριες παραμέτρους που αναλύθηκαν παραπάνω όσο και δευτερεύουσες όπως για παράδειγμα τις κλιματικές συνθήκες, το διαθέσιμο προσωπικό για χειρισμό των drones και το διαθέσιμο κόστος αγοράς, συντήρησης και εξοπλισμού ενός drone.

3.4. Παρακολούθηση έργων με drones

Η παρακολούθηση της προόδου έργων με τη χρήση drones (UAVs) είναι μια πολυεπίπεδη διαδικασία όπου μέσω αυτοματοποιημένων ροών εργασιών συλλογής και ανάλυσης δεδομένων, έχει ως βασικό στόχο την αντιμετώπιση των δυσκολιών και ελλείψεων των παραδοσιακών και χειροκίνητων μεθόδων παρακολούθησης. Η διαδικασία αυτή επιτρέπει την ακριβή και σε πραγματικό χρόνο καταγραφή της κατάστασης του εργοταξίου και τη σύγκρισή της με τον αρχικό σχεδιασμό, προσδιορίζοντας παράλληλα τυχόν καθυστερήσεις και bottle-necks ενώ καθιστά αποτελεσματικότερη την λήψη έγκαιρων αποφάσεων από την ομάδα κατασκευής για την πορεία των έργων. (Choi, Kim, Kim, & Na, 2023)

Τα drones μπορούν να αποτυπώσουν υψηλής ανάλυσης και ευκρίνειας αεροφωτογραφίες από τις οποίες παράγεται το 3D μοντέλο του εργοταξίου, δίνοντας στους μηχανικούς του έργου μια πολύ καλή αντίληψη του χώρου και των κατασκευασμένων εγκαταστάσεων ή δικτύων. Με την χρήση του κατάλληλου τύπου drone, το οποίο θα επιλεγεί με βάση τα κριτήρια των προηγούμενων παραγράφων και λαμβάνοντας υπόψη τις ανάγκες της παρακολούθησης, χαρτογραφείται η έκταση του εργοταξίου και είναι εφικτή η τοπογραφική του ανάλυση και η διαχείρισή του. Έτσι, με τη σειρά τους οι μηχανικοί του έργου έχοντας τα δεδομένα από τις αποτυπώσεις των drones, μπορούν να βελτιστοποιήσουν την ροή εργασιών, τον συντονισμό των συνεργείων και τη χρήση των πόρων ελαχιστοποιώντας ρίσκα και κινδύνους που προκύπτουν από έλλειψη συντονισμού και μη ασφαλείς συνθήκες.

Από τα παραπάνω, προκύπτει μια ακόμα λειτουργία των drones για τις κατασκευές: η παρακολούθηση της ασφάλειας των συνεργείων και των συνθηκών εργασίας. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με χρήση των φωτογραφιών ή βίντεο για τον εντοπισμό περιστατικών μη ορθής χρήσης μέσων ατομικής προστασίας (πχ έλλειψη κρανών ή ιμάντων σε εργασίες σε ύψος), ασταθών κατασκευών εργασίας (πχ ικριωμάτων),

συντριμμίων και κακών συνθηκών εργοταξίου (πχ εξοπλισμός και εργαλεία τοποθετημένα σε διαδρόμους και προσβάσεις προσωπικού). Προκύπτει, επομένως, πως η διευρυμένη οπτική που παρέχουν οι αεροφωτογραφίες επιτρέπει στους μηχανικούς και λοιπούς εμπλεκόμενους στο έργο να αξιολογήσουν τη συνολική ασφάλεια του χώρου, να εντοπίσουν πιθανούς κινδύνους και να λάβουν τα απαραίτητα προληπτικά μέτρα. (Choi, Kim, Kim, & Na, 2023)



Εικόνα 14 - Εικόνες από drone σε αποστολή επίβλεψης ασφάλειας εργοταξίου στη Χιλή: (a) και (c) απουσία προστατευτικού κιγκλιδώματος, (b) εργάτης σε ύψος χωρίς τη χρήση προστατευτικού μάντα, (Choi, Kim, Kim, & Na, 2023)

Ένα ακόμα χρήσιμο εργαλείο για την παρακολούθηση των έργων, του οποίου η δημιουργία και χρήσεις είναι αλληλένδετα με την χρήση των drones στα έργα, αποτελεί το Ψηφιακό Δίδυμο (Digital Twin-DT). Το DT πρόκειται για ένα υψηλής πιστότητας εικονικό είδωλο, με άλλα λόγια θα περιγραφόταν ως ένας εικονικός «καθρέπτης» (αντίγραφο) ενός φυσικού αντικειμένου, το οποίο αντλεί δεδομένα τόσο σε πραγματικό χρόνο από αισθητήρες και όσο και από ιστορικά δεδομένα. Σε αντίθεση με ένα απλό 3D model, το DT βασίζεται στην ζωντανή και αμφίδρομη ροή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, όπου οι αλλαγές στο φυσικό αντικείμενο επηρεάζουν το ψηφιακό και οι αποφάσεις που λαμβάνονται στο ψηφιακό, μπορούν να καθοδηγήσουν καλύτερα την λειτουργία του φυσικού. Με αυτό τον τρόπο, μέσω του DT είναι εφικτό να

εξεταστούν σενάρια, να προβλεφθούν συμπεριφορές του συστήματος και να βελτιστοποιηθούν οι παράγοντες που επηρεάζουν μια κατάσταση. (Zhang, et al., 2025), (Zhang, Pan, Wu, & Skibniewski, 2021)

Η ενσωμάτωση των παραπάνω τεχνολογιών στις κατασκευές, τόσο της παρακολούθησης με drones όσο και της εφαρμογής ψηφιακών διδύμων, αποτελούν βασικά εργαλεία για την επίτευξη τόσο μιας αποτελεσματικότερης διαχείρισης έργων όσο και των προκαθορισμένων στόχων. (Salem, Dragomir, & Chatelet, 2024) Ωστόσο, η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται κυρίως στη χρήση drones και την παραγωγή των 3D μοντέλων.

3.5.Στάδια παρακολούθησης

Τα ζητούμενα δεδομένα προκύπτουν έπειτα από επαρκή προετοιμασία πριν από κάθε πτήση καθώς και από την ορθή και ποιοτική επεξεργασία των δεδομένων. Έτσι, προκύπτει μια σειρά από διακριτά βήματα/στάδια που είναι απαραίτητα για την ομαλή διεξαγωγή της αποστολής:

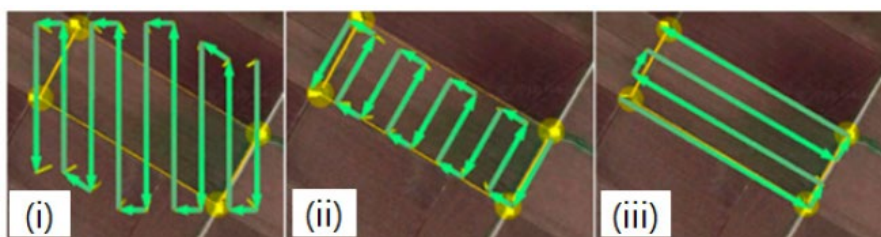
➤ Χορήγηση Αδειών

Η αποστολή πτήσης αεροφωτογραφιών ισοδυναμεί με μεγάλες ευθύνες, τόσο ως προς τους κανόνες πτήσης όσο και προς την απαιτούμενη εκπαίδευση του χειριστή ο οποίος θα πρέπει να έχει την ανάλογη άδεια. Το νομικό πλαίσιο γύρω από την χρήση drones θα αναλυθεί στο επόμενο κεφάλαιο.

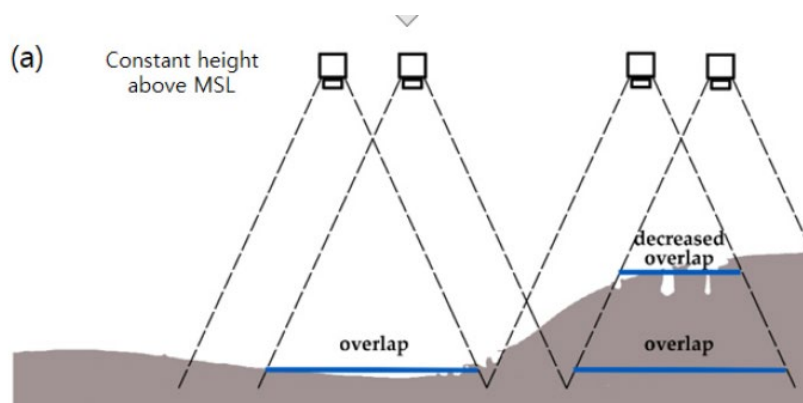
➤ Σχεδιασμός Πτήσης και προετοιμασία

Ο σχεδιασμός της πτήσης και των παραμέτρων αυτής αποτελεί, επίσης, βασικό στάδιο της διαδικασίας. Αρχικά, θα πρέπει να γίνει επίσκεψη του σημείου και διερεύνηση των συνθηκών του εργοταξίου για εντοπισμό τυχόν εμποδίων, ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών, ασθενούς δορυφορικού σήματος ή εκτεταμένων ανέμων. Οι παράγοντες αυτοί θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την παραμετροποίηση της πτήσης. Στη συνέχεια, γίνεται ο σχεδιασμός της πτήσης ο οποίος περιλαμβάνει τον ορισμό της διαδρομής του drone, την τροχιά πτήσης (παράλληλη, κυκλική, ζιγκ-ζαγκ) όπως φαίνεται στην Εικόνα 15, την καταχώρηση των σημείων προς φωτογράφιση (σημεία ελέγχου – waypoints), τα σημεία απογείωσης και προσγείωσης και το ύψος πτήσης και

λήψης αεροφωτογραφιών και ποσοστού επικάλυψης (Εικόνα 16). Το ύψος πτήσης και λήψης των αεροφωτογραφιών καθορίζεται από τον τύπο του drone και της κάμερας που διαθέτει και την ανάγκη αποτύπωσης και αποτελεί βασικό κριτήριο καθώς επηρεάζει το οπτικό πεδίο του drone (FOV) και κατ' επέκταση την ανάλυση και ευκρίνεια της φωτογραφίας. Τέλος, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενες παραγράφους, ο καθορισμός του τύπου του drone θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τόσο το περιβάλλον όσο και τις δυνατότητες του drone. (Tan, Li, Cai, Ma, & Wang, 2022), (Han, Lee, Song, & Cho, 2021)



Εικόνα 15 – Είδη τροχιών πτήσης. (Choi, Kim, Kim, & Na, 2023)



Εικόνα 16 - Επικάλυψη και ύψη λήψεων. (Choi, Kim, Kim, & Na, 2023)

➤ Αποστολή πτήσης και συλλογή δεδομένων

Κατά τη διάρκεια της πτήσης, ο χειριστής διαχειρίζεται από το έδαφος την απογείωση και προσγείωση. (Χατζόπουλος & Χατζοπούλου, 2025) Με τη βοήθεια του εξοπλισμού που αναφέρθηκε παραπάνω, το drone έχει προγραμματιστεί να συλλέξει αυτόματα εναέριες λήψεις και αποτύπωμα του περιβάλλοντος. Όταν ολοκληρωθεί η πτήση και εφόσον έχουν συλλεχθεί τα απαιτούμενα δεδομένα, αυτά επεξεργάζονται με

εξειδικευμένα λογισμικά και δημιουργούνται οι χάρτες, τα μοντέλα και οι ορθοφωτοχάρτες. (Choi, Kim, Kim, & Na, 2023)

➤ Επεξεργασία δεδομένων και 3D Μοντελοποίηση

Η επεξεργασία των δεδομένων γίνεται με τη βοήθεια λογισμικού το οποίο, μέσα από μια σειρά αλγορίθμων, αναγνωρίζει και τοποθετεί στον χώρο τα τρισδιάστατα σημεία που καταγράφηκαν από τις λήψεις και έτσι σχηματίζεται το νέφος σημείων (point cloud). Το νέφος σημείων είναι μια τρισδιάστατη αποτύπωση ενός αντικειμένου ή φυσικού περιβάλλοντος και αποτελείται από ένα σύνολο σημείων στο χώρο που αντιπροσωπεύουν τις τρισδιάστατες συντεταγμένες των σημείων του υπό εξέταση αντικειμένου ή περιβάλλοντος. Εκτός από τη θέση στο χώρο, αυτά τα σημεία μπορεί να περιέχουν και επιπλέον πληροφορίες όπως το χρώμα της σαρωμένης επιφάνειας. (Palomino Ojeda, και συν., 2024)

Τα περισσότερα λογισμικά τρισδιάστατης δημιουργίας μοντέλων χρησιμοποιούν τους αλγορίθμους SIFT (scale-invariant feature transform), SfM (structure-from-motion) και τέλος τον MVS (multi-view stereo). (Jacob-Loyola, Muñoz-La Rivera, Herrera, & Atencio, 2021)

- ✓ Ο αλγόριθμος SIFT είναι το πρώτο βήμα της φωτογραμμετρικής ανακατασκευής. Εφαρμόζεται σε κάθε εικόνα και εξυπηρετεί στην εξαγωγή χαρακτηριστικών σημείων τα οποία είναι εύκολα διακριτά και αναγνωρίσιμα. (Jacob-Loyola, Muñoz-La Rivera, Herrera, & Atencio, 2021)
- ✓ Στο δεύτερο βήμα ακολουθεί ο αλγόριθμος SfM. Ο SfM είναι ένας αλγόριθμος που χρησιμοποιεί πολλαπλές εικόνες του ίδιου αντικειμένου που έχουν ληφθεί από διαφορετικές οπτικές γωνίες και σε διαφορετικά ύψη (Liang, Lee, Bae, Kim, & Seo, 2023) και μέσω της γεωαναφοράς σημείων που λαμβάνονται από το SIFT χρησιμοποιώντας σημεία ελέγχου (control points), δηλαδή σημεία στην επιφάνεια που εμφανίζονται στο σύνολο φωτογραφιών με γνωστές συντεταγμένες και εισάγονται χειροκίνητα στην επεξεργασία, ή χρησιμοποιώντας τις συντεταγμένες θέσης που καταγράφονται από το GPS του drone, δημιουργεί ένα νέφος σημείων. (Jacob-Loyola, Muñoz-La Rivera, Herrera, & Atencio, 2021) Ωστόσο, κατά τη χρήση του αλγορίθμου SfM και σε περιπτώσεις όπου παρουσιάζονται επαναλαμβανόμενα μοτίβα στις

απεικονίσεις, μπορούν να αντιμετωπιστούν δυσκολίες στην επεξεργασία των εικόνων. (Liang, Lee, Bae, Kim, & Seo, 2023), (Rachmawati & Kim, 2022)

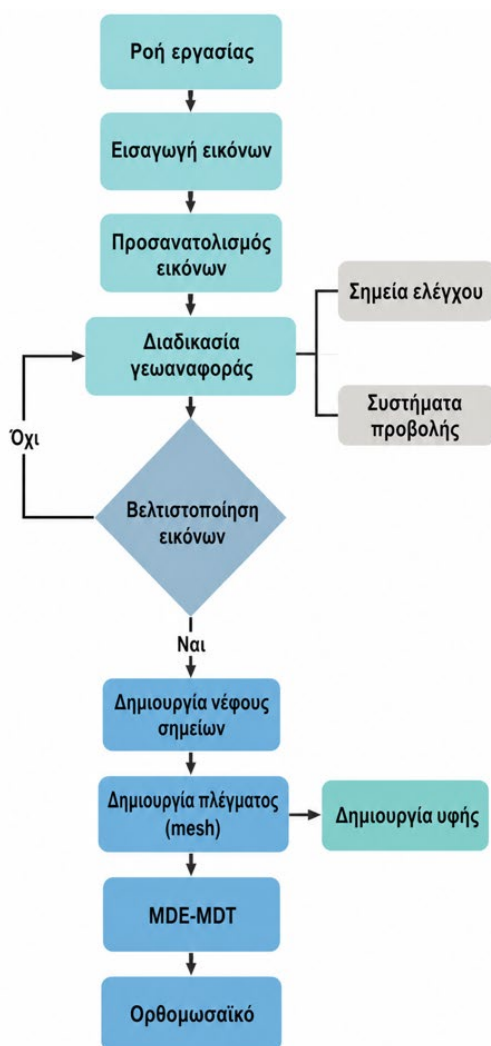
- ✓ Τα προηγούμενα στάδια έρχεται να συμπληρώσει το MVS το οποίο ενισχύει το χαμηλής ποιότητας και αραιό νέφος σημείων της προηγούμενη επεξεργασίας, προσθέτοντας επιπλέον σημεία στο νέφος και δίνοντας έτσι μια πιο ρεαλιστική απεικόνιση. (Jacob-Loyola, Muñoz-La Rivera, Herrera, & Atencio, 2021)

Τα παραδοτέα της παραπάνω επεξεργασίας που προκύπτουν από την εφαρμογή της σειράς των αλγορίθμων SIFT, SfM και MVS είναι η δημιουργία ενός τρισδιάστατου νέφους σημείων, ενός πολυγωνικού πλέγματος (3D mesh) και οι ορθοφωτοχάρτες.



Εικόνα 17 - Τρισδιάστατο νέφος σημείων (αριστερά) και ορθομωσαϊκό (δεξιά), (Choi, Kim, Kim, & Na, 2023)

Το Agisoft 2.0.1 αποτελεί παράδειγμα του παραπάνω λογισμικού επεξεργασίας φωτογραφιών και δημιουργίας νεφών σημείων. Σύμφωνα με τους (Palomino Ojeda, και συν., 2024), το παρακάτω διάγραμμα αποτυπώνει τα διακριτά στάδια επεξεργασίας εικόνων του Agisoft λογισμικού και πρακτικά αναλύονται τα βήματα που έχουν προαναφερθεί.



Εικόνα 18 - Στάδια επεξεργασίας εικόνας στο λογισμικό Agisoft (Palomino Ojeda, και συν., 2024)

➤ Σύγκριση των "As-Built" με "As-Planned"

Η σύγκριση μεταξύ της κατάστασης "As-Built" (ως κατασκευάσθη) και "As-Planned" (ως σχεδιάσθη) αποτελεί τον πυρήνα του σύγχρονου ελέγχου προόδου στα τεχνικά έργα, με το BIM να λειτουργεί ως η απαραίτητη ψηφιακή υποδομή για αυτή τη διαδικασία. Μέσα από αυτή τη διαδικασία επισημαίνονται τυχόν αποκλίσεις τόσο στον σχεδιασμό όσο και στο χρονοδιάγραμμα και τον εκτιμώμενο προϋπολογισμό της κατασκευής. (Serejo, dos Santos, Silva, & dos Santos, 2025)

Το BIM αποτελεί το ψηφιακό μοντέλο ενός έργου ή μιας κατασκευής και εκτός από χωρική πληροφορία μπορεί να ενσωματώσει δεδομένα χρόνου, κόστους, περιβάλλοντος και συντήρησης. Λειτουργεί ως η βάση δεδομένων που επιτρέπει μέσω

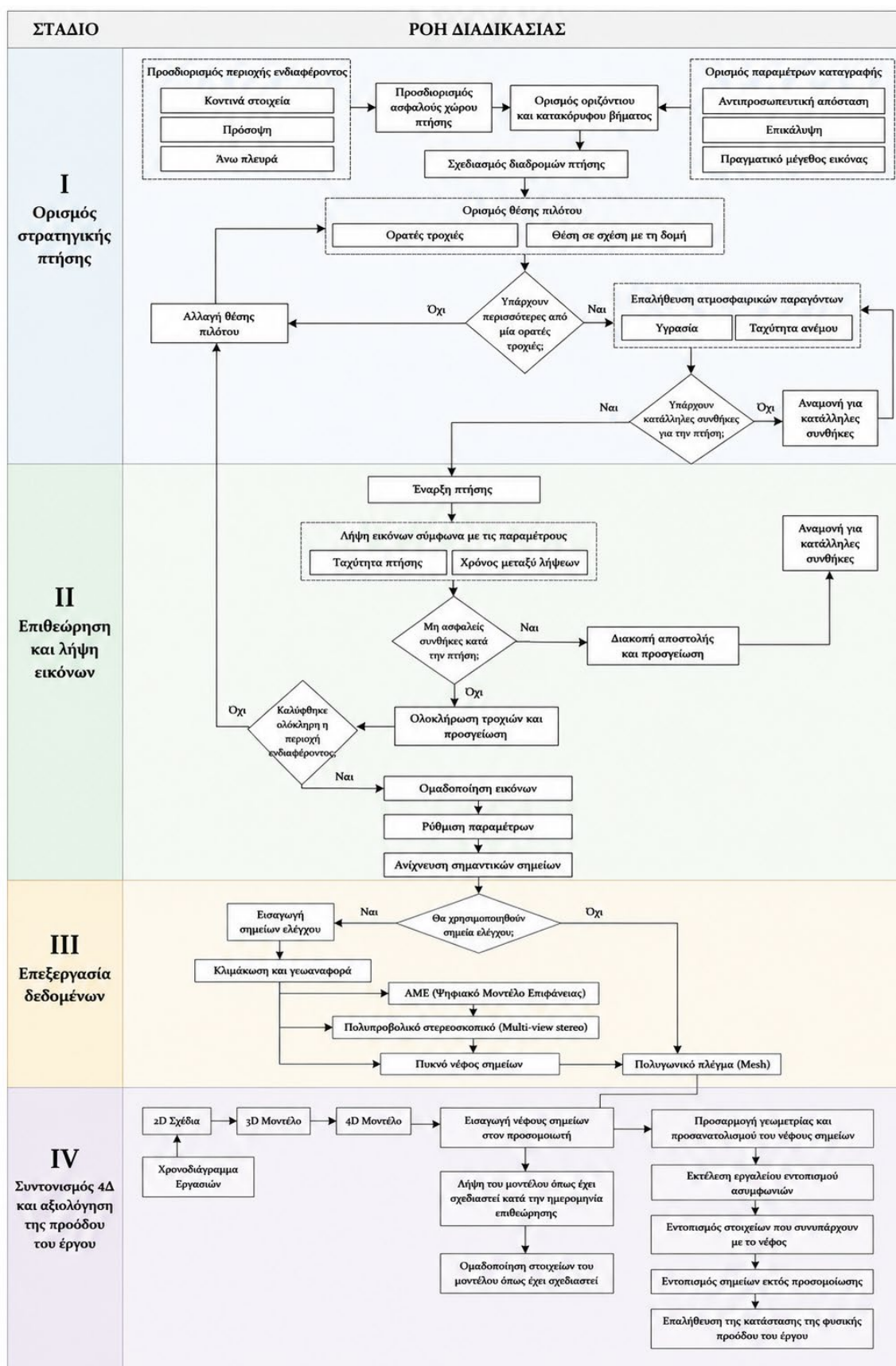
ενός ψηφιακού μοντέλου την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ αρχιτεκτόνων, μηχανικών και εργολάβων, διευκολύνοντας τη διαχείριση του έργου και τη λήψη αποφάσεων καθ' όλο τον κύκλο ζωής του. (Villarino, Valenzuela, Antón, Domínguez, & Méndez Cubillos, 2025), (Horton, Cabral, Surgenor, Givigi, & Woods, 2024)

➤ **Ανάλυση Προόδου και Λήψη Αποφάσεων**

Η έγκαιρη, σε πραγματικό χρόνο, ακριβής και ποιοτική αποτύπωση της προόδου των έργων λειτουργεί ευεργετικά στην λήψη αποφάσεων, ενημέρωση χρονοδιαγραμμάτων, πρόβλεψη καθυστερήσεων, ανακατανομή πόρων και ενημέρωση εμπλεκόμενων μερών για την πορεία κατασκευής. (Choi, Kim, Kim, & Na, 2023)

Αναφορικά με τη λήψη αποφάσεων στο πλαίσιο της συντήρησης ενός έργου, ιδιαίτερα χρήσιμη είναι η δυνατότητα αυτόματου εντοπισμού αλλαγών (change detection) μεταξύ διαφορετικών χρονικών στιγμών/πτήσεων μέσω αλγορίθμων, είτε αυτές οφείλονται στην προοδευτική εκτέλεση του έργου είτε σε ζημιές πχ ρωγμές σε γέφυρες. (Liang, Lee, Bae, Kim, & Seo, 2023)

Τα παραπάνω βήματα ενσωμάτωσαν αναλυτικά οι Jacob-Loyola et al. (2021) στο διάγραμμα ροής τους όπου έχουν διαχωρίσει τις εργασίες ανά στάδιο (I: καθορισμός στρατηγικής πτήσης, II: επιθεώρηση και λήψη εικόνας, III: επεξεργασία δεδομένων, IV: συντονισμός σε 4D και εκτίμηση εκτελούμενης εργασίας).

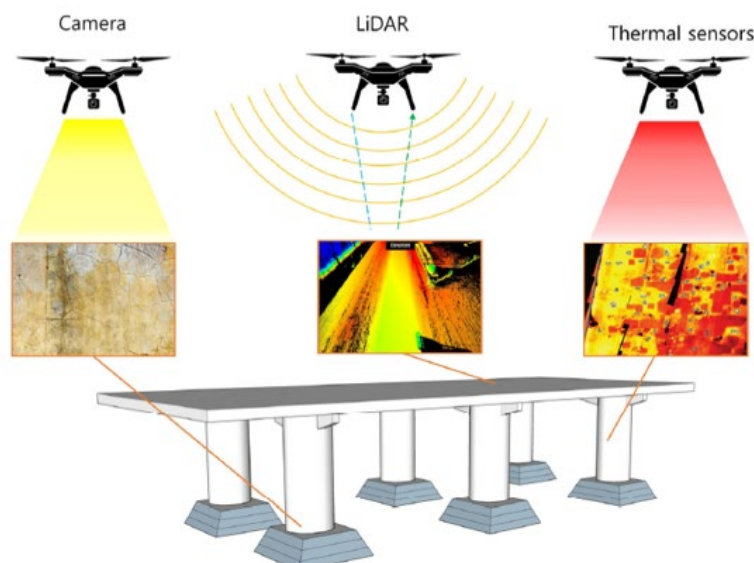


Εικόνα 19 - Διάγραμμα ροής της προτεινόμενης μεθοδολογίας παρακολούθησης της προόδου εργασιών (Jacob-Loyola, Muñoz-La Rivera, Herrera, & Atencio, 2021)

3.6.Εντοπισμός ελαττωμάτων με χρήση drone

Τα drones, εκτός από την χρονική παρακολούθηση της προόδου ενός έργου, μπορούν να αξιοποιηθούν σε μεγάλο βαθμό και για τον εντοπισμό ατελειών σε κατασκευές, είτε κατά τη φάση της κατασκευής είτε κατά τη φάση της συντήρησης.

Η παρακολούθηση των έργων για εντοπισμό ελαττωμάτων (defect detection) όπως πχ ρωγμών, διάβρωσης, επιφανειακών ατελειών, αποτελεί μία ακόμα ιδιαίτερη σημαντική δυνατότητα επιθεώρησης με χρήση drone. Οι παραδοσιακές και υποκειμενικές μέθοδοι εντοπισμού ελαττωμάτων αντικαθίστανται από αυτοματοποιημένες και ακριβείς διαδικασίες, οι οποίες με χρήση της τεχνητής νοημοσύνης (AI) και του Machine Learning (ML) τείνουν να αντιμετωπίσουν τυχόν περιορισμούς των χειροκίνητων μεθόδων. (Munawar, Ullah, Heravi, Thaheem, & Maqsoom, 2022) Επιπλέον, με την χρήση καμερών υψηλής ανάλυσης, θερμικών καμερών και του αισθητήρα LiDAR (Εικόνα 20) είναι εφικτή η ανίχνευση και καταγραφή ελαττωμάτων που μπορεί να μην είναι ορατά με το γυμνό μάτι. (Choi, Kim, Kim, & Na, 2023)



Εικόνα 20 - Διαφορετικοί τύποι φωτογραφιών ανάλογα με τον αισθητήρα που έχει χρησιμοποιηθεί, (Choi, Kim, Kim, & Na, 2023)

Τα drones, εξοπλισμένα με κατάλληλους αισθητήρες, μπορούν να εντοπίσουν ένα ευρύ φάσμα αστοχιών σε διάφορες υποδομές. Ο πίνακας που ακολουθεί (Πίνακας 6) περιλαμβάνει τους κύριους τύπους ελαττωμάτων που μπορούν να ανιχνευθούν.

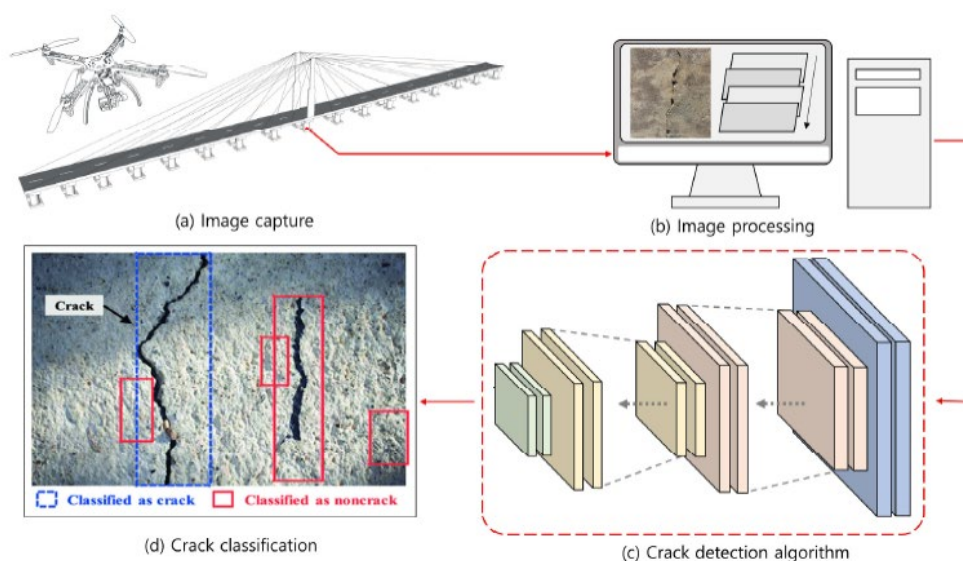
Πίνακας 6 - Τύποι ελαττωμάτων που ανιχνεύονται από drones

Εντοπισμός ελαττώματος	Περιγραφή	Βιβλιογραφική Αναφορά
Σκυρόδεμα	• Ρωγμές • Αποφλοιώσεις • Υγρασία • Διάβρωση • Αποκολλήσεις	(Choi, Kim, Kim, & Na, 2023) (Alaloul, Qureshi, Musarat, & Saad, 2021) (Villarino, Valenzuela, Antón, Domínguez, & Méndez Cubillos, 2025)
Μεταλλικές κατασκευές	• Διάβρωση (σκουριά) • Χαλάρωση κοχλίων • Ρωγμές κόπωσης σε γέφυρες ή γερανούς	(Salem, Dragomir, & Chatelet, 2024) (Hu & Assaad, 2023)
Κτίρια	• Ενεργειακές απώλειες • Ελαττώματα στη μόνωση • Διείσδυση υγρασίας • Ελαττώματα σε προσόψεις	(Choi, Kim, Kim, & Na, 2023) (Alaloul, Qureshi, Musarat, & Saad, 2021)
Ενεργειακές Υποδομές	• Υπερθέρμανση σε φωτοβολταϊκά πάνελ • Σπασμένα κελιά • Ελαττώματα σε πτερύγια ανεμογεννητριών	(Freimuth & König, 2018) (Villarino, Valenzuela, Antón, Domínguez, & Méndez Cubillos, 2025)
Οδοστρώματα	• Λακκούβες • Ρωγμές και αυλακώσεις οδοστρώματος	(Hu & Assaad, 2023) (Villarino, Valenzuela, Antón, Domínguez, & Méndez Cubillos, 2025)

Κατά τη φάση της κατασκευής, η ομάδα του έργου ή η ομάδα συντήρησης και επιθεωρητών λαμβάνουν τις λεπτομερείς εικόνες που αντλούνται από το drone και από αυτές ελέγχουν τις κατασκευές για παρουσία ελαττωμάτων που ενδεχομένως να μην είναι ορατά κατά την επιθεώρηση από το έδαφος. Μέσω λογισμικού είναι εφικτή η σύγκριση με τα κατασκευαστικά σχέδια και το τρισδιάστατο μοντέλο και ανιχνεύονται γρήγορα τυχόν αποκλίσεις ή σφάλματα κατά την κατασκευή. Με αυτόν τον τρόπο, είναι εφικτός ο έγκαιρος εντοπισμός προβλημάτων με στόχο την λήψη άμεσων αποφάσεων και διορθωτικών ενεργειών που θα οδηγήσουν στην εύρυθμη συνέχιση της κατασκευής χωρίς περαιτέρω καθυστερήσεις και σπατάλη πόρων. Τέλος, μπορεί να θεωρηθεί επίσης πως η αποτύπωση αυτών των αποκλίσεων σε τεκμηριωμένα

ντοκουμένα ασκεί την κατάλληλη πίεση στα συνεργεία για πιο άμεσο προγραμματισμό των διορθωτικών ενεργειών. (Choi, Kim, Kim, & Na, 2023)

Κατά τη φάση της συντήρησης, η ομάδα του έργου ή η ομάδα συντήρησης και επιθεωρητών λαμβάνουν τις λεπτομερείς εικόνες που αντλούνται από το drone και από αυτές ελέγχουν τις κατασκευές για παρουσία ελαττωμάτων που ενδεχομένως να μην είναι ορατά κατά την επιθεώρηση από το έδαφος. Συγκεκριμένα, μόλις ληφθούν οι εικόνες από την κάμερα, μεταφέρονται σε έναν υπολογιστή όπου γίνεται η επεξεργασία των εικόνων, ώστε να βελτιωθεί η ποιότητα και αντίθεση και να μειωθεί ο θόρυβος ή η παραμόρφωση. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια διάφορων αλγορίθμων ανάλυσης εικόνας, γίνεται αυτόματη ανίχνευση και εντοπισμός ρωγμών στις επεξεργασμένες εικόνες(Εικόνα 21). Αυτοί οι αλγόριθμοι συνήθως περιλαμβάνουν τεχνικές ανίχνευσης ακμών, ανάλυσης υφής ή αναγνώρισης μοτίβων για τον εντοπισμό περιοχών που υποδεικνύουν την παρουσία ρωγμών. Αναφορικά με τις ανιχνευόμενες ρωγμές, αυτές μπορούν να ταξινομηθούν με βάση τα χαρακτηριστικά τους, όπως το μήκος, το πλάτος, ο προσανατολισμός ή η σοβαρότητα. Σημαντικός παράγοντας στην αποτελεσματικότητα των καμερών υψηλής ανάλυσης για την ανίχνευση ρωγμών αποτελούν διάφοροι παράγοντες, όπως η ποιότητα της εικόνας, οι συνθήκες φωτισμού, η υφή της επιφάνειας και η εμπειρία των αναλυτών εικόνας. Για τον λόγο αυτό, είναι σημαντικό να καθοριστούν εκ των προτέρων τα κατάλληλα πρότυπα και οδηγίες για τη λήψη, την επεξεργασία και την ανάλυση εικόνων, ώστε να εξασφαλιστούν ακριβή και αξιόπιστα αποτελέσματα ανίχνευσης ρωγμών. Επιπλέον, όπως αναφέρθηκε στην αρχή της παραγράφου, η ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών όπως η τεχνητή νοημοσύνη (AI) και το machine learning μπορούν να βελτιώσουν τις δυνατότητες ανίχνευσης ρωγμών, εκπαιδεύοντας αλγόριθμους ώστε να αναγνωρίζουν και να ταξινομούν ρωγμές με μεγαλύτερη ακρίβεια, βελτιώνοντας έτσι την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας.



Εικόνα 21 - Διαδικασία εντοπισμού ρωγμών σε έργο γέφυρας με χρήση drone, (Choi, Kim, Kim, & Na, 2023)

Χαρακτηριστικό παράδειγμα επιθεώρησης έργων για εντοπισμό σφαλμάτων αποτελεί η περίπτωση των γεφυρών. Το κύριο πλεονέκτημα της χρήσης drones για παρακολούθηση γεφυρών είναι η αυξημένη ασφάλεια που παρέχουν, συγκριτικά με τις παραδοσιακές μεθόδους. Σύμφωνα με τις παραδοσιακές μεθόδους επίβλεψης γεφυρών, οι εργαζόμενοι συντήρησης χρησιμοποιούσαν ικρίωματα ή γερανούς των οποίων η χρήση είναι επικίνδυνη για τόσο μεγάλα ύψη, δαπανηρή και χρονοβόρα. Σε αντίθεση, τα drones μπορούν να έχουν ασφαλή και άμεση πρόσβαση σε σημεία που είναι δυσπρόσιτα ή δυσκολότερα να προσεγγιστούν από τα συνεργεία συντήρησης, πχ το κάτω μέρος γεφυρών ή σε πολύ μεγάλα ύψη. Ένα ακόμα πλεονέκτημα της χρήσης drone για επιθεώρηση γεφυρών είναι ο ταχύτερος χρόνος ολοκλήρωσης της επίβλεψης. Τα drones πετούν με ικανοποιητικές ταχύτητες προς το σημείο ενδιαφέροντος και καταγράφουν εικόνες και βίντεο που μπορούν να αναλυθούν σε πραγματικό χρόνο. Αυτό επιτρέπει συντομότερο χρόνο διεκπεραίωσης των αναφορών επιθεώρησης, χωρίς να απαιτείται αναγκαστικά η διακοπή λειτουργίας της γέφυρας ή η διακοπή της κυκλοφορίας. Τέλος, τα drones μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση και εντοπισμό αλλαγών στην κατάσταση της γέφυρας μετά από ακραία καιρικά φαινόμενα, όπως πλημμύρες, τυφώνες και σεισμούς. Σε κάθε περίπτωση όμως, είναι απαραίτητο να υπάρχει μια ομάδα εξειδικευμένων επαγγελματιών για τον χειρισμό των drones σε γέφυρες και την ανάλυση των δεδομένων. (Choi, Kim, Kim, & Na, 2023)

3.7.Ενσωμάτωση αλγορίθμων Τεχνητής Νοημοσύνης στην χρήση drones στο εργοτάξιο

Η ενσωμάτωση της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI) στα συστήματα παρακολούθησης με drones μεταμορφώνει την παρακολούθηση τεχνικών έργων από μια απλή καταγραφή εικόνων σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα αυτόνομης ανάλυσης και λήψης αποφάσεων. Το AI επιδρά ευεργετικά στα διάφορα στάδια της διαδικασίας επίβλεψης, από την αποστολή πτήσης έως και την τελική αξιολόγηση των φωτογραφιών που καταγράφηκαν.

Πιο συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια της πτήσης, τα drones έχουν τη δυνατότητα μέσω αλγορίθμων να αναγνωρίζουν και να αποφεύγουν δυναμικά εμπόδια όπως γερανούς, σκαλωσιές, εργάτες και να διατηρούν τη σταθερότητά τους έναντι εξωτερικών διαταραχών, όπως οι ριπές ανέμου. (Caballero-Martin, Lopez-Guede, Estevez, & Grana, 2024), (Ren, Zhao, & Jebelli, 2025)

Στο πλαίσιο της παρακολούθησης ασφάλειας και συμμόρφωσης στο εργοτάξιο, τα drones μπορούν μέσω AI να εκπαιδευτούν ώστε να αναγνωρίζουν αυτόματα αν οι εργαζόμενοι είναι εξοπλισμένοι με τα μέσα ατομικής προστασίας και να εντοπίζουν εν δυνάμει επικίνδυνες καταστάσεις (πχ πιθανή πτώση αντικειμένων) προκειμένου να ληφθούν διορθωτικές ενέργειες. (Gupta & Nair, 2023)

Η χρήση αλγορίθμων Μηχανικής Όρασης (Computer Vision), όπως το CNN (Convolutional Neural Networks) και YOLO (You Only Look Once), επιτρέπει την αυτόματη ανίχνευση δομικών ελαττωμάτων (πχ ρωγμών, διάβρωσης) εξαλείφοντας την ανάγκη για χειροκίνητο έλεγχο χιλιάδων φωτογραφιών. Τα δεδομένα αυτά ενσωματώνονται στο 3D μοντέλο και πέρα από την δυνατότητα σύγκρισης της κατασκευασμένης κατάστασης με την σχεδιασμένη για εντοπισμό αποκλίσεων, κάθε ελάττωμα (π.χ. μια ρωγμή) δημιουργείται ως ένα νέο αντικείμενο μέσα στο BIM, το οποίο φέρει πληροφορίες για τον τύπο, το μέγεθος και τον χρόνο εντοπισμού του. (Villarino, Valenzuela, Antón, Domínguez, & Méndez Cubillos, 2025), (Munawar, Ullah, Heravi, Thaheem, & Maqsoom, 2022), (Han C. , 2026) Αυτό επιτρέπει στους διαχειριστές να παρακολουθούν την εξέλιξη μιας βλάβης στον χρόνο (π.χ. αν μια ρωγμή μεγαλώνει) και να προγραμματίζουν τη συντήρηση με βάση πραγματικά δεδομένα. (Han C. , 2026)

Μια επιπλέον δυνατότητα του ΑΙ σε συνδυασμό με την λειτουργία των drones είναι ο αυτόματος υπολογισμός όγκων χωματουργικών εργασιών (εκσκαφές/επιχωματώσεις) και η διαχείριση των υλικών κατεδάφισης. Αυτό μειώνει τα ανθρώπινα σφάλματα στις μετρήσεις και βελτιώνει την ακρίβεια κατά την διαδικασία επιμετρήσεων των υλικών. (Jiang, και συν., 2022)

3.8. Προκλήσεις κατά την χρήση drones στο εργοτάξιο

Παρότι η χρήση των drones στα εργοτάξια βελτιώνει σημαντικά τις διαδικασίες παρακολούθησης των έργων, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι προκλήσεις που ενδέχεται να προκύψουν. Προκλήσεις που θα πρέπει να αντιμετωπιστούν κατά την χρήση των drones τόσο γενικά όσο και ειδικά στις κατασκευές (Gautam & Johari, 2023), (Zhang, και συν., 2025), (Liang, Lee, Bae, Kim, & Seo, 2023), (du Plessis & Amoah, 2025):

I. Πρόσβαση μη εξουσιοδοτημένων χρηστών στον χειρισμό των drones και στα δεδομένα (Ghosh-control & Highjacking)

Τα Συστήματα Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών παρουσιάζουν αυξημένη ευαισθησία σε κυβερνοεπιθέσεις και υποκλοπές δεδομένων από μη εξουσιοδοτημένους φορείς, καθώς η λειτουργία τους βασίζεται σε δορυφορικές επικοινωνίες και στη συνεχή ανταλλαγή πληροφοριών με επίγειους σταθμούς ελέγχου μέσω νεφοϋπολογιστικών υποδομών. Η πιθανότητα κακόβουλης παρέμβασης στα συστήματα πλοήγησης, μέσω τεχνικών όπως το GPS spoofing ή η παρεμβολή σημάτων (jammimg), εγκυμονεί κινδύνους τόσο για τη σωματική ασφάλεια του προσωπικού στο εργοτάξιο όσο και για τη δομική ακεραιότητα των κατασκευών λόγω πιθανής απώλειας ελέγχου ή σύγκρουσης. Συνεπώς, κρίνεται επιβεβλημένη η εφαρμογή προηγμένων πρωτοκόλλων προστασίας, συμπεριλαμβανομένης της κρυπτογραφημένης μετάδοσης δεδομένων, της χρήσης κατανεμημένων μηχανισμών ελέγχου (blockchain) και ισχυρών συστημάτων ταυτοποίησης χρηστών, προκειμένου να διασφαλιστεί η αξιοπιστία και η ασφάλεια των πτητικών διαδικασιών.

II. Ανεπιτυχής εξαγωγή ποιοτικών δεδομένων

Οι κακές καιρικές συνθήκες, περιορισμένη πρόσβαση του σημείου ενδιαφέροντος, ελλιπής εκπαίδευση του χειριστή, παρέμβαση από μη εξουσιοδοτημένο χρήστη, προβλήματα στον εξοπλισμό και τα παρελκόμενα μέρη είναι κάποιοι από τους λόγους που μπορούν να εμποδίζουν την καταγραφή στοιχείων κατά την αποστολή πτήσης. Το εξαγόμενο προϊόν μειωμένης ποιότητας έχει απαιτήσει πόρους (ανθρωποώρες, χρήση εξοπλισμού, χρήση μπαταριών) αλλά δεν έχει παράγει το ζητούμενο αποτέλεσμα και δεν επιτυγχάνεται η μέτρηση της προόδου. Επομένως, είναι ιδιαίτερα σημαντική η επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού, των μέσων προστασίας αυτού, η εκπαίδευση των χειριστών και η επιλογή των κατάλληλων συνθηκών πλοήγησης.

III. Πνευματικός φόρτος και κίνδυνοι τραυματισμού

Η παρουσία των drones στα εργοτάξια, αν και βελτιώνει την ασφάλεια απομακρύνοντας το προσωπικό από επικίνδυνα σημεία του έργου, έχει σημαντική επίδραση στην προσοχή και τον πνευματικό φόρτο των εργαζομένων. Έχει, λοιπόν, παρατηρηθεί πως ο ήχος που εκπέμπουν τα drones και η φυσική τους παρουσία κοντά στους εργαζόμενους, μπορεί να τους αποσπάσει την προσοχή, να μειώσει την συγκέντρωση στα καθήκοντα και να οδηγήσει σε ατύχημα. (Turan, 2025) Ακόμα, εκτός από την απόσπαση προσοχής λόγω της φυσικής τους παρουσίας, υπάρχει η ανησυχία από την πλευρά των εργαζομένων πως υπάρχει το ενδεχόμενο το drone να βγει εκτός πορείας. (Tatum & Liu, 2017) Ένας ακόμα παράγοντας που καθορίζει την πνευματική διαύγεια των εργαζομένων είναι η αύξηση του πνευματικού φόρτου του χειριστή του drone λόγω της αλληλεπίδρασης μεταξύ ανθρώπου και τεχνολογικού συστήματος. (Hashem, Zerdoumi, Jhanjhi, Siddiq, & Foufou, 2025) Επομένως, τα πρωτόκολλα ασφαλείας και η εκπαίδευση των χειριστών είναι απαραίτητα για την ελαχιστοποίηση της παρέμβασης στην συγκέντρωση των εργαζομένων και τη μεγιστοποίηση των οφελών ασφαλείας των drones. (Turan, 2025)

IV. Νομικοί περιορισμοί

Στο επόμενο κεφάλαιο αναλύεται το νομικό πλαίσιο γύρω από τη χρήση drones, ποιες είναι οι ευθύνες των χειριστών και των εμπλεκόμενων μερών και ποιοι περιορισμοί προκύπτουν από την Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας (ΥΠΑ).

V. Περιβαλλοντικά ζητήματα

Τα drones, συνήθως λειτουργούν με μπαταρίες και ανάλογα με τον τύπο τους κάποια έχουν μικρές ή μεγαλύτερες διάρκειες λειτουργίας. Επομένως, ενώ από την μία πλευρά εξοικονομείται πολύτιμος χρόνος του έργου από την χρήση των drones, από την άλλη πλευρά θα πρέπει να αναλογιστούν οι συνέπειες σε επίπεδο βιωσιμότητας για την απαιτούμενη επαναφόρτιση των μπαταριών.

Μέτρα όπως θέσπιση περισσότερο ευέλικτων κανονισμών, καταλληλότερη εκπαίδευση χειριστών, ελάφρυνση των διαδικασιών αδειοδότησης για drones σε εργοτάξια, πρόβλεψη καθορισμένου προϋπολογισμού για αγορά και χρήση drones από τις εταιρίες κατασκευής και ενίσχυση της οργανωτικής κουλτούρας για την υιοθέτηση των drones ως απαραίτητο συστατικό για την ποιοτικότερη και αποδοτικότερη καταγραφή της προόδου έργων στον κατασκευαστικό κλάδο είναι ορισμένα μέτρα τα οποία θα πρέπει να αναλογιστούν τόσο στην Ελλάδα όσο και σε λοιπές αναπτυσσόμενες χώρες. (du Plessis & Amoah, 2025)

Σύμφωνα με τους (du Plessis & Amoah, 2025), ο Πίνακας 7 συγκεντρώνει τους λόγους που σύμφωνα με την βιβλιογραφία, αποτελούν εμπόδια στην ενσωμάτωση των drones ως βασικό μέσο παρακολούθησης έργων κατασκευής:

Πίνακας 7 - Προκλήσεις για την ενσωμάτωση των drones, (du Plessis & Amoah, 2025)

Κατηγορία	Εμπόδια
Θεσμικά & Νομικά Εμπόδια	• Έλλειψη κατάλληλων κυβερνητικών πολιτικών/κατευθυντήριων γραμμών • Αυστηρή νομοθεσία σχετικά με την ιδιωτικότητα και ελλιπής θέσπιση κατευθυντήριων γραμμών • Περιορισμοί εναέριου χώρου • Αυστηρές απαιτήσεις αδειοδότησης και άδειας χειρισμού
Οικονομικά Εμπόδια	• Υψηλό κόστος • Έλλειψη χρηματοδότησης • Απαιτήσεις κεφαλαίου • Έλλειψη κινήτρων
Τεχνικά & Επιχειρησιακά Εμπόδια	• Μηχανικές και τεχνικές βλάβες • Λειτουργικά σφάλματα • Καιρικές συνθήκες • Κίνδυνοι ατυχημάτων • Κίνδυνοι ασφάλειας
Ανθρώπινο Δυναμικό & Εκπαίδευση	• Απαιτήσεις επαγγελματικής εκπαίδευσης • Έλλειψη εξειδικευμένων επαγγελματιών • Έλλειψη γνώσης/δεξιοτήτων • Ανεπάρκεια χειριστών drones
Κοινωνικά & Πολιτισμικά Εμπόδια	• Ελλιπής ή χαμηλή δημόσια ενημέρωση για τα UAV • Αντίσταση στην αλλαγή • Απειλή για την ανθρώπινη εργασία • Ζητήματα διαφάνειας
Ζήτηση & Αγορά	• Έλλειψη ζήτησης/ενδιαφέροντος για drones
Στρατηγικά & Πλαίσιο Εφαρμογής	• Έλλειψη προσαρμογής στο εκάστοτε θεσμικό/κυβερνητικό πλαίσιο

4. Νομοθεσία και Κανονιστικό Πλαίσιο

Η διαδικασία πτήσης ενός drone συνοδεύεται από σημαντικές ευθύνες που αφορούν κυρίως την τήρηση των κανόνων πτήσης και την εκπαίδευση του χειριστή πιλότου. Το νομικό πλαίσιο που διέπει τη χρήση των drones είναι σύνθετο, καθώς μεταβάλλεται ανάλογα με τη χώρα και στοχεύει στη διασφάλιση της ασφάλειας των πτήσεων, της προστασίας της ιδιωτικότητας και της δημόσιας ασφάλειας. (Liang, Lee, Bae, Kim, & Seo, 2023) Περιλαμβάνει κανόνες πτήσης, κανονισμούς, ΦΕΚ και Νόμους οι οποίοι, όπως προαναφέρθηκε, διαφοροποιούνται ανάλογα με την ήπειρο ή την χώρα στην οποία πραγματοποιείται η πτήση. Βασικές προϋποθέσεις που θα πρέπει να εξασφαλίζονται σε κάθε περίπτωση είναι η αντίστοιχη άδεια χειριστή, η δήλωση του drone στις αρμόδιες αρχές, η απόκτηση αριθμού κυκλοφορίας και η ασφάλισή του. (Χατζόπουλος & Χατζοπούλου, 2025). Ακόμα, θα πρέπει να επιβεβαιωθεί με τις αρμόδιες υπηρεσίες πως δεν υπάρχει κάποια απαγόρευση παρακολούθησης της ενδιαφερόμενης ζώνης. (Tan, Li, Cai, Ma, & Wang, 2022)

Στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, οι κανόνες πτήσης καθορίζονται από τον FAA (Federal Aviation Administration) ο οποίος ρυθμίζει τη χρήση των drones μέσω των κανόνων του Part 107, οι οποίοι καθορίζουν τις απαιτήσεις για την απόκτηση πιστοποιητικού του χειριστή και την καταχώριση των drones στα μητρώα του FAA. Επιπλέον, ο FAA ορίζει περιορισμούς πτήσης, όπως μέγιστα ύψη πτήσεων και απαίτηση διατήρησης οπτικής επαφής με το drone ανά πάσα στιγμή. Η παραβίαση αυτών των κανόνων μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά πρόστιμα ή ακόμη και σε ποινικές διώξεις. (Liang, Lee, Bae, Kim, & Seo, 2023)

Στην Ευρώπη, οι κανόνες πτήσης καθορίζονται από τον EASA (European Aviation Safety Agency) και ορίζει το πλαίσιο γύρω από τις απαιτήσεις για την εγγραφή των drones σε μητρώα, την εκπαίδευση των χειριστών και τις επιχειρησιακές διαδικασίες. Ο EASA επιβάλλει επίσης περιορισμούς στις πτήσεις για τη διατήρηση ασφαλούς απόστασης από άτομα και περιουσιακά στοιχεία, και περιορισμούς που αφορούν πτήσεις πάνω από σημεία ιδιαίτερης σημασίας, όπως αεροδρόμια ή φυλακές. (Liang, Lee, Bae, Kim, & Seo, 2023)

Στην Ελλάδα, οι κανόνες πτήσης καθορίζονται από την ΥΠΑ και περιλαμβάνουν τα παρακάτω (Χατζόπουλος & Χατζοπούλου, 2025):

- ΦΕΚ Β 3152/30-9-2016 και η εκπαίδευση και άδεια του πιλότου περιγράφονται στον κανονισμό εκπαιδευτικών κέντρων και αδειοδότησης χειριστών μη επανδρωμένων αεροσκαφών – ΣμηΕΑ (Unmanned Aircraft Systems – ΣμηΕΑ) της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας (ΥΠΑ) Αρ. Πρ. ΥΠΑ/Δ2/Δ/30005/12541 30-12-16.
- Νόμος περί Ιδιωτικής Αεροπορίας (Ν.1127/72)
- «Κώδικας Αεροπορικού Δικαίου» (Ν. 1815/88)
- Κανονισμός Πτήσεων Αερομοντέλων (ΦΕΚ β9, 13 Ιαν. 2010)

Συνοπτικά, οι κανονισμοί αναφέρουν τα παρακάτω:

- Επιτρέπεται η πτήση για ψυχαγωγικούς σκοπούς:
 - Είτε μέχρι 50 μέτρα γύρω από τον χειριστή
 - Είτε, κατόπιν εγκρίσεων από την ΥΠΑ, μέχρι 500 μέτρα γύρω από τον χειριστή και σε ύψος κάτω

σε ασφαλή απόσταση από ανθρώπους, κινητά και ακίνητα περιουσιακά στοιχεία, με τις εξαιρέσεις που αναφέρονται παρακάτω στο (β).

- Επιτρέπεται η πτήση για επαγγελματικούς σκοπούς:
 - μέχρι το όριο της οπτικής επαφής του χειριστή με το drone (500 μέτρα) και σε ύψος κάτω από τα 120 μέτρα από το έδαφος ή τη θάλασσα. Για αποκλίσεις από αυτά τα όρια απαιτείται ειδική άδεια από την ΥΠΑ.
- Απαγορεύεται η πτήση πάνω από τα 120 μέτρα από το έδαφος ή τη θάλασσα, εκτός αν έχει χορηγηθεί ειδική άδεια από την ΥΠΑ.
- Απαγορεύεται η πτήση σε αεροδρόμια σε κοντινότερη απόσταση από αυτή των 8 χιλιομέτρων.
- Απαγορεύεται η πτήση πλησίον ελικοδρομίων, στρατιωτικών εγκαταστάσεων, φυλακών, νοσοκομείων, σχολείων και λοιπών κρίσιμων υποδομών (π.χ. αποθήκες καυσίμων, ενεργειακές εγκαταστάσεις).
- Απαγορεύεται η πτήση κοντά σε αρχαιολογικούς χώρους (απαιτείται πρόσθετη άδεια του υπουργείου πολιτισμού)
- Απαγορεύεται η πτήση πάνω από άτομα και συγκεντρώσεις (σε περιπτώσεις ψυχαγωγικής χρήσης).

- Απαγορεύεται η πραγματοποίησης πτήσης τη νύχτα, δηλαδή από μισή ώρα μετά τη δύση έως μισή ώρα πριν την ανατολή του ήλιου.
- Απαγορεύεται η πτήση υπό ακατάλληλες καιρικές συνθήκες (π.χ. ισχυροί άνεμοι, ακραίες θερμοκρασίες πέραν των ορίων λειτουργίας του drone συνήθως 0–40°C). Ο χειριστής φέρει την ευθύνη αξιολόγησης των συνθηκών σε συνάρτηση με τις δυνατότητες του εξοπλισμού (άρθρο 5.9.ΣΤ).

Συνοψίζοντας, παρόλα τα πλεονεκτήματα και όλα τα πιθανά οφέλη που σημειώνονται από την χρήση drones για την επιτήρηση κατασκευών, ιδιαίτερη σημασία θα πρέπει να δοθεί στις προκλήσεις και τους περιορισμούς που άπτονται, καθώς αυτά περιλαμβάνουν κανονιστικά και νομικά ζητήματα, προκλήσεις στην επεξεργασία δεδομένων, απαιτήσεις σε εκπαίδευση, εγκρίσεις Υπηρεσιών και ζητήματα ασφάλειας, τα οποία επίσης απαιτούν χρόνο και χρήμα για την κατοχύρωσή τους. (Liang, Lee, Bae, Kim, & Seo, 2023), (Shwetha, Karthik, Ramanna, & Bibang, 2025)

5. Μελέτη περίπτωσης

5.1.Εισαγωγή

Η εφαρμογή των καινοτόμων μεθόδων παρακολούθησης έργων με χρήση drone θα παρουσιαστεί στη μελέτη περίπτωσης του κεφαλαίου η οποία αφορά πραγματικό έργο υποδομών στην Ελλάδα.

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενα κεφάλαια, η επιλογή του τύπου drone και της κάμερας που το συνοδεύει, των αισθητήρων και των χαρακτηριστικών πτήσης εξαρτάται από τα επιθυμητά τελικά προϊόντα και την επιθυμητή ακρίβεια και ποιότητα λήψεων. Πιο συγκεκριμένα και όπως αναλύθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια, ο χειριστής με βάση το επιλεγμένο ύψος πτήσης του αεροσκάφους και ποσοστό επικάλυψης μεταξύ των λήψεων μπορεί να πετύχει την επιθυμητή ακρίβεια. Αυτό σημαίνει πως όσο μεγαλύτερη επικάλυψη ή/και μικρότερο ύψος πτήσης επιλεγθεί τόσο μεγαλύτερη ακρίβεια στην ανάλυση της εικόνας έχει το εξαγόμενο αποτέλεσμα. Ωστόσο, από την επιλογή μεγαλύτερης επικάλυψης ή/και μικρότερου ύψους πτήσης προκύπτει μεγάλος αριθμός φωτογραφιών και κατ' επέκταση αυξημένοι χρόνοι επεξεργασίας και χωρητικότητας.

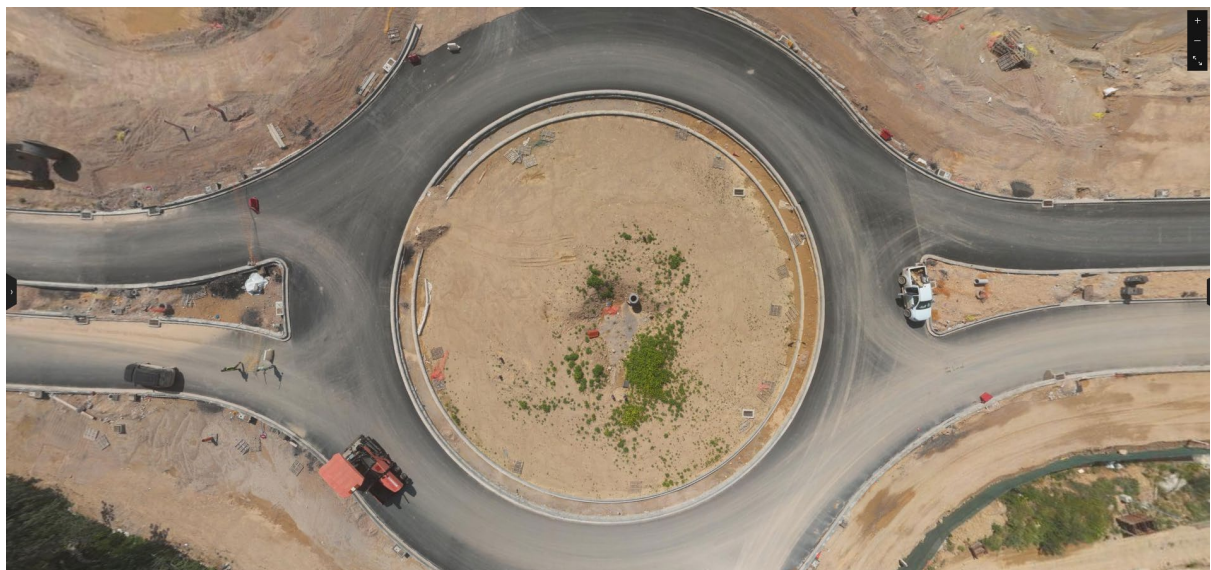
Επομένως, η επιλογή του βέλτιστου συνδυασμού χαρακτηριστικών πτήσης για το έργο που θα εξεταστεί προκύπτει έπειτα από πολλαπλές δοκιμές του χειριστή και της ομάδας έργου, λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά του έργου, την ανάλυση και χρήση των φωτογραφιών.

Αναφορικά με τον τρόπο λήψης των φωτογραφιών του συγκεκριμένου έργου, οι διαθέσιμοι τρόποι λήψεων για την παρακολούθηση του έργου είναι οι κατακόρυφες λήψεις (ortho), συνδυασμός κατακόρυφων και υπό γωνία λήψεων (oblique) και το πανόραμα. Ο πρώτος τρόπος αποτυπώνει κατόψεις, χωρίς να δίνει ιδιαίτερη πληροφορία σε όγκους κτηρίων, σκαμμάτων ή λόφων. Στον δεύτερο τρόπο, οι φωτογραφίες που προκύπτουν αποδίδουν καλύτερη αποτύπωση αντικειμένων που έχουν κάποιο ύψος και όγκο αλλά είναι πολύ περισσότερες σε πλήθος επομένως απαιτείται μεγαλύτερος χρόνος επεξεργασίας και αποθηκευτικού χώρου. Στη λειτουργία «πανόραμα» το drone έχει προγραμματιστεί ώστε από μια προκαθορισμένη θέση και ύψος να λαμβάνει 25 λήψεις σε 360μοίρες (βλ. Εικόνα 22 & Εικόνα 23). Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι η σύντομη διάρκεια πτήσης, μικρό πλήθος

φωτογραφιών άρα και μικρός χρόνος επεξεργασίας και περιορισμένος απαιτούμενος αποθηκευτικός χώρος.



Εικόνα 22 – Συνεχόμενες λήψεις για δημιουργία πανοράματος κυκλικού κόμβου



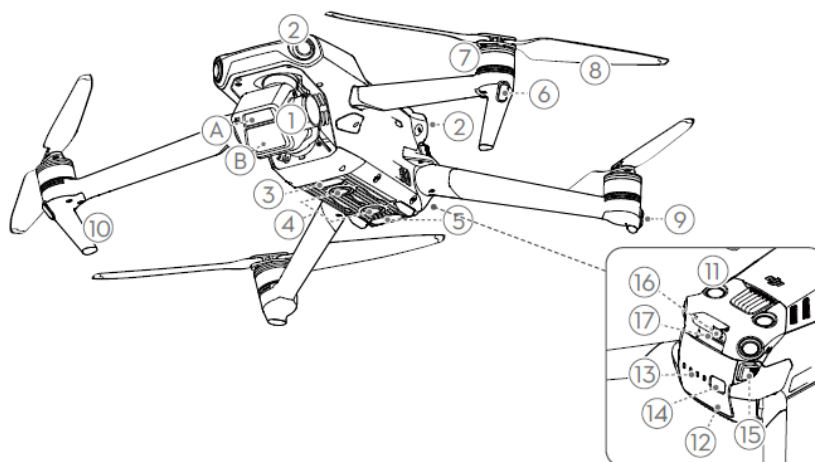
Εικόνα 23 – Πανόραμα κυκλικού κόμβου

Αναφορικά με τον προσδιορισμό των συντεταγμένων (X,Y,H) των κέντρων των φωτογραφιών (γεωαναφορά), αυτός δύναται να επιτευχθεί με δύο μεθόδους, καθεμία από τις οποίες επιτυγχάνει διαφορετική ακρίβεια προσδιορισμού. Η πρώτη μέθοδος αφορά στη χρήση RTK module επί της συσκευής (drone), όπου ο προσδιορισμός της θέσης του κέντρου κάθε φωτογραφίας αποθηκεύεται σε πραγματικό χρόνο, τη στιγμή της λήψης (μειωμένη ακρίβεια, αντίστοιχη των RTK rapid μετρήσεων). Η δεύτερη

μέθοδος απαιτεί χρήση φωτοσταθερών σημείων επί εδάφους. Πρόκειται για σημεία με γνωστές συντεταγμένες, που έχουν επιλεγεί και υλοποιηθεί πριν την πραγματοποίηση της πτήσης. Ο προσδιορισμός αυτών των σημείων μπορεί να πραγματοποιηθεί με χρήση GPS και να επιτύχει όμοια τάξη ακρίβειας με το module ή να προκύψει κατόπιν επίλυσης τριγωνομετρικού δικτύου (υψηλότερη ακρίβεια), μεθοδολογία που δεν θα αναλυθεί στην παρούσα εργασία. Η χρήση των φωτοσταθερών γίνεται με φωτογραμμετρικά προγράμματα όπου ο χρήστης αντιστοιχεί τα εμφανιζόμενα στις φωτογραφίες σταθερά σημεία στα αντίστοιχα αποθηκευμένα σημεία με τις γνωστές συντεταγμένες, επιτυγχάνοντας με τον τρόπο αυτό τη γεωαναφορά του συστήματος των φωτογραφιών.

5.2.Επιλογή εξοπλισμού

Το drone που χρησιμοποιήθηκε στο συγκεκριμένο Έργο είναι το DJI Mavic 3E, το οποίο είναι εξοπλισμένο με RTK adaptor για τον προσδιορισμό της θέσης του και το οποίο έχει ακρίβεια 2-3 εκατοστών, η οποία για την συγκεκριμένη χρήση θεωρήθηκε επαρκής από την ομάδα του έργου. Διαθέτει σύστημα ανίχνευσης υπέρυθρων και συστήματα όρασης προς όλες τις κατευθύνσεις (εμπρός, πίσω, πάνω, κάτω, πλάγια), παρέχοντας τη δυνατότητα αιώρησης και πτήσης τόσο σε εσωτερικούς όσο και σε εξωτερικούς χώρους, καθώς και λειτουργία αυτόματης επιστροφής στο σημείο απογείωσης, με ταυτόχρονη αποφυγή εμποδίων προς κάθε κατεύθυνση. Το αεροσκάφος επιτυγχάνει μέγιστη ταχύτητα 75,6 χλμ./ώρα και μέγιστη διάρκεια πτήσης 46 λεπτά. Το χειριστήριο DJI RC Pro είναι εξοπλισμένο με ενσωματωμένη οθόνη 5,5 ιντσών, υψηλής φωτεινότητας (1000 cd/m²) και ανάλυσης 1920×1080 pixel. Παράλληλα, παρέχεται δυνατότητα σύνδεσης στο διαδίκτυο μέσω Wi-Fi, ενώ το λειτουργικό σύστημα Android υποστηρίζει Bluetooth και GNSS (Global Navigation Satellite System). (DJI, 2022)



- | | |
|---|---------------------------------------|
| 1. Gimbal and Camera | 9. Aircraft Status Indicators |
| A. Tele Camera | 10. Landing Gears (Built-in antennas) |
| B. Hasselblad L2D-20c Camera | 11. Upward Vision System |
| 2. Horizontal Omnidirectional Vision System | 12. Intelligent Flight Battery |
| 3. Auxiliary Bottom Light | 13. Battery Level LEDs |
| 4. Downward Vision System | 14. Power Button |
| 5. Infrared Sensing System | 15. Battery Buckles |
| 6. Front LEDs | 16. USB-C Port |
| 7. Motors | 17. microSD Card Slot |
| 8. Propellers | |

Εικόνα 24 – Τα μέρη του DJI Mavic 3E (DJI, 2022)

5.3.Επιλογή παραμέτρων και τελικά προϊόντα

Η μέθοδος λήψεων για την αποτύπωση των έργων υποδομών που θα αναλυθούν παρακάτω είναι κατακόρυφες λήψεις (ortho). Η επιλογή των χαρακτηριστικών πτήσης που επιλέχθηκαν είναι 80 μέτρα ύψος και περίπου 80% επικάλυψη μεταξύ των λήψεων. Στη συνέχεια, επιλέγεται από τον χειριστή η περιοχή ενδιαφέροντος και η συχνότητα λήψεων που, στην περίπτωση του εξεταζόμενου έργου, είναι εβδομαδιαίες.

Όπως έχει αναλυθεί στα προηγούμενα κεφάλαια, έπειτα από κάθε πτήση προκύπτει ένα πλήθος φωτογραφιών όπου στο κέντρο της κάθε φωτογραφίας αντιστοιχούν συγκεκριμένες συντεταγμένες X,Y. Η ομάδα των τοπογράφων, με χρήση προγραμμάτων γεωαναφοράς, τοποθετούν κάθε φωτογραφία στον πραγματικό χώρο. Στη συνέχεια, με χρήση φωτογραμμετρικών προγραμμάτων παράγονται οι λεγόμενοι ορθοφωτοχάρτες, νέφη σημείων (point clouds) και τρισδιάστατα μοντέλα και έπειτα

πραγματοποιείται η μέθοδος εξομάλυνσης των ανωμαλιών του εδάφους (σκάμματα και λόφοι), η λεγόμενη ορθοαναγωγή.

Τα βασικά προϊόντα που προκύπτουν, λοιπόν, από την παραπάνω διαδικασία είναι ορθοφωτοχάρτες (2D) και τρισδιάστατα μοντέλα (point clouds). Αυτά τα τελικά προϊόντα χρησιμοποιούνται ως υπόβαθρα σε μελέτες όπου το πλεονέκτημα είναι ότι είναι ορατή η υφιστάμενη κατάσταση (πχ υφιστάμενα κτήρια, εργοταξιακοί δρόμοι, και εγκαταστάσεις κλπ), για την παρακολούθηση της προόδου των έργων, μέτρηση όγκων (από point cloud), παραγωγή ισοϋψών καμπύλων και μοντέλων εδάφους (DTM).

5.4.Ιστορικό λήψεων

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι λήψεις των φωτογραφιών του έργου με drones γίνονται σε εβδομαδιαία βάση. Στα αποσπάσματα που ακολουθούν παρουσιάζεται τμήμα δρόμου μήκους περίπου 200 μέτρων ανά ημερομηνία πτήσης και λήψης φωτογραφιών.



Εικόνα 25 - 04/04/2025 – Κατασκευή επιφανειακής αποστράγγισης οδού και τοποθέτηση πλαϊνών κρασπέδων



Εικόνα 26 - 10/04/2025 - Κατασκευή επιφανειακής αποστράγγισης οδού και τοποθέτηση πλαϊνών κρασπέδων (συνέχεια)



Εικόνα 27 - 24/04/2025 – Επιχώσεις σκαμμάτων επιφανειακής αποστράγγισης



Εικόνα 28 - 05/05/2025 – Δημιουργία σκάμματος και εγκατάσταση 1ου αγωγού ΕΥΔΑΠ



Εικόνα 29 - 15/05/2025 – Δημιουργία σκάμματος και εγκατάσταση 2^{ου} (μοβ) αγωγού ΕΥΔΑΠ



Εικόνα 30 - 22/05/2025 – Δημιουργία σκάμματος και εγκατάσταση 3^{ου} (μοβ) αγωγού ΕΥΔΑΠ, εκσκαφές για τοποθέτηση βάσεων ιστών οδοφωτισμού



Εικόνα 31 - 29/05/2025 – Τοποθέτηση βάσεων ιστών οδοφωτισμού



Εικόνα 32 - 05/06/2025 – Επιχώσεις σκαμμάτων βάσεων



Εικόνα 33 - 12/06/2025 – Επιχώσεις λοιπών σκαμμάτων

Στο επόμενο χρονικό διάστημα και μέχρι τις 20/11/2025 δεν πραγματοποιήθηκαν εργασίες στην εξεταζόμενη περιοχή, εκτός από τις 26/08/2025 που όπως φαίνεται παρακάτω έχουν τοποθετηθεί τα κράσπεδα της κεντρικής νησίδας του δρόμου και στις

24/10/2025 όπου έγινε περαιτέρω διαμόρφωση κεντρικής νησίδας με τοποθέτηση κρασπέδων και πλήρωσης με χώμα.



Εικόνα 34 - 26/08/2025 – Τοποθέτηση κρασπέδων κεντρικής νησίδας



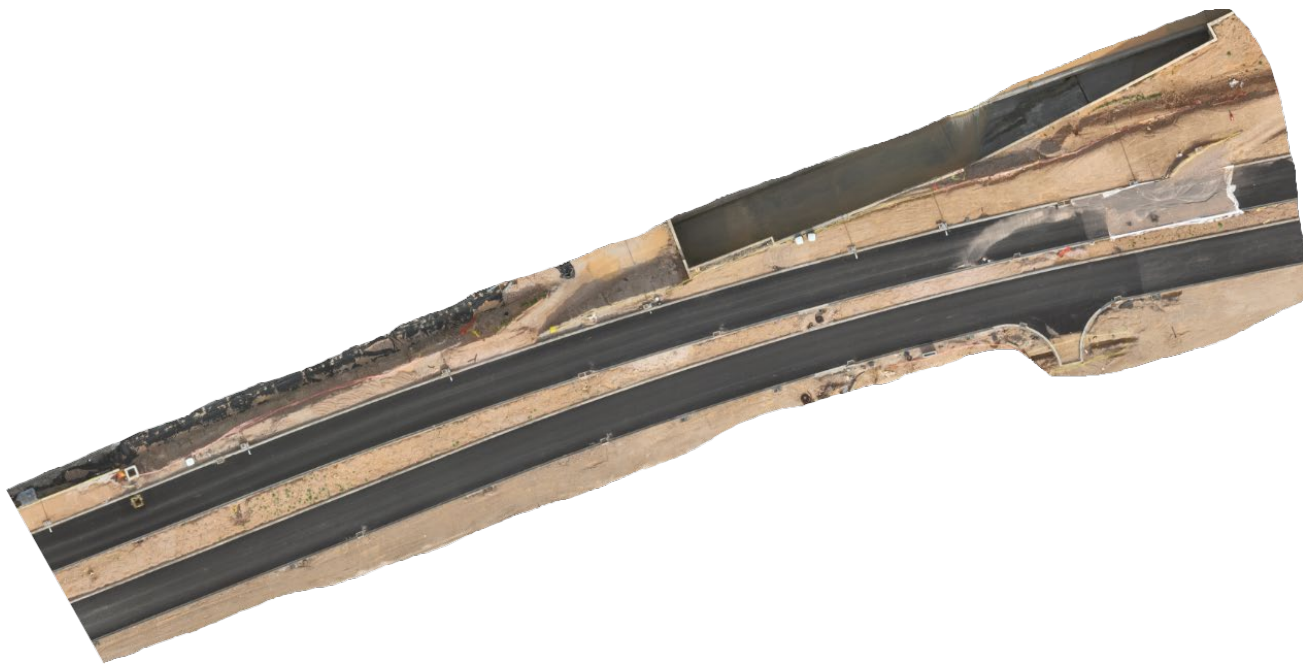
Εικόνα 35 - 24/10/2025 – Περαιτέρω διαμόρφωση κεντρικής νησίδας με τοποθέτηση κρασπέδων και πλήρωσης με χώμα



Εικόνα 36 - 20/11/2025 – Έναρξη οδοστρώσας οδού



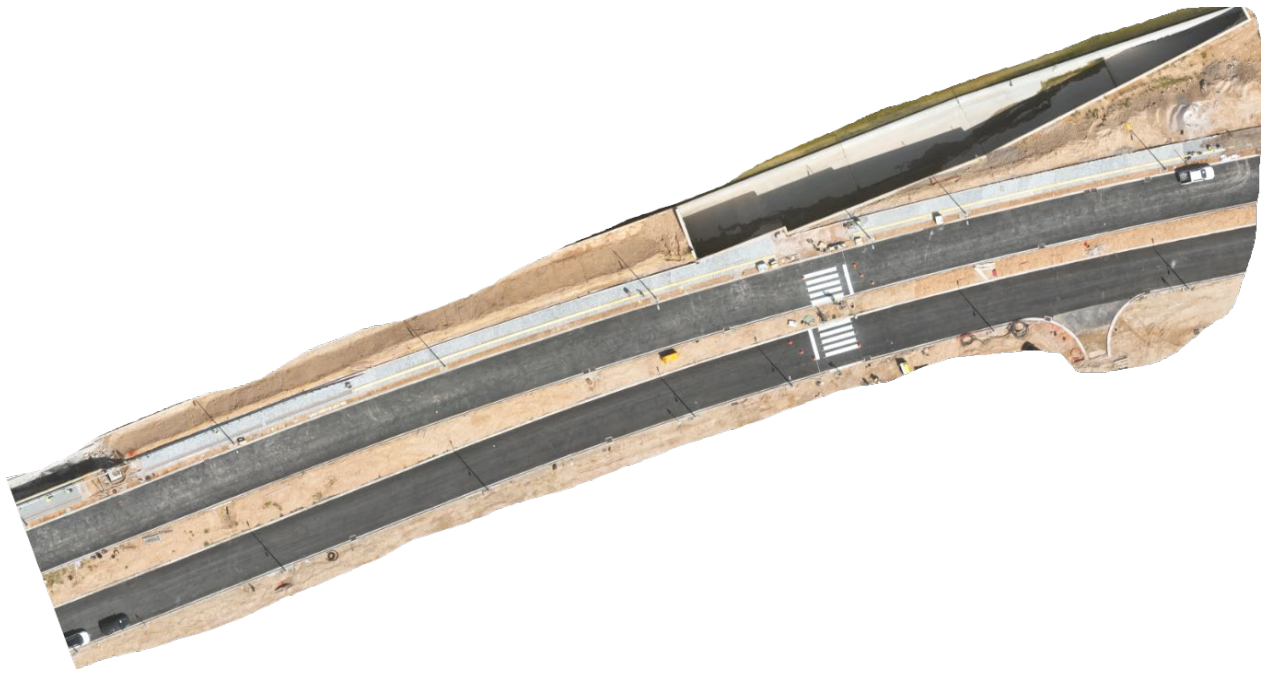
Εικόνα 37 - 27/11/2025 – Συνέχιση οδοστρώσας οδού



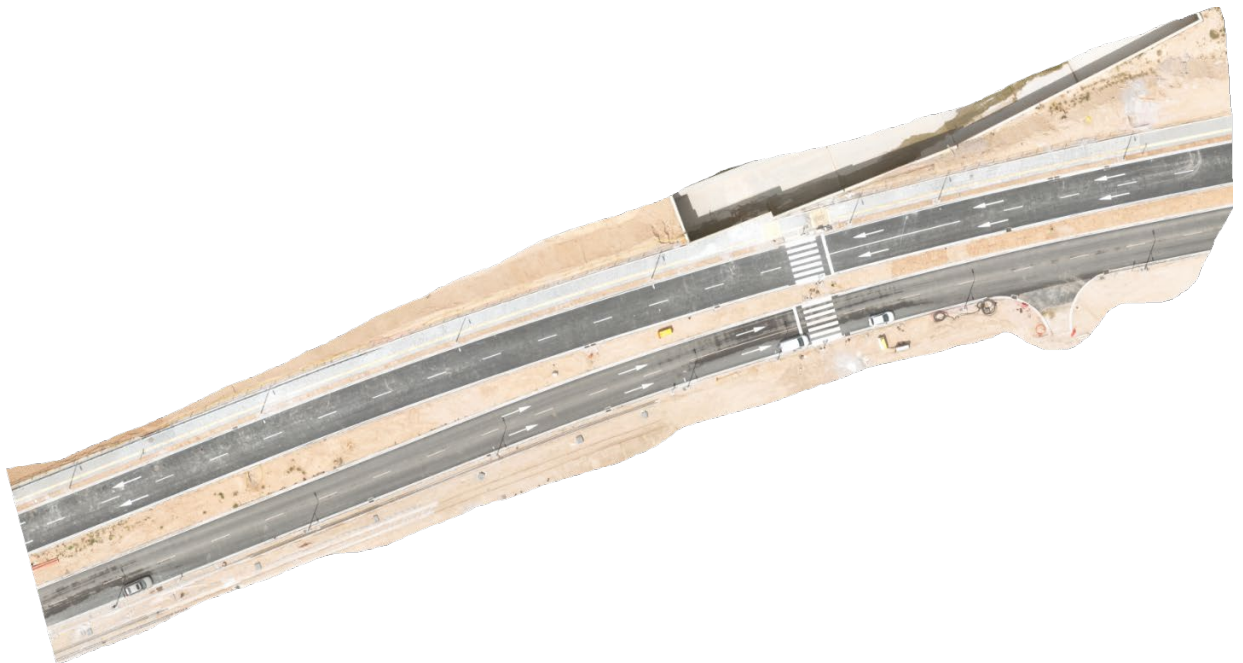
Εικόνα 38 - 22/01/2026 – Τοποθέτηση ιστών οδοφωτισμού στο πάνω τμήμα της οδού



Εικόνα 39 - 30/01/2026 – Τοποθέτηση ιστών οδοφωτισμού στο κάτω τμήμα της οδού



Εικόνα 40 - 06/04/2026 – Διάστρωση πλακών (βόρειου) πεζοδρομίου, τοποθέτηση οριζόντιας και κατακόρυφης σήμανσης, φωτεινών σηματοδοτών και ιστών οδοφωτισμού



Εικόνα 41 - 24/04/2026 – Ολοκλήρωση διάστρωσης πλακών πεζοδρομίου και οριζόντιας σήμανσης

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω και καθώς παρατηρείται μικρή ασυνέχεια στις ημερομηνίες παρακολούθησης, αυτό συμβαίνει διότι δεν καταγράφηκαν εργασίες στο εξεταζόμενο τμήμα και οι πτήσεις πραγματοποιήθηκαν για άλλη περιοχή του έργου.

Συγκεντρωτικά στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 8) η αποτύπωση λήψεων και προόδου εργασιών στο εξεταζόμενο τμήμα.

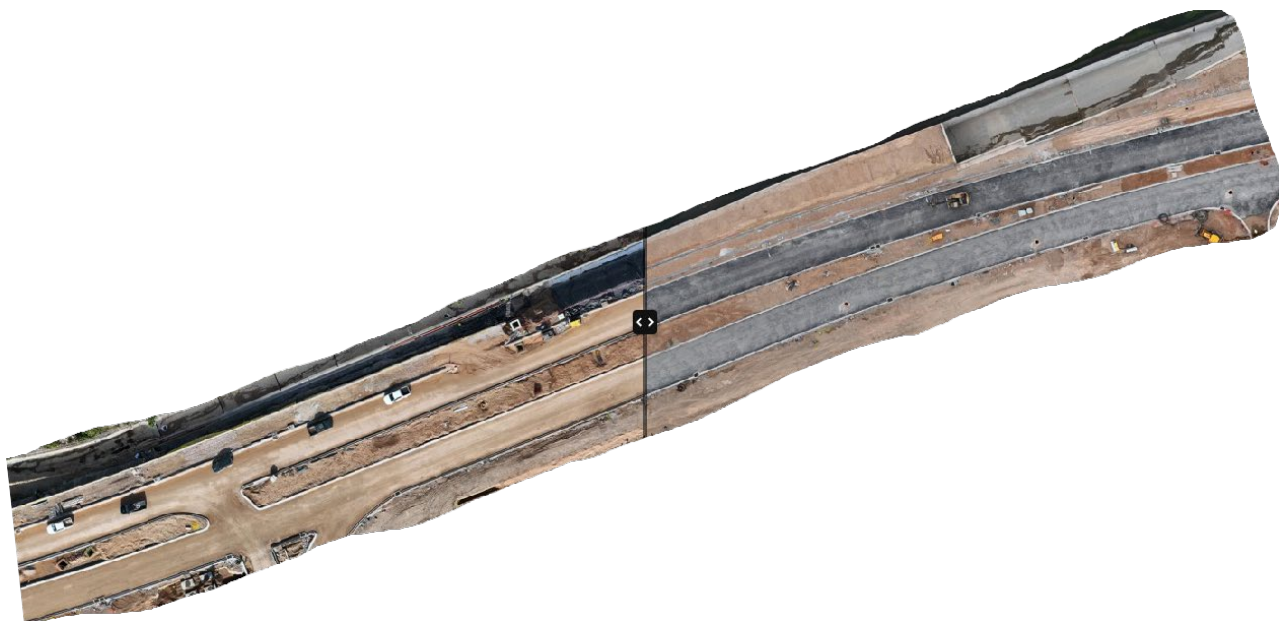
Πίνακας 8 - Συγκεντρωτική αποτύπωση λήψεων και προόδου εργασιών στο εξεταζόμενο τμήμα

Ημερομηνία λήψης	Κύρια εργασία	Παρατήρηση προόδου
04/04/2025	Κατασκευή επιφανειακής αποστράγγισης οδού και τοποθέτηση πλαϊνών κρασπέδων.	Αρχική αποτύπωση βασικών εργασιών αποστράγγισης και οριοθέτησης της οδού.
10/04/2025	Συνέχιση κατασκευής επιφανειακής αποστράγγισης και πλαϊνών κρασπέδων.	Καταγράφεται συνέχιση των ίδιων εργασιών και σταδιακή ολοκλήρωση του αντίστοιχου τμήματος.
24/04/2025	Επιχώσεις σκαμμάτων επιφανειακής αποστράγγισης.	Μετάβαση από τις εργασίες κατασκευής αποστράγγισης στη φάση αποκατάστασης και επίχωσης.
05/05/2025	Δημιουργία σκάμματος και εγκατάσταση 1ου αγωγού ΕΥΔΑΠ.	Έναρξη εργασιών δικτύου ύδρευσης στο εξεταζόμενο τμήμα.
15/05/2025	Δημιουργία σκάμματος και εγκατάσταση 2ου αγωγού ΕΥΔΑΠ.	Συνέχιση και επέκταση των εργασιών εγκατάστασης αγωγών.
22/05/2025	Εγκατάσταση 3ου αγωγού ΕΥΔΑΠ και εκσκαφές για βάσεις ιστών οδοφωτισμού.	Παράλληλη εξέλιξη εργασιών δικτύων και προετοιμασίας οδοφωτισμού.
29/05/2025	Τοποθέτηση βάσεων ιστών οδοφωτισμού.	Ολοκλήρωση βασικού σταδίου προετοιμασίας για τον οδοφωτισμό.
05/06/2025	Επιχώσεις σκαμμάτων βάσεων.	Αποκατάσταση σκαμμάτων μετά την τοποθέτηση βάσεων.
12/06/2025	Επιχώσεις λοιπών σκαμμάτων.	Σταδιακή ολοκλήρωση των επιχώσεων στο εξεταζόμενο τμήμα.
26/08/2025	Τοποθέτηση κρασπέδων κεντρικής νησίδας.	Καταγράφεται επανεκκίνηση εργασιών στο τμήμα μετά από περίοδο περιορισμένης δραστηριότητας.
24/10/2025	Περαιτέρω διαμόρφωση κεντρικής νησίδας με κρασπέδα και πλήρωση με χώμα.	Συνέχιση διαμόρφωσης της νησίδας και βελτίωση της τελικής γεωμετρίας.
20/11/2025	Έναρξη οδοστρωσίας οδού.	Μετάβαση από τα δίκτυα και τις επιχώσεις στις εργασίες οδοστρωσίας.
27/11/2025	Συνέχιση οδοστρωσίας οδού.	Επιβεβαιώνεται η πρόοδος της οδοστρωσίας σε σχέση με την προηγούμενη λήψη.
22/01/2026	Τοποθέτηση ιστών οδοφωτισμού στο πάνω τμήμα της οδού.	Έναρξη ολοκλήρωσης ηλεκτρομηχανολογικών στοιχείων οδοφωτισμού.

30/01/2026	Τοποθέτηση ιστών οδοφωτισμού στο κάτω τμήμα της οδού.	Συνέχιση τοποθέτησης ιστών και κάλυψη μεγαλύτερου τμήματος της οδού.
06/04/2026	Διάστρωση πλακών πεζοδρομίου, σήμανση, φωτεινοί σηματοδότες και ιστοί οδοφωτισμού.	Προχωρημένο στάδιο ολοκλήρωσης της οδού και των συνοδών υποδομών.
24/04/2026	Ολοκλήρωση διάστρωσης πλακών πεζοδρομίου και οριζόντιας σήμανσης.	Το εξεταζόμενο τμήμα εμφανίζει υψηλό βαθμό ολοκλήρωσης ως προς πεζοδρόμιο και σήμανση.

5.5.Λοιπά εργαλεία σύγκρισης προόδου

Τα δεδομένα που προκύπτουν από την φωτογραφική αποτύπωση των εργασιών μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίσης και για άλλου είδους συγκρίσεις, πχ ταυτόχρονη σύγκριση προόδου εργασιών μεταξύ πολλαπλών ημερομηνιών (Εικόνα 42), έλεγχος και σύγκριση θέσης κατασκευασμένου φρεατίου δικτύων με θέση φρεατίου από μελέτη (Εικόνα 43) και σύγκριση θέσης εκσκαφής χαντακιού με θέση αγωγού από μελέτη (Εικόνα 44).



Εικόνα 42 - Σύγκριση προόδου σε δύο χρονικές στιγμές (αριστερά 17/11/2025, δεξιά 23/03/2026)



Εικόνα 43 - Σύγκριση θέσης κατασκευασμένου φρεατίου ακαθάρτων με θέση φρεατίου από μελέτη



Εικόνα 44 - Σύγκριση θέσης σκάμματος με θέση του προς κατασκευή αγωγού αποχέτευσης

Εκτός από τις εξαγόμενες εικόνες της 2D απεικόνισης και του ορθοφωτοχάρτη, στα παρακάτω αποσπάσματα παρουσιάζεται το εξαγόμενο προϊόν που προκύπτει από την παραγωγή Point Cloud. Το Point Cloud Εικόνα 45 όπως παρατηρείται, δίνει μια αρκετά καλή αποτύπωση 3D κατασκευών και αντικειμένων στο χώρο.



Εικόνα 45 - Point Cloud

Με χρήση διαφόρων εργαλείων (δεξιά της οθόνης, Εικόνα 46) που διαθέτει η πλατφόρμα του έργου, είναι εύκολο ο χρήστης να μετρήσει γωνίες, υψόμετρα, αποστάσεις, εμβαδά και να παράγει την μηκοτομή κατά πλάτος της οδού.



Εικόνα 46 - Εργαλεία στην πλατφόρμα του point cloud

Για παράδειγμα, με το εργαλείο Elevation Profile Tool προκύπτει η παρακάτω μηκοτομή της οδού και είναι εύκολη η εύρεση υψομέτρων σε συγκεκριμένα σημεία του έργου.



Εικόνα 47 - Μέτρηση υψομέτρων οδού μέσω του point cloud

Τέλος, στην πλατφόρμα του έργου υπάρχει και το εργαλείο Mesh όπου οι 2D απεικονίσεις αποκτούν όγκο και τρισδιάστατη μορφή. Η λειτουργία του είναι χρήσιμη για αποτυπώσεις κτηρίων, γεφυρών κλπ για καλύτερη αντίληψη της κατασκευής.



Εικόνα 48 - Εργαλείο Mesh για απεικόνιση 3D κατασκευών

5.6. Συμπεράσματα της μελέτης περίπτωσης

Το υλικό που αντλήθηκε από πραγματικό έργο και παρουσιάστηκε στη μελέτη περίπτωσης ανέδειξε τη χρησιμότητα των drones ως εργαλείου παρακολούθησης τεχνικών έργων, καθώς επέτρεψε τη συστηματική, επαναλαμβανόμενη και τεκμηριωμένη αποτύπωση της προόδου σε πραγματικό εργοτάξιο υποδομών. Μέσω των εβδομαδιαίων λήψεων, των ορθοφωτοχαρτών και των τρισδιάστατων απεικονίσεων, μπορεί να καταστεί εφικτή η εύκολη και ακριβής παρακολούθηση της εξέλιξης εργασιών όπως εκσκαφές, επιχώσεις, τοποθέτηση αγωγών, κρασπέδων, ιστών οδοφωτισμού και λοιπές διαμορφώσεις της οδοποιίας. Τα παραπάνω δεδομένα επιβεβαιώνουν ότι η χρήση drone δεν λειτουργεί μόνο ως μέσο φωτογραφικής τεκμηρίωσης, αλλά και ως εργαλείο υποστήριξης για την λήψη αποφάσεων, τη σύγκριση προόδου και την αποτελεσματικότερη διαχείριση του έργου.

5.6.1. Πλεονεκτήματα ως προς τον χρόνο, το κόστος και την ακρίβεια

Παρόλο που η ανάλυση έγινε για ένα τμήμα δρόμου, είναι κατανοητό πως όταν πρόκειται για μεγάλα έργα με αρκετά χιλιόμετρα δρόμων, η παραδοσιακή και επιτόπια επιθεώρηση αποτελεί ανεπαρκή μέθοδο. Για αυτό τον λόγο, η χρήση drone αποδείχθηκε ιδιαίτερα αποδοτική, τόσο χρονικά όσο και ποιοτικά. Σε σύγκριση με τις παραδοσιακές επιτόπιες επιθεωρήσεις, η εναέρια λήψη παρείχε άμεσα συνολική εικόνα του εργοταξίου, χωρίς να απαιτείται συνεχής μετακίνηση των επιβλεπόντων κατά μήκος του έργου. Επιπλέον, η δυνατότητα επαναλαμβανόμενων λήψεων με τις ίδιες παραμέτρους πτήσης διευκόλυνε τη χρονολογική σύγκριση της προόδου και την ταχύτερη αναγνώριση περιόδων στασιμότητας ή επιτάχυνσης των εργασιών.

Ως προς το κόστος, παρότι η χρήση drone προϋποθέτει αρχική επένδυση σε εξοπλισμό, λογισμικό και εκπαίδευση, σε περιπτώσεις όπου η έκταση παρακολούθησης είναι μεγάλη και απαιτείται συχνή καταγραφή της κατάστασης του εργοταξίου, η χρήση του θεωρείται απαραίτητη καθώς εξοικονομούνται ανθρωποώρες και κόστη που προκύπτουν από μη έγκαιρο εντοπισμό αποκλίσεων και διορθωτικές εργασίες.

Ως προς την ακρίβεια, η χρήση του DJI Mavic 3E με RTK adaptor παρείχε επαρκή ακρίβεια για τις ανάγκες παρακολούθησης του συγκεκριμένου έργου. Η παραγωγή ορθοφωτοχαρτών και point clouds επέτρεψε όχι μόνο την οπτική αξιολόγηση της προόδου, αλλά και τη χωρική σύγκριση κατασκευασμένων στοιχείων με τα στοιχεία της μελέτης, όπως φάνηκε στις περιπτώσεις ελέγχου θέσης φρεατίων και σκαμμάτων.

Παράλληλα, η δυνατότητα μέτρησης αποστάσεων, εμβαδών, υψομέτρων και μηκοτομών μέσω της πλατφόρμας ενίσχυσε την αξία των δεδομένων ως εργαλείου τεχνικής τεκμηρίωσης.

5.6.2. Προβλήματα και περιορισμοί

Παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματα, η εφαρμογή της μεθόδου παρουσίασε και ορισμένους περιορισμούς. Πρώτος περιορισμός είναι η εξάρτηση από τις καιρικές συνθήκες. Ισχυροί άνεμοι, βροχόπτωση, χαμηλή ορατότητα ή δυσμενείς συνθήκες φωτισμού μπορούν να επηρεάσουν την ασφάλεια της πτήσης και την ποιότητα των φωτογραφιών. Επομένως, ο προγραμματισμός των πτήσεων δεν εξαρτάται αποκλειστικά από τις ανάγκες του έργου, αλλά και από το κατάλληλο χρονικό παράθυρο εκτέλεσης.

Δεύτερος περιορισμός αφορά τον μεγάλο όγκο δεδομένων που παράγεται, ιδιαίτερα όταν επιλέγονται υψηλά ποσοστά επικάλυψης ή χαμηλότερα ύψη πτήσης για βελτίωση της ανάλυσης. Η επεξεργασία των φωτογραφιών, η παραγωγή ορθοφωτοχαρτών και η δημιουργία point clouds απαιτούν κατάλληλο λογισμικό, επαρκή υπολογιστική ισχύ και εξειδικευμένο προσωπικό. Συνεπώς, η συνολική αποδοτικότητα της μεθόδου δεν εξαρτάται μόνο από τη διάρκεια της πτήσης, αλλά και από τον χρόνο μετα-επεξεργασίας και διαχείρισης των δεδομένων.

5.6.3. Προτάσεις για βελτίωση

Για τη βελτίωση της μεθόδου προτείνεται αρχικά η καθιέρωση τυποποιημένου πρωτοκόλλου πτήσεων, με σταθερές παραμέτρους ως προς το ύψος, την επικάλυψη, τη διαδρομή, τη συχνότητα λήψεων και τις συνθήκες εκτέλεσης. Με αυτόν τον τρόπο θα διασφαλίζεται μεγαλύτερη συγκρισιμότητα μεταξύ διαφορετικών χρονικών στιγμών και θα μειώνονται οι αποκλίσεις που οφείλονται στη μεταβολή των χαρακτηριστικών πτήσης.

Επιπλέον, σε τμήματα του έργου όπου απαιτείται υψηλότερη ακρίβεια, προτείνεται η συνδυασμένη χρήση RTK και φωτοσταθερών σημείων, ώστε να ενισχύεται η αξιοπιστία των γεωαναφερμένων προϊόντων. Η σύνδεση των ορθοφωτοχαρτών και των point clouds με τα σχέδια της μελέτης, το χρονοδιάγραμμα και, όπου είναι διαθέσιμο, το BIM μοντέλο, μπορεί να ενισχύσει περαιτέρω τη δυνατότητα σύγκρισης της πραγματικής με τη σχεδιασμένη κατάσταση του έργου.

Τέλος, σημαντική βελτίωση θα μπορούσε να προκύψει από την περαιτέρω αυτοματοποίηση της ανάλυσης των δεδομένων, με εργαλεία ΑΙ που θα εντοπίζουν αυτόματα μεταβολές μεταξύ διαδοχικών λήψεων, αποκλίσεις από τη μελέτη ή καθυστερήσεις σε συγκεκριμένες εργασίες. Η ενσωμάτωση τεχνικών τεχνητής νοημοσύνης θα μπορούσε μελλοντικά να μειώσει τον χρόνο ελέγχου των δεδομένων και να μετατρέψει τη χρήση drones από εργαλείο αποτύπωσης σε ολοκληρωμένο σύστημα υποστήριξης αποφάσεων για τη διαχείριση τεχνικών έργων.

6. Συγκριτική Αξιολόγηση Μεθόδων

Η αποτελεσματική παρακολούθηση της προόδου των εργασιών αποτελεί βασικό παράγοντα για την επιτυχή ολοκλήρωση κάθε τεχνικού έργου, καθώς επιτρέπει τον έγκαιρο εντοπισμό αποκλίσεων από το χρονοδιάγραμμα και τον προϋπολογισμό. Παρά την κρίσιμη σημασία της, ο κατασκευαστικός τομέας χαρακτηρίζεται από μια αξιοσημείωτη αντίσταση στην υιοθέτηση νέων τεχνολογιών, παραμένοντας προσηλωμένη σε παραδοσιακές πρακτικές.

Στο παρόν κεφάλαιο, πραγματοποιείται μια συγκριτική αξιολόγηση μεταξύ των παραδοσιακών, χειροκίνητων μεθόδων και των καινοτόμων προσεγγίσεων που βασίζονται στα Μη Επανδρωμένα Αεροσκάφη (drones). Οι παραδοσιακές μέθοδοι συχνά παραμένουν η κυρίαρχη πρακτική για λόγους συμβατικούς (Rehman, Shafiq, Ullah, & Ahmed, 2023) καθώς φαίνεται πως πληρούν τις απαιτήσεις που θέτει ο πελάτης ή ο σύμβουλος και γίνονται αποδεκτές από τον εργολάβο. Ακόμα, δεν απαιτείται από το προσωπικό κάποια εξειδικευμένη εκπαίδευση σε προηγμένα ψηφιακά εργαλεία ή προγραμματισμό, καθώς η διαδικασία βασίζεται σε απλά εργαλεία αποτύπωσης (γεωδαιτικοί σταθμοί, ψηφιακές κάμερες). Ωστόσο, παρόλο που οι παραδοσιακές μέθοδοι δεν απαιτούν ιδιαίτερες νομικές εγκρίσεις/άδειες ή αρχικό κεφάλαιο για αγορά εξοπλισμού και εκπαίδευση, χαρακτηρίζονται ως ανθρωποκεντρικές, χρονοβόρες και επιρρεπείς σε ανθρώπινα σφάλματα και υποκειμενικές εκτιμήσεις. Όπως αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 2, βασίζονται σε επιτόπιες περιηγήσεις, χειρόγραφες αναφορές και μικρής εμβέλειας φωτογραφική τεκμηρίωση, διαδικασίες που συχνά αποτυγχάνουν να αποδώσουν την πλήρη και ακριβή εικόνα μεγάλων και σύνθετων εργοταξίων γρήγορα, αντικειμενικά και με ασφάλεια.

Από την άλλη πλευρά, η ενσωμάτωση των drones εισάγει μια καινοτόμα πρακτική παρακολούθησης έργων, προσφέροντας τη δυνατότητα για αυτοματοποιημένη, ταχύτατη και υψηλής ακρίβειας συλλογή δεδομένων. Μέσω εξειδικευμένων αισθητήρων και συστημάτων γεωεντοπισμού, τα drones επιτυγχάνουν ακρίβεια εκατοστού – σε αντίθεση με τα παραδοσιακά εργαλεία που παρέχουν ακρίβεια δεκάτων - δημιουργώντας τρισδιάστατα μοντέλα (point clouds) και ορθοφωτοχάρτες που επιτρέπουν την άμεση σύγκριση της πραγματικής κατάστασης (as built) με τον αρχικό σχεδιασμό (as planned) και τον ακριβή υπολογισμό όγκου και κλίσεων. Αυτό το επίπεδο ακρίβειας βοηθά στην ελαχιστοποίηση του σφάλματος από χειροκίνητες μετρήσεις, βελτιστοποιεί την κατανομή των πόρων και αποτελεί βασικό πλεονέκτημα για τη μετάβαση από την υποκειμενική παρατήρηση στην αντικειμενική, ψηφιακή μέτρηση. (Choi, Kim, Kim, & Na, 2023) Ένα επιπλέον πλεονέκτημα υπέρ των drones αποτελεί η ελαχιστοποίηση της έκθεσης του εργατικού προσωπικού σε επικίνδυνες ή δυσπρόσιτες περιοχές καθώς πλέον τα drones μπορούν να αναλάβουν την προσπέλαση και καταγραφή δύσκολων περιοχών του έργου.

Παρά τα πλεονεκτήματα χρήσης drone, η ομάδα του έργου και οι χειριστές θα χρειαστεί συχνά να έρθουν αντιμέτωποι με προκλήσεις οι οποίες αφορούν πρόσβαση μη εξουσιοδοτημένων χρηστών στον χειρισμό των drones και στα δεδομένα, ανεπιτυχή εξαγωγή ποιοτικών δεδομένων, τεχνικούς περιορισμούς πχ περιορισμένη διάρκεια μπαταριών, πνευματικός φόρτος, κίνδυνοι τραυματισμού, νομικοί περιορισμοί και περιβαλλοντικά ζητήματα πχ κακές καιρικές συνθήκες.

7. Προτάσεις

Με βάση την βιβλιογραφία της παρούσας διπλωματικής, οι προτάσεις για τη μελλοντική έρευνα και ανάπτυξη των δυνατοτήτων των drones και λοιπών μεθόδων παρακολούθησης των τεχνικών έργων επικεντρώνονται στη βελτιστοποίηση της διαδικασίας παρακολούθησης, την ενίσχυση της αυτονομίας του εξοπλισμού, την τεχνολογική εξέλιξη των συστημάτων και τη διασφάλιση της βιωσιμότητας.

Η περιορισμένη διάρκεια πτήσης αποτελεί κρίσιμο εμπόδιο κατά την παρακολούθηση μεγάλης έκτασης εργοταξίων ή δυσπρόσιτων περιοχών του έργου. Σύμφωνα με τους Choi et al. (2023) γίνονται συνεχώς ερευνητικές προσπάθειες βελτίωσης της ενέργειας

που εμπεριέχεται στις μπαταρίες των drones με στόχο την επέκταση της πτητικής διάρκειας των αποστολών και την κάλυψη μεγαλύτερων αποστάσεων. Εναλλακτικές πηγές ενέργειας, όπως κυψέλες καυσίμου*, ηλιακοί συλλέκτες στα φτερά των drones ή ασύρματη φόρτιση ερευνώνται παράλληλα, η υιοθέτηση των οποίων θα μπορούσε να περιορίσει τις συχνές αντικαταστάσεις μπαταριών και να λειτουργήσει ευεργετικά ως προς τη βιωσιμότητα του έργου.

Αναφορικά με την βελτίωση της ποιότητας των δεδομένων που συλλέγονται, υπάρχουν στην βιβλιογραφία προτάσεις όπως ενσωμάτωση υπερφασματικών (hyperspectral) καμερών για υπολογισμό υλικών με ακόμα μεγαλύτερη ακρίβεια (Shwetha, Karthik, Ramanna, & Bibang, 2025) ή χρήση εξειδικευμένων αισθητήρων υπερήχων όπου με την επαφή σε επιφάνειες θα εντοπίζονται τυχόν εσωτερικά ελαττώματα. Ωστόσο, η τελευταία πρόταση βρίσκεται ακόμα σε αρκετά πρώιμο στάδιο καθώς η επαφή του drone με επιφάνειες υπονομεύει κινδύνους για την ασφάλεια του drone. (Hu & Assaad, 2023) Η επόμενη πρόταση αφορά την μεταφορά της υπολογιστικής διαδικασίας απευθείας στο drone (Edge Computing) με στόχο την αμεσότερη και σε πραγματικό χρόνο αναγνώριση και αντιμετώπιση κρίσιμων καταστάσεων κατά την κατασκευή (πχ δομική αστοχία κατασκευής ή διαρροή αερίου). (Lyu, Lin, Lynch, Zou, & Liarokapis, 2025) Αυτό σημαίνει ότι εξοικονομείται ο χρόνος που προηγουμένως απαιτούνταν για την συλλογή δεδομένων, μεταφορά στο cloud, επεξεργασία και τελική αξιολόγηση.

Ο συνδυασμός των δύο παραπάνω προτάσεων, δηλαδή χρήση υπερφασματικών καμερών σε drone με ενσωματωμένο υπολογιστή, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις όπου χρειάζεται να γίνει άμεσα υπολογισμός της εναπομένουσας εργασίας και υλικών και να προτείνει στην ομάδα έργου υλικά που απαιτούνται, λαμβάνοντας επίσης υπόψη και τη διαθεσιμότητα αποθηκών.

Ιδιαίτερα σημαντική είναι, επίσης, και η ανάπτυξη ενός εξελιγμένου και δυναμικού Ψηφιακού Διδύμου το οποίο δεν θα αποτελεί μόνο μια απλή αναπαράσταση της σχεδιασμένης ή κατασκευασμένης κατάστασης αλλά θα προσομοιώνει σενάρια (πχ ακραίων καιρικών φαινομένων) με στόχο την αξιολόγηση του αντικτύπου στις

*εναλλακτική πηγή ενέργειας κατά την οποία η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται μέσω μιας χημικής αντίδρασης μεταξύ υδρογόνου και οξυγόνου. (Valavanis & Vachtsevanos, 2015)

κατασκευές. Από αυτό θα προκύπτει η ανάγκη για προληπτική συντήρηση των έργων ή διορθωτικές ενέργειες. (Zhang, και συν., 2025) Για παράδειγμα, με την χρήση κατάλληλων αισθητήρων υπολογισμού στάθμης σε μεγάλα ή επικίνδυνα ρέματα, όταν η στάθμη του νερού φτάσει το άνω όριο θα μπορούσε μέσω ειδοποίησης στον διακομιστή του drone ή απευθείας σε αυτό να δοθεί σήμα, αυτόματα να ξεκινήσει η αποστολή πτήσης προς το σημείο και χωρίς την ανάγκη ανθρώπινης παρουσίας στο σημείο να ελεγχθεί η κατάσταση και να εκτιμηθεί η επικινδυνότητα. Με τη βοήθεια του δυναμικού Ψηφιακού Διδύμου, το σενάριο θα προσομοιωθεί επί τόπου και θα εκτιμηθεί η ανάγκη εκκένωσης μιας περιοχής ή λοιπές δράσεις διασφάλισης της υγείας.

Έπειτα από την αξιολόγηση όλων όσων αναφέρθηκαν παραπάνω αλλά και επιπλέον συμπερασμάτων από το σύνολο της διπλωματικής εργασίας, οι προτάσεις βελτιστοποίησης των διαδικασιών θα πρέπει, επίσης, να περιλαμβάνουν την περαιτέρω αυτοματοποίηση των βημάτων παρακολούθησης πχ αυτόματη αποστολή πτήσης χωρίς την ανάγκη χειριστή ή αυτόματη αποφυγή εμποδίων, την ενσωμάτωση της Τεχνητής Νοημοσύνης για εντοπισμό αποκλίσεων και ελαττωμάτων, τον συνδυασμό των drones με BIM και Digital Twins, τη βελτιστοποίηση αισθητήρων για ακριβέστερες εκτιμήσεις ποσοτήτων και αστοχιών και την αυτόματη παραγωγή αναφορών.

8. Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία είχε ως βασικό στόχο τη διερεύνηση των καινοτόμων μεθόδων παρακολούθησης τεχνικών έργων με τη χρήση Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (UAVs – drones), καθώς και την αξιολόγηση της συμβολής τους στη βελτίωση της διαχείρισης, της επίβλεψης και της τεκμηρίωσης της προόδου των κατασκευαστικών εργασιών. Μέσα από τη συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση, τη συγκριτική αξιολόγηση με τις παραδοσιακές μεθόδους και τη μελέτη περίπτωσης πραγματικού έργου υποδομών, προέκυψε ότι τα drones αποτελούν ένα ιδιαίτερα χρήσιμο και σύγχρονο εργαλείο, το οποίο μπορεί να υποστηρίξει ουσιαστικά τη μετάβαση του κατασκευαστικού κλάδου προς πιο ψηφιακές, αυτοματοποιημένες και τεκμηριωμένες διαδικασίες παρακολούθησης.

Από την ανάλυση των παραδοσιακών μεθόδων παρακολούθησης έργων διαπιστώθηκε ότι, παρά τη διαχρονική και ευρεία εφαρμογή τους, παρουσιάζουν σημαντικούς

περιορισμούς. Η χειροκίνητη συλλογή δεδομένων, οι επιτόπιες επιθεωρήσεις, οι συμβατικές φωτογραφικές καταγραφές και οι χειρόγραφες και ημι-αυτοματοποιημένες αναφορές απαιτούν σημαντικό χρόνο και ανθρώπινο δυναμικό, ενώ είναι εκτεθειμένες σε υποκειμενικές εκτιμήσεις και ανθρώπινα σφάλματα. Η έλλειψη συστηματικής, αντικειμενικής και σε πραγματικό χρόνο πληροφόρησης μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τη δυνατότητα έγκαιρου εντοπισμού αποκλίσεων, με συνέπειες στο χρονοδιάγραμμα, στο κόστος και στην ποιότητα του έργου.

Αντίθετα, η χρήση drones προσφέρει τη δυνατότητα ταχείας, επαναλαμβανόμενης και υψηλής ακρίβειας αποτύπωσης της πραγματικής κατάστασης ενός εργοταξίου. Μέσω της λήψης εναέριων φωτογραφιών, της παραγωγής ορθοφωτοχαρτών, νεφών σημείων και τρισδιάστατων μοντέλων, καθίσταται δυνατή η αντικειμενική παρακολούθηση της προόδου και η σύγκριση της κατασκευασμένης κατάστασης με τα στοιχεία της μελέτης. Η αξιοποίηση αισθητήρων, καμερών και συστημάτων γεωεντοπισμού ενισχύει περαιτέρω την ποιότητα των δεδομένων και διευρύνει τις εφαρμογές των drones, όχι μόνο στην παρακολούθηση προόδου, αλλά και στην τοπογραφική αποτύπωση, στην επιθεώρηση δυσπρόσιτων περιοχών, στον εντοπισμό ελαττωμάτων και στην παρακολούθηση της ασφάλειας του εργοταξίου.

Η μελέτη περίπτωσης επιβεβαίωσε σε πρακτικό επίπεδο τα παραπάνω ευρήματα. Η παρακολούθηση πραγματικού έργου υποδομών μέσω εβδομαδιαίων λήψεων με drone κατέδειξε ότι η μέθοδος μπορεί να αποδώσει με σαφήνεια τη χρονική εξέλιξη των εργασιών, όπως εκσκαφές, επιχώσεις, εγκατάσταση δικτύων και κατασκευή οδοποιίας. Παράλληλα, η παραγωγή ορθοφωτοχαρτών και point clouds επέτρεψε την αυτοματοποιημένη και αντικειμενική τεκμηρίωση του έργου και τη σύγκριση της πραγματικής κατασκευής με τις μελέτες, αναδεικνύοντας τη χρησιμότητα των drones ως εργαλείων τεχνικής τεκμηρίωσης και υποστήριξης αποφάσεων.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα που αναδείχθηκαν αφορούν την εξοικονόμηση χρόνου, τη βελτίωση της ακρίβειας, την πληρέστερη εποπτεία του εργοταξίου και την ενίσχυση της ασφάλειας. Τα drones μπορούν να καλύψουν μεγάλες εκτάσεις σε σύντομο χρονικό διάστημα, να περιορίσουν την ανάγκη φυσικής παρουσίας εργαζομένων σε επικίνδυνες ή δυσπρόσιτες περιοχές και να παρέχουν στα εμπλεκόμενα μέρη μια συνολική και επικαιροποιημένη εικόνα της προόδου. Επιπλέον, η δυνατότητα επαναλαμβανόμενων λήψεων με σταθερές παραμέτρους επιτρέπει τη συγκριτική

αξιολόγηση διαφορετικών χρονικών στιγμών και συμβάλλει στον έγκαιρο εντοπισμό καθυστερήσεων, αποκλίσεων ή αστοχιών.

Ωστόσο, η παρούσα διπλωματική ανέδειξε επίσης ότι η χρήση drones δεν στερείται περιορισμών. Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου επηρεάζεται από παραμέτρους όπως οι καιρικές συνθήκες, η διάρκεια ζωής των μπαταριών, η ποιότητα του εξοπλισμού, η επάρκεια και εμπειρία του χειριστή, η διαθεσιμότητα κατάλληλου λογισμικού και η υπολογιστική ικανότητα επεξεργασίας μεγάλου όγκου δεδομένων. Επιπλέον, σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά τη χρήση τους αποτελούν το θεσμικό και κανονιστικό πλαίσιο, οι απαιτήσεις αδειοδότησης, οι νόμοι περί ιδιωτικότητας και η ανάγκη εκπαίδευσης εξειδικευμένου προσωπικού. Συνεπώς, η ενσωμάτωση των drones στα τεχνικά έργα απαιτεί οργανωμένο σχεδιασμό, τήρηση αυστηρών κανονισμών λειτουργίας και κατάλληλη προσαρμογή στις ανάγκες κάθε έργου.

Ένα βασικό συμπέρασμα της μελέτης είναι ότι τα drones δεν θα πρέπει να αντιμετωπίζονται ως πλήρης αντικατάσταση των παραδοσιακών μεθόδων, αλλά ως συμπληρωματικό και ενισχυτικό εργαλείο στο πλαίσιο μιας ολοκληρωμένης ψηφιακής ροής εργασίας. Οι συμβατικές μέθοδοι εξακολουθούν να είναι απαραίτητες σε περιπτώσεις που απαιτούν άμεση και επιτόπια κρίση, λεπτομερείς μετρήσεις υψηλής ακρίβειας ή επιβεβαίωση κρίσιμων τεχνικών στοιχείων. Η βέλτιστη προσέγγιση είναι υβριδική, συνδυάζοντας την εμπειρία και την κρίση των μηχανικών με την ταχύτητα, την ακρίβεια και την επαναληψιμότητα των εναέριων ψηφιακών αποτυπώσεων.

Ιδιαίτερη σημασία αποκτά επίσης η διασύνδεση των δεδομένων των drones με τεχνολογίες όπως το BIM, τα Ψηφιακά Δίδυμα και η Τεχνητή Νοημοσύνη. Η ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών μπορεί να μετατρέψει τη χρήση drones από ένα μέσο απλής αποτύπωσης σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα παρακολούθησης, ανάλυσης και υποστήριξης αποφάσεων. Μελλοντικά, η αυτόματη ανίχνευση αποκλίσεων, η πρόβλεψη καθυστερήσεων, ο εντοπισμός ελαττωμάτων και η αυτόματη παραγωγή αναφορών μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά την αποδοτικότητα της διαχείρισης τεχνικών έργων.

Συνολικά, η παρούσα εργασία καταδεικνύει ότι η χρήση drones στην παρακολούθηση τεχνικών έργων αποτελεί μια ώριμη και πολλά υποσχόμενη τεχνολογική προσέγγιση, η οποία μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της παραγωγικότητας, της ασφάλειας, της

ακρίβειας και της διαφάνειας στη διαχείριση έργων. Παρότι εξακολουθούν να υπάρχουν τεχνικές, θεσμικές και οργανωτικές προκλήσεις, η συνεχής εξέλιξη των αισθητήρων, των λογισμικών επεξεργασίας και των τεχνολογιών αυτοματοποίησης αναμένεται να ενισχύσει περαιτέρω τον ρόλο των drones στον κατασκευαστικό κλάδο. Επομένως, η υιοθέτησή τους, σε συνδυασμό με τις παραδοσιακές μεθόδους και τα σύγχρονα ψηφιακά εργαλεία, μπορεί να αποτελέσει καθοριστικό βήμα προς ένα πιο αποδοτικό, ασφαλές και ψηφιακά ώριμο μοντέλο διαχείρισης τεχνικών έργων.

Βιβλιογραφικές αναφορές

- Alaloul, W. S., Qureshi, A. H., Musarat, M. A., & Saad, S. (2021). *Evolution of close-range detection and data acquisition technologies towards automation in construction progress monitoring* (Τόμ. 43, 102877). *Journal of Building Engineering*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102877>
- Caballero-Martin, D., Lopez-Guede, J., Estevez, J., & Grana, M. (2024). Artificial Intelligence Applied to Drone Control: A State of the Art. *Drones*, 8, 296. doi:<https://doi.org/10.3390/drones8070296>
- Choi, H.-W., Kim, H.-J., Kim, S.-K., & Na, W. S. (2023). *An overview of drone applications in the construction industry* (Τόμ. 7, 515). *Drones*.
- Dilaksha, S., Ranadewa, K. A., Weerasooriya, D., Parameswaran, A., & Weerakoon, P. (2024). Comparative analysis of challenges in manual and automated construction progress monitoring in Sri Lanka. (σσ. 379-394). *Proceedings of the 12th World Construction Symposium*. doi:<https://doi.org/10.31705/WCS.2024.30>
- DJI. (2022). *MAVIC 3 / MAVIC 3 V2.0, User Manual*. Ανάκτηση από <http://www.dji.com/mavic-3>.
- du Plessis, J., & Amoah, C. (2025). Factors hindering the use of unmanned aerial vehicles for construction project monitoring. *Discover Applied Sciences*, 7(782). doi:<https://doi.org/10.1007/s42452-025-07414-2>
- Freimuth, H., & König, M. (2018). Planning and executing construction inspections with unmanned aerial vehicles. *Automation in Construction*, 96, 540-553. doi:<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.10.016>
- Gautam, T., & Johari, R. (2023). *Drone: A systematic review of UAV technologies* (Τόμ. 664). Springer Nature Singapore.
- Gupta, S., & Nair, S. (2023). A review of the emerging role of UAVs in construction site safety monitoring. *Materials Today: Proceedings*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.135>

- Han, C. (2026). BIM-Integrated UAV-Based Defect Detection With Edge Computing for Infrastructure Inspection. *Internet Technology Letters*, 9(1). doi:<https://doi.org/10.1002/itl2.70180>
- Han, D., Lee, S. B., Song, M., & Cho, J. S. (2021). Change detection in unmanned aerial vehicle images for progress monitoring of road construction. *Buildings*, 11 (4). doi:<https://doi.org/10.3390/buildings11040150>
- Hashem, I. A., Zerdoumi, S., Jhanjhi, N. Z., Siddiqua, A., & Foufou, S. (2025). Optimization and performance analysis of Drones and Unmanned Aerial Systems and Their Intelligence Applications. *International Journal of Cognitive Computing in Engineering*, 7, 128-144. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijcce.2025.10.004>
- Horton, L., Cabral, K., Surgenor, B., Givigi, S., & Woods, J. (2024). A Framework for Autonomous Inspection of Bridge Infrastructure using Uncrewed Aerial Vehicles. *2024 IEEE International Systems Conference (SysCon)* |. doi:[10.1109/SysCon61195.2024.10553518](https://doi.org/10.1109/SysCon61195.2024.10553518)
- Hu, X., & Assaad, R. H. (2023). *The use of unmanned ground vehicles (mobile robots) and unmanned aerial vehicles (drones) in the civil infrastructure asset management sector: Applications, robotic platforms, sensors, and algorithms* (Τόμ. 232, 120897). Expert Systems With Applications.
- Jacob-Loyola, N., Muñoz-La Rivera, F., Herrera, R. F., & Atencio, E. (2021). Unmanned aerial vehicles (UAVs) for physical progress monitoring of construction. *Sensors*, 21 (12). doi:<https://doi.org/10.3390/s21124227>
- Jiang, Y., Huang, Y., Liu, J., Li, D., Li, S., Nie, W., & Chung, I.-H. (2022). Automatic volume calculation and mapping of construction and demolition debris using drones, deep learning, and GIS. *Drones*, 6 (10). doi:<https://doi.org/10.3390/drones6100279>
- Kaamin, M., Fahmizam, M. A., Jefri, A. S., Sharom, M. H., Kadir, M. A., Nor, A. H., & Supar, K. (2023). Progress Monitoring at Construction Sites Using UAV Technology. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1140(1). IOP Publishing. doi:[10.1088/1755-1315/1140/1/012025](https://doi.org/10.1088/1755-1315/1140/1/012025)

- Liang, H., Lee, S.-C., Bae, W., Kim, J., & Seo, S. (2023). *Towards UAVs in construction: Advancements, challenges, and future directions for monitoring and inspection* (Τόμ. 7(3), 202). Drones.
- Lyu, C., Lin, S., Lynch, A., Zou, Y., & Liarokapis, M. (2025). UAV-based deep learning applications for automated inspection of civil infrastructure. *Automation in Construction*, 177. doi:<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2025.106285>
- Moschetta, J.-M., & Namuduri, K. (2017). Introduction to UAV systems. Στο *UAV networks and communications* (σσ. 1-25). Cambridge University Press. doi:<https://doi.org/10.1017/9781316335765.002>
- Munawar, H. S., Ullah, F., Heravi, A., Thaheem, M. J., & Maqsoom, A. (2022). Inspecting Buildings Using Drones and Computer Vision: A Machine Learning Approach to Detect Cracks and Damages. *Drones*, 6(5). doi:<https://doi.org/10.3390/drones6010005>
- Palomino Ojeda, J. M., Quiñones Huatangari, L., Cayatopa Calderón, B. A., Piedra Tineo, J. L., Apaza Panca, C. Z., & Milla Pino, M. E. (2024). *Estimation of the physical progress of work using UAV and BIM in construction projects* (Τόμ. 10(2)). Civil Engineering Journal. doi:<http://dx.doi.org/10.28991/CEJ-2024-010-02-02>
- Rachmawati, T. S., & Kim, S. (2022). *Unmanned aerial vehicles (UAV) integration with digital technologies toward construction 4.0: A systematic literature review* (Τόμ. 14, 5708). Sustainability.
- Rehman, M. S., Shafiq, M. T., Ullah, F., & Ahmed, K. G. (2023). *A critical appraisal of traditional methods of construction progress monitoring*. Built Environment Project and Asset Management. doi:10.1108/BEPAM-02-2023-0040
- Reja, V. K., Varghese, K., & Ha, Q. P. (2022). *Computer vision-based construction progress monitoring* (Τόμ. 138, 104245). Automation in Construction.
- Ren, T., Zhao, X., & Jebelli, H. (2025). Advanced Sensor Integration for Enhanced Flight Control in UAV-Based Construction Automation. *42nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2025)*.

- Salem, T., Dragomir, M., & Chatelet, E. (2024). Strategic integration of drone technology and digital twins for optimal construction project management. *Applied Sciences*, 14(11), 4787. doi:<https://doi.org/10.3390/app14114787>
- Serejo, G. L., dos Santos, V. A., Silva, A. F., & dos Santos, C. G. (2025). *CPMTech: A technology-based model for construction progress monitoring* (Τόμ. 13). IEEE Access.
- Shwetha, A., Karthik, M., Ramanna, N., & Bibang, G. B. (2025). Emerging Trends in Remote Sensing and Geospatial Technologies for Construction Industry: A Comprehensive Review. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, X-5/W2-2025, 643-656. doi:<https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-5-W2-2025-643-2025>
- Tan, Y., Li, G., Cai, R., Ma, J., & Wang, M. (2022). Mapping and modelling defect data from UAV captured images to BIM for building external wall inspection. *Automation in Construction*, 139. doi:<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104284>
- Tatum, M., & Liu, J. (2017). Unmanned Aircraft System Applications In Construction. *Procedia Engineering*, 196, 167-175. doi:doi: 10.1016/j.proeng.2017.07.187
- Turan, M. (2025). Integration of Drone Systems in the Construction Industry: Applications. (σσ. 1-4). Conference: 2025 IEEE XVII International Scientific and Technical Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE). doi:10.1109/APEIE66761.2025.11289377
- Valavanis, K. P., & Vachtsevanos, G. J. (2015). *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*. Springer Reference. doi:10.1007/978-90-481-9707-1
- Villarino, A., Valenzuela, H., Antón, N., Domínguez, M., & Méndez Cubillos, X. C. (2025). *UAV applications for monitoring and management of civil infrastructures* (Τόμ. 10, 106). *Infrastructures*. doi:<https://doi.org/10.3390/infrastructures10050106>
- Yingdong, L., Zhijun, L., Zhijie, Y., & Jun, Z. (2025). Development of advanced progress recognition algorithms for construction monitoring. *PLOS One*. doi:<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0333262>

- Zhang, L., Pan, Y., Wu, X., & Skibniewski, M. J. (2021). Artificial Intelligence in Construction Engineering and Management (Lecture Notes in Civil Engineering). 163. Springer. doi:<https://doi.org/10.1007/978-981-16-2842-9>
- Zhang, T., Grzelak, D., Zhao, W., Islam, M. A., Fricke, H., & Aßmann, U. (2025). *A review on the construction, modeling, and consistency of digital twins for advanced air mobility applications.* Drones. doi:<https://doi.org/10.3390/drones9060394>
- Χατζόπουλος, Ι., & Χατζοπούλου, Ν. (2025). *Γεωχωροπληροφορική Τοπογραφία* (2η εκδ.). Εκδόσεις Τζιόλα.

«Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν. 1599/1986 η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/ δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.»