



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**Βελτιστοποίηση του Ταχέως Οπτικού Ελέγχου των Κατασκευών
με την ένταξη Σύγχρονων Τεχνολογιών**



Φοιτήτρια: Μαράκη Ειρήνη

ΑΜ: civ232017093

Επιβλέπων Καθηγητής

Πλούταρχος Κέρπελης

Λέκτορας ΠΑΔΑ

ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2024

ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING**

Diploma Thesis

Optimization of Speed and Accuracy in Rapid Visual Inspection of Structures through Modern Technologies



Student: Maraki Eirini

Registration Number: civ232017093

Supervisor

Ploutarchos Kerpelis

Lecturer UNIWA

DECEMBER 2024

ATHENS-EGALEO

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

Υπογραφή	Υπογραφή	Υπογραφή
Δρ Κέρπελης Πλούταρχος Λέκτορας ΠΑΔΑ Επιβλέπων	Δενεζάκη Σταυρούλα Λέκτορας Εφαρμογών ΠΑΔΑ	Γαλάνης Θεόδωρος Ακαδημαϊκός Υπότροφος ΠΑΔΑ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και Μαράκη Ειρήνη, Δεκέμβριος 2024

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

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

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Μαράκη Ειρήνη του Στυλιανού, με αριθμό μητρώου ein232017093 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου.

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι και έπειτα από αίτησή μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντος καθηγητή.»

Η Δηλούσα
(Ονοματεπώνυμο φοιτήτριας)

(Υπογραφή φοιτήτριας)

ΑΦΙΕΡΩΣΗ

Αφιερώνω τη διπλωματική μου εργασία σε όλους όσους στάθηκαν δίπλα μου και με ενθάρρυναν κατά τη διάρκεια αυτής της απαιτητικής αλλά και δημιουργικής διαδρομής. Πρώτα απ' όλα, στους γονείς μου, που με την αγάπη, την υπομονή και την αστείρευτη στήριξή τους αποτέλεσαν το θεμέλιο για κάθε βήμα μου. Η πίστη τους στις δυνατότητές μου υπήρξε η κινητήρια δύναμη πίσω από κάθε πρόκληση που κλήθηκα να αντιμετωπίσω. Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου Πλούταρχο Κέρπελη Λέκτορα ΠΑΔΑ για την καθοδήγηση, την επιστημονική υποστήριξη και τις πολύτιμες συμβουλές του, που με βοήθησαν να εξελιχθώ τόσο ακαδημαϊκά όσο και προσωπικά. Οι παρατηρήσεις και οι κατευθύνσεις του έδωσαν νόημα και προοπτική στην εργασία αυτή. Ένα ιδιαίτερο ευχαριστώ στη θεία μου, που με την καλοσύνη, την αφοσίωση και την έμπρακτη υποστήριξή της αποτέλεσε πηγή έμπνευσης και δύναμης. Οι συζητήσεις μας, η ενθάρρυνσή της και η φροντίδα της ήταν ανεκτίμητες για εμένα, ιδιαίτερα στις στιγμές που η πίεση ήταν μεγάλη.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω την ειλικρινή μου ευγνωμοσύνη σε όλους όσοι συνέβαλαν στην ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Αρχικά, ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου Πλούταρχο Κέρπελη Λέκτορα ΠΑΔΑ για την πολύτιμη καθοδήγηση, την υποστήριξη και την επιστημονική του εμπειρία, που αποτέλεσαν θεμέλιο για την επιτυχία αυτής της εργασίας. Η υπομονή, οι κατευθύνσεις του και η πίστη του στις δυνατότητές μου, μου έδωσαν το κίνητρο να εξελίξω το έργο αυτό όσο το δυνατόν περισσότερο. Ιδιαίτερη ευχαριστία απευθύνω στην οικογένειά μου, που με την αμέριστη υποστήριξη και κατανόησή της, υπήρξε πηγή δύναμης σε κάθε βήμα αυτής της διαδικασίας. Θέλω επίσης να ευχαριστήσω τη θεία μου, που υπήρξε για εμένα ένας πολύτιμος σύμβουλος και αρωγός, προσφέροντας όχι μόνο πρακτική βοήθεια αλλά και ψυχολογική ενίσχυση σε κρίσιμες στιγμές. Οι συζητήσεις μας και η ενθάρρυνσή της με βοήθησαν να παραμείνω προσηλωμένος στους στόχους μου. Τέλος, ευχαριστώ όλους τους συναδέλφους, φίλους και συνεργάτες που με ενθάρρυναν καθ' όλη τη διάρκεια της προετοιμασίας της εργασίας αυτής. Η βοήθεια και οι συμβουλές τους υπήρξαν αναπόσπαστο κομμάτι της ολοκλήρωσης αυτού του έργου. Η παρούσα εργασία είναι το αποτέλεσμα συλλογικής προσπάθειας και υποστήριξης, και την αφιερώνω με ευγνωμοσύνη σε όλους όσοι με ενέπνευσαν και με στήριξαν σε αυτήν την πορεία.

Περίληψη

Η εργασία αυτή επικεντρώνεται στη βελτιστοποίηση του Ταχέως Οπτικού Ελέγχου (TOE) των κατασκευών, με έμφαση στη χρήση σύγχρονων τεχνολογικών μέσων για την ενίσχυση της ταχύτητας και της ακρίβειας των διαδικασιών. Ο TOE αποτελεί μια κρίσιμη διαδικασία που εφαρμόζεται πριν είτε μετά από σεισμικά γεγονότα ή άλλες φυσικές καταστροφές, με στόχο την ταχεία αξιολόγηση της σεισμικής επάρκειας και της δομικής ακεραιότητας των κτηρίων.

Στο πρώτο μέρος της μελέτης γίνεται αναφορά στη σημασία του TOE και στην εξέλιξη των αντισεισμικών κανονισμών στην Ελλάδα. Ειδικότερα, παρουσιάζεται η εφαρμογή του προσεισμικού ελέγχου και οι διαδικασίες που ακολουθούνται για την αποτίμηση της δομικής επάρκειας των κτηρίων. Αναγνωρίζονται, επίσης, οι αδυναμίες της παραδοσιακής μεθόδου που βασίζεται στην παρατήρηση από ειδικούς, τονίζοντας την ανάγκη για την ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών που θα επιτρέψουν την ακριβέστερη και ταχύτερη καταγραφή των δεδομένων.

Στη συνέχεια, η μελέτη αναλύει τη χρήση τεχνολογικών μέσων όπως τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (drone), οι σαρωτές laser (Light Detection And Ranging - LiDAR), η μοντελοποίηση πληροφοριών κτιρίου (Building Information Modeling - BIM), τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Geographical Information Systems - GIS), η παρακολούθηση της δομικής υγείας κατασκευών (Structural Health Monitoring - SHM) και η υπέρυθρη θερμογραφία (Infrared Thermography - IT). Τα drone παρέχουν αεροφωτογραφίες υψηλής ανάλυσης, διευκολύνοντας την ταχεία επιθεώρηση ακόμα και σε δυσπρόσιτες περιοχές. Οι σαρωτές laser δημιουργούν λεπτομερή τρισδιάστατα μοντέλα των κτηρίων, αποτυπώνοντας τις δομικές λεπτομέρειες. Το BIM διαχειρίζεται και αναλύει τα δεδομένα, ενώ το GIS προσφέρει χωρική ανάλυση και καταγραφή δεδομένων σχετικά με τις εξωτερικές συνθήκες που επηρεάζουν τις κατασκευές. Τα συστήματα SHM παρακολουθούν σε πραγματικό χρόνο την κατάσταση των κατασκευών μέσω αισθητήρων, ανιχνεύοντας δομικές φθορές. Τέλος, η υπέρυθρη θερμογραφία εντοπίζει αόρατα προβλήματα, όπως υγρασία και θερμομονωτικές ατέλειες, μέσω της καταγραφής θερμοκρασιακών διαφορών.

Στο δεύτερο μέρος της εργασίας παρουσιάζεται ένα πειραματικό μέρος, όπου δοκιμάζονται αυτά τα τεχνολογικά μέσα. Συγκεκριμένα, μέσω της χρήσης drone, LiDAR και BIM, γίνεται ανάλυση ενός κτηρίου, αποδεικνύοντας τη συμβολή τους στη βελτίωση της ταχύτητας και της ακρίβειας της επιθεώρησης. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι νέες τεχνολογίες μπορούν να

μειώσουν τα λάθη που προκύπτουν από την ανθρώπινη παρατήρηση, να επιταχύνουν τη διαδικασία του ελέγχου και να προσφέρουν ακριβέστερες πληροφορίες για την κατάσταση της κατασκευής.

Συμπερασματικά, η ενσωμάτωση των νέων τεχνολογιών στον ΤΟΕ μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ταχύτητα και την ακρίβεια των επιθεωρήσεων, παρέχοντας πιο αξιόπιστες πληροφορίες στους ειδικούς και συμβάλλοντας στη λήψη καλύτερων αποφάσεων για την ασφάλεια και τη συντήρηση των κατασκευών.

Λέξεις – κλειδιά

Προσεισμικός Έλεγχος, Τ.Ο.Ε, Laser Scanners, Υπέρυθρη Θερμογραφία, SHM, Drone, BIM, GIS.

Abstract

This paper focuses on the optimization of Rapid Visual Inspection (RVI) of structures, emphasizing the use of modern technological tools to enhance both the speed and accuracy of the process. Rapid Visual Inspection is a crucial procedure applied after seismic events or other natural disasters, aiming at the swift evaluation of the seismic adequacy and structural integrity of buildings.

In the first part of the study, the importance of RVI and the evolution of seismic regulations in Greece are discussed. Specifically, the application of pre-seismic inspections and the processes followed to assess the structural adequacy of buildings are presented. The shortcomings of the traditional method, which relies on expert observation, are highlighted, underlining the need for integrating new technologies that will allow more precise and faster data collection.

The study then analyzes the use of technologies such as drone, laser scanners (LiDAR), Building Information Modeling (BIM), Geographic Information Systems (GIS), Structural Health Monitoring (SHM) and Infrared Thermography (IT). Drone, with their ability to capture high-resolution aerial photographs, provide a quick and accurate overview of the condition of structures, especially in hard-to-reach areas. Laser scanners enable the creation of 3D models of buildings, capturing details that cannot be recorded by other means. BIM offers the ability to manage and analyze the collected data, while GIS provides spatial analysis of the environmental conditions affecting structures. SHM systems monitor the condition of structures in real time through sensors, detecting structural damages. Finally, Infrared Thermography identifies invisible problems, such as moisture and thermal insulation defects, by recording temperature differences.

In the second part of the study, a practical experiment is presented, where these technological tools are tested. Specifically, through the use of drone, LiDAR, and BIM, a building is analyzed, demonstrating their contribution to improving the speed and accuracy of the inspection. The results reveal that these new technologies can reduce errors that arise from human observation, accelerate the inspection process, and provide more accurate information about the condition of the structure.

In conclusion, the integration of new technologies into Rapid Visual Inspection can significantly improve the speed and accuracy of inspections, providing more reliable

information to experts and contributing to better decision-making regarding the safety and maintenance of structures.

Keywords

Pre-Seismic Inspection, Rapid Visual Screening (RVS), Laser Scanners, Infrared Thermography, SHM, Drone, BIM, GIS.

Περιεχόμενα

Κατάλογος Σχημάτων	14
Κατάλογος Εικόνων	14
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	15
Σκοπός και στόχοι	15
Δομή Μελέτης.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ – ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ	18
1.1 Αντισεισμικοί κανονισμοί στην Ελλάδα.....	18
1.2 Προσεισμικός Έλεγχος	19
1.2.1 Πρωτοβάθμιος Προσεισμικός Έλεγχος.....	20
1.2.2 Η λειτουργία του εντύπου ΤΟΕ και η σημασία του	21
1.2.3 Ανάλυση εντύπου ΤΟΕ για τα κτίρια	22
1.2.4 Επεξήγηση εντύπου ΤΟΕ.....	23
1.3 Ακρίβεια – Εγκυρότητα – Πληρότητα Εντύπου ΤΟΕ.....	27
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΑ ΜΕΣΑ	29
2.1 Laser scanners και ΤΟΕ.....	29
2.1.1 Εισαγωγή στους laser scanners	30
2.1.2 Τύποι Σαρωτών Laser και εφαρμογές τους	31
2.1.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σαρωτών Laser.....	32
2.2 Υπέρυθρη θερμογραφία	33
2.2.1 Θεμελιώδεις αρχές της υπέρυθρης θερμογραφίας	34
2.2.2 Είδη θερμικών καμερών	34
2.2.3 Υπέρυθρη θερμογραφία και ΤΟΕ	35
2.2.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα υπέρυθρης θερμογραφίας	36
2.3 Εφαρμογή Polycam.....	36
2.3.1 Οφέλη της Χρήσης του Polycam στον Τ.Ο.Ε	37
2.4 Συστήματα παρακολούθησης δομικής υγείας (SHM)	38
2.4.1 Οφέλη του Συστήματος Παρακολούθησης Δομικής υγείας	39
2.4.2 Συστήματα παρακολούθησης δομικής υγείας και ΤΟΕ	40
2.5 Μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (drone) και ΤΟΕ	41

2.5.1	Διαφορές των Εναέριων οχημάτων (drone) και των Συστημάτων Αεροφωτογράφησης Απομακρυσμένων χώρων (UAV - drone)	43
2.5.2	Σχεδιασμός πτήσης UAVs - drone και ορολογία εναέριων αποτυπώσεων	43
2.5.3	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των UAV - drone.....	44
2.6	Μοντέλο δομικών πληροφοριών (BIM)	44
2.6.1	Μοντέλο δομικών πληροφοριών (BIM) και TOE	46
2.6.2	Η Τεχνητή Νοημοσύνη και το BIM στην Αντισεισμική Κατασκευή Κτηρίων.....	48
2.7	Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS).....	49
2.7.1	Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS)	50
2.8	Συνδυασμός Συστημάτων BIM και GIS.....	51
2.8.1	Συνδυασμός Συστημάτων BIM και GIS 3D για Βιώσιμη Ανάπτυξη	51
2.8.2	Οφέλη ενοποίησης BIM και GIS.....	52
2.9	Προκλήσεις και Περιορισμοί των Τεχνολογικών Μέσων υπό Διάφορες Συνθήκες	54
3	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο: ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ	59
3.1	Ανάλυση – Επεξήγηση Ερωτηματολογίου	59
3.2	Ερωτηματολόγιο.....	61
4	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο: Πειραματικό Μέρος	76
4.1	Διαδικασία Εκτέλεσης TOE με Χρήση drone και Νέων Τεχνολογιών	76
4.1.1	Συλλογή Απαραίτητων Εγγράφων	76
4.1.2	Αυτοψία στο Σημείο	76
4.2	Χρήση drone	79
4.2.1	Οργάνωση Διαδρομής του Drone μέσω Εφαρμογής	79
4.2.2	Εντοπισμός Συντεταγμένων Σημείων με GPS	81
4.2.3	Έναρξη Διαδρομής του Drone	81
4.2.4	Επεξεργασία Δεδομένων στο Γραφείο	82
5	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο: Συμπεράσματα	86
	Βιβλιογραφία –Αναφορές -Διαδικτυακές Πηγές	89
	Βιβλιογραφία από Διαδικτυακές Πηγές	94

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1: Υφιστάμενα Κτήρια στην Ελλάδα ανάλογα με την περίοδο κατασκευής	19
Σχήμα 2 : Πλεονεκτήματα του SHM	40

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Πίνακας μέσων Μηνιαίων Τιμών Ανέμων στο Αιγαίο	55
Πίνακας 2: Πίνακας μέσων Μηνιαίων Τιμών Ανέμων στη Μακεδονία.....	55
Πίνακας 3: Παράγοντες που Επηρεάζουν τον Ταχύ Οπτικό Έλεγχο με Χρήση Σύγχρονων Τεχνολογικών Μέσων	57

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 : Σαρωτής laser	31
Εικόνα 2: Κάμερα Υπέρυθρης θερμογραφίας.....	33
Εικόνα 3 : Η αρχή λειτουργίας του συστήματος SHM σε ένα πολυώροφο κτήριο.....	39
Εικόνα 4 : Χρήση Drone σε κατασκευή.....	42
Εικόνα 5 : BIM σε διαφορετικές Χρήσεις	46
Εικόνα 6 : Βελτιώσεις για το Σχεδιασμό Πόλεων.....	53
Εικόνα 7 : Χάρτης Σεισμικής Επικινδυνότητας.....	56
Εικόνα 8 : Νέφος σημείων	78
Εικόνα 9 : Νέφος σημείων – Εντοπισμός φθοράς.....	78
Εικόνα 10 : Νέφος σημείων - Εντοπισμός φθοράς	79
Εικόνα 11 : Οργάνωση Διαδρομής Drone	80
Εικόνα 12 : Σημεία επιλογής συντεταγμένων	81
Εικόνα 13 : Συντεταγμένες σε περιβάλλον Autocad.....	82
Εικόνα 14 : Αρχείο Συντεταγμένων	82
Εικόνα 15 : Φωτογραφίες και Συντεταγμένες σε περιβάλλον QGIS	83
Εικόνα 16 : Ορθοφωτομωσαϊκό.....	84
Εικόνα 17 : Νέφος Σημείων – Όψη Α.....	84
Εικόνα 18 : Νέφος Σημείων – Όψη Β.....	85

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το 2020 εγκρίθηκε από τον Οργανισμό Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ) η 5η έκδοση του κανονισμού για τον Πρωτοβάθμιο Αντισεισμικό Έλεγχο των κτηρίων, με την ονομασία «Ταχύς Οπτικός Έλεγχος -ΤΟΕ». Το 2024 κυκλοφόρησε η 6η και τελευταία έκδοση αυτού του κανονισμού (ΦΕΚ 2943/β/4-5-23). Ο έλεγχος αυτός αφορά στην αξιολόγηση της σεισμικής επάρκειας ενός κτηρίου πριν ή μετά από ένα σεισμικό γεγονός. Περιλαμβάνει ενημερωμένες διαδικασίες και μεθοδολογίες για τη διενέργεια του ελέγχου, ενώ δίνει έμφαση στη χρήση ψηφιακών μέσων και τεχνολογιών για την καταγραφή και αξιολόγηση των κτηρίων. Παράλληλα, προβλέπει την υποχρεωτική καταχώρηση των κτηρίων στην ηλεκτρονική πλατφόρμα του ΤΕΕ και την εκπαίδευση των μηχανικών μέσω διαδικτυακών σεμιναρίων. Ο έλεγχος αυτός αφορά την αξιολόγηση της σεισμικής επάρκειας ενός κτηρίου πριν ή μετά από ένα σεισμικό γεγονός. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι κατά βάση η παρατήρηση από τους ειδικούς και η συμπλήρωση του Δελτίου Προσεισμικού Ελέγχου. Η μορφή του δελτίου αυτού μέχρι πρόσφατα ήταν έντυπη, πλέον διατίθεται σε ηλεκτρονική μορφή. Η μέθοδος της παρατήρησης ως η παραδοσιακή μέθοδος του ΤΟΕ παρουσιάζει ορισμένες αδυναμίες, τη στιγμή που κυρίως βασίζεται στην ικανότητα του ειδικού και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την προσβασιμότητα της πληγείσας περιοχής για τον άνθρωπο. Επιπλέον, από τη μεθοδολογία του ΤΟΕ απουσιάζουν σύγχρονα ψηφιακά μέσα. Ο εκσυγχρονισμός του ΤΟΕ με σύγχρονα εργαλεία και μεθόδους αποτέλεσε το ερευνητικό πεδίο της παρούσας εργασίας, κατά βάση σε θεωρητικό και εν μέρει σε εμπειρικό επίπεδο.

Σκοπός και στόχοι

Συγκεκριμένα, η παρούσα μελέτη έχει ως σκοπό την πρόταση ενός εκσυγχρονισμένου πρωτοβάθμιου προσεισμικού ελέγχου που θα αποδώσει ένα ενημερωμένο και ολοκληρωμένο δελτίο επιθεώρησης των κατασκευών, συμβάλλοντας έτσι στη συνολική ενίσχυση της σεισμικής ασφάλειας στο δομημένο περιβάλλον. Για την επίτευξη αυτού του σκοπού τεθήκαν ορισμένοι επιμέρους στόχοι. Πρώτος στόχος της παρούσας εργασίας είναι να αξιολογήσει τα κριτήρια και τις μεθόδους που χρησιμοποιεί το παρόν δελτίο ΤΟΕ ως προς τη διασφάλιση της εγκυρότητας, της ακρίβειας και της πληρότητας του και αν τελικά διευκολύνει αποτελεσματικές στρατηγικές διαχείρισης κινδύνου παρέχοντας ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο για την αξιολόγηση της σεισμικής τρωτότητας των κτηρίων. Δεύτερος κρίσιμος στόχος της εργασίας είναι να ελέγξει την ευθυγράμμιση της παρούσας διαδικασίας αξιολόγησης με τα

σύγχρονα ηλεκτρονικά και ψηφιακά μέσα και τις αντίστοιχες σύγχρονες μεθόδους και να προτείνει την ένταξη σύγχρονων εργαλείων και μεθόδων στον ΤΟΕ με κριτήριο τη δυνατότητα που θα δοθεί στους επαγγελματίες να διενεργούν αξιολογήσεις και να διατυπώνουν κρίσεις με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια, ταχύτητα και συστηματικότητα. Κατά συνέπεια, η επικαιροποιημένη αυτή αξιολόγηση πρέπει να αποτυπωθεί και σε ένα επικαιροποιημένο με βάση τις σύγχρονες τεχνολογίες Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου, η σύνταξη του οποίου αποτελεί και τον τρίτο στόχο της εργασίας.

Δομή Μελέτης

Στο 1^ο κεφάλαιο αναφέρεται η εξέλιξη των αντισεισμικών κανονισμών στην Ελλάδα, όπως προέκυψε μέσα από τα δεδομένα και τις ανάγκες της χώρας, και βασίζονται στα σεισμικά γεγονότα των διαφόρων περιοχών (Ενότητα 1.1). Στη συνέχεια περιγράφεται η διαδικασία, οι μέθοδοι και τα μέσα που χρησιμοποιούνται στην παρούσα φάση στον πρωτοβάθμιο προσεισμικό έλεγχο ή αλλιώς ΤΟΕ (Ενότητα 1.2), και εντέλει αξιολογείται τη διαδικασία αυτή και εντοπίζονται αδυναμίες, οι οποίες αποτελούν και το σημείο εκκίνησης της παρούσας μελέτης (Ενότητα 1.3).

Στο 2ο κεφάλαιο αναζητούνται τα σύγχρονα τεχνολογικά και επιστημονικά επιτεύγματα που είναι δυνατό και θεμιτό να χρησιμοποιηθούν στη διαδικασία του ΤΟΕ εισάγοντας παράλληλα νέες μεθόδους. Αρχικά αναφέρονται οι σαρωτές laser, εργαλείο με το οποίο μπορούμε να αξιολογήσουμε τη δομική τρωτότητα του κτηρίου καθώς η σάρωση εντοπίζει τις ασυνέχειες στη δομή μέσω της αντανάκλασης του laser (Ενότητα 2.1). Στη συνέχεια αναφέρεται η υπέρυθη θερμογραφία, διαδικασία που εκτελείται με κάμερα υπέρυθρης ακτινοβολίας η οποία αξιολογεί την κατάσταση του κτηρίου και εντοπίζει τυχόν προβλήματα (Ενότητα 2.2). Επιπλέον γίνεται αναφορά στην εφαρμογή polycam που βοηθάει στην τρισδιάστατη απεικόνιση κάθε κατασκευής με τη χρήση lidar αισθητήρων συνεισφέροντας στον Τ.Ο.Ε (Ενότητα 3.3). Έπειτα παρουσιάζονται τα συστήματα παρακολούθησης δομικής υγείας (structural health monitoring – SHM), μία μέθοδος που διενεργείται με αισθητήρες που παρακολουθούν την εξέλιξη της κατάστασης της δομικής υγείας του κτηρίου στην πάροδο του χρόνου (Ενότητα 2.4). Τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (drone) αποτελούν, επίσης, ένα σύγχρονο εργαλείο προκειμένου να εντοπιστούν τα τρωτά σημεία μιας κατασκευής μέσω καμερών με τις οποίες είναι εξοπλισμένα (Ενότητα 2.5). Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στο Building Information Modeling (B.I.M), πρόγραμμα το οποίο στοχεύει κατά κύριο λόγο στην πρόληψη της σεισμικής τρωτότητας ενός κτηρίου, προκειμένου να περιοριστούν οι ζημιές που θα προκληθούν από ένα σεισμικό γεγονός, αλλά είναι δυνατόν να συμμετέχει

αποτελεσματικά και στην εκτίμηση των ζημιών αποσκοπώντας στην γρήγορη αποκατάστασή τους. Το πρόγραμμα B.I.M σε συνδυασμό με άλλα λογισμικά Τεχνητής Νοημοσύνης μπορούν να αναλύσουν πολύ μεγάλο όγκο δεδομένων προσδιορίζοντας τη μέγιστη δυνατή αντοχή του κτηρίου (Ενότητα 2.6). Τέλος, παρουσιάζεται το Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (G.I.S) το οποίο χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ενός τρισδιάστατου γεωγραφικού μοντέλου (Ενότητα 2.7). Στην επόμενη ενότητα γίνεται αναφορά στη δυνατότητα συνένωσης των προγραμμάτων B.I.M και G.I.S. , με την οποία μπορεί ο ειδικός να διαχειριστεί τη χωρική και τη μη χωρική πληροφορία ενός κτηρίου (Ενότητα 2.8). Σε καθεμία από τις παραπάνω ενότητες εντοπίζονται και αναφέρονται οι αδυναμίες και τα πλεονεκτήματα των εργαλείων και των προγραμμάτων που μελετώνται, το κόστος και τα οφέλη τους. Τέλος γίνεται μια περιγραφή των δυσκολιών και περιορισμών που αντιμετωπίζουν τα τεχνολογικά εργαλεία, όπως το drone, ταLiDAR και το BIM, σε διαφορετικές περιβαλλοντικές και λειτουργικές συνθήκες, εστιάζοντας στην απόδοση, την ακρίβεια και τις τεχνικές απαιτήσεις τους. Επίσης, παρουσιάζεται ενδεικτικά μία πρόταση δελτίου συμπλήρωσης στοιχείων κατά τον ΤΟΕ προσαρμοσμένου στη χρήση των νέων εργαλείων και μεθόδων εξασφαλίζοντας έτσι πιο λεπτομερή και ακριβή αποτελέσματα για την κατάσταση των κτιρίων.

Στο δεύτερο μέρος της εργασίας(Κεφ. 3), παρουσιάζεται ένα νέο ερωτηματολόγιο ταχύ οπτικού ελέγχου, το οποίο έχει σχεδιαστεί για να παρέχει ένα δομημένο πλαίσιο αξιολόγησης της σεισμικής τρωτότητας των κατασκευών. Το ερωτηματολόγιο συνδυάζει τις αρχές του υπάρχοντος δελτίου προσεισμικού ελέγχου του ΟΑΣΠ με σύγχρονα τεχνολογικά μέσα, εξασφαλίζοντας έτσι πιο λεπτομερή και ακριβή αποτελέσματα για την κατάσταση των κτιρίων.

Η εργασία καταλήγει σε συμπεράσματα που προκύπτουν από τη μελέτη σχετικά με τη χρήση των νέων τεχνολογικών μέσων κατά τη διαδικασία του ΤΟΕ και σε σύγκριση με τις καθιερωμένες και ισχύουσες μεθόδους. Τέλος παρουσιάζεται μια πρακτική εφαρμογή της ενσωμάτωσης των νέων τεχνολογιών ενδεικτικά στο Δελτίο ΤΟΕ ενός κτηρίου με τη χρήση drone, GPS και τεχνολογιών σάρωσης για τον εντοπισμό φθορών στη συνέχεια γίνεται επεξεργασία των δεδομένων σε BIM για να διαπιστωθούν οι ανάγκες αποκατάστασης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ – ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

1.1 Αντισεισμικοί κανονισμοί στην Ελλάδα

Η Ελλάδα, λόγω της γεωγραφικής θέσης της, είναι μια από τις πιο σεισμογενείς περιοχές στον κόσμο. Οι σεισμοί αποτελούν μια διαρκή απειλή για τη χώρα, καθιστώντας απαραίτητη την ύπαρξη και τη συνεχή βελτίωση των αντισεισμικών κανονισμών. Η ιστορία των αντισεισμικών κανονισμών στην Ελλάδα αντικατοπτρίζει τις προσπάθειες για την ασφάλεια των κατασκευών και την προστασία της ανθρώπινης ζωής από τους σεισμούς.

Οι πρώτοι οργανωμένοι αντισεισμικοί κανονισμοί στην Ελλάδα εμφανίστηκαν μετά τον καταστροφικό σεισμό των Ιονίων Νήσων το 1953, ο οποίος προκάλεσε τεράστιες καταστροφές και απώλειες ζωών. Αυτό το τραγικό γεγονός οδήγησε στην εισαγωγή των πρώτων αντισεισμικών κανονισμών, που εστίαζαν στις βασικές αρχές της αντισεισμικής κατασκευής, όπως η ανθεκτικότητα και η σταθερότητα των κτηρίων, θέτοντας τα θεμέλια για τη μετέπειτα εξέλιξη της αντισεισμικής προστασίας στη χώρα.

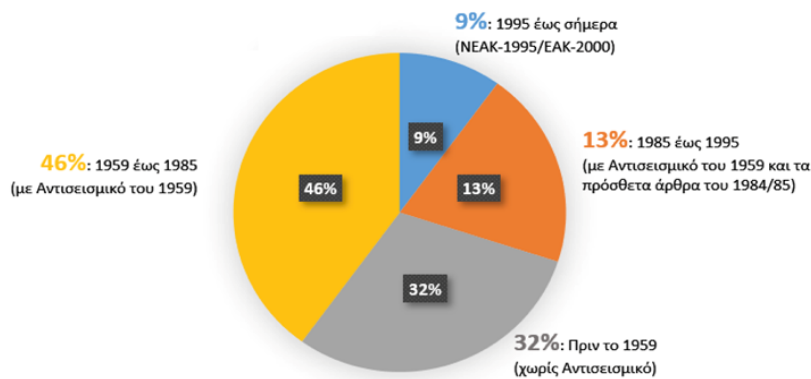
Το 1959, η Ελλάδα εφάρμοσε τον πρώτο της εθνικό αντισεισμικό κανονισμό. Αυτός ο κανονισμός είχε ως κύριο στόχο την ενίσχυση των νέων κατασκευών, ώστε να αντέχουν καλύτερα στους σεισμούς. Η εμπειρία από μετέπειτα σεισμούς, όπως ο σεισμός της Θεσσαλονίκης το 1978, παρουσίασε την ανάγκη για αναθεώρηση και βελτίωση των κανονισμών. Έτσι, το 1984 εισήχθη ένας νέος αντισεισμικός κανονισμός, λαμβάνοντας υπόψη τις τελευταίες επιστημονικές εξελίξεις και θέτοντας αυστηρότερα πρότυπα για τις κατασκευές.

Η δεκαετία του 1990 ήταν μια περίοδος σημαντικών αλλαγών για τους αντισεισμικούς κανονισμούς στην Ελλάδα. Μετά τους καταστροφικούς σεισμούς της Αττικής το 1981 και της Καλαμάτας το 1986, ο αντισεισμικός κανονισμός αναθεωρήθηκε το 1995 για να συμπεριλάβει πιο αυστηρά κριτήρια για την αντισεισμική θωράκιση των κτηρίων. Αυτή η αναθεώρηση εισήγαγε νέες τεχνικές και μεθόδους ανάλυσης, ανατακλώντας την αυξανόμενη κατανόηση της σεισμικής συμπεριφοράς των κατασκευών και την ανάγκη για ακόμα πιο ασφαλή κτήρια.

Το 2000, η Ελλάδα υιοθέτησε τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (ΕΑΚ 2000), ο οποίος εναρμονίστηκε με τις ευρωπαϊκές προδιαγραφές και περιλάμβανε προηγμένες τεχνικές ανάλυσης και σχεδιασμού. Ο ΕΑΚ 2000 εισήγαγε καινοτομίες όπως η μη γραμμική ανάλυση και η χρήση μοντέλων προσομοίωσης για την αξιολόγηση της σεισμικής απόκρισης των κτηρίων. Αυτός ο κανονισμός αποτέλεσε ένα σημαντικό βήμα προς την κατεύθυνση της

βελτίωσης της αντισεισμικής προστασίας στη χώρα, καθιστώντας τις κατασκευές πιο ανθεκτικές και ασφαλείς.

Τα τελευταία χρόνια, οι αντισεισμικοί κανονισμοί στην Ελλάδα συνεχίζουν να εξελίσσονται (Σχήμα 1). Οι αναθεωρήσεις του ΕΑΚ και η ενσωμάτωση των ευρωπαϊκών προτύπων (Eurocodes) ενισχύουν συνεχώς την ασφάλεια των κατασκευών. Η Ελλάδα, μέσω της εφαρμογής αυτών των κανονισμών, παραμένει στην πρωτοπορία της αντισεισμικής τεχνολογίας, με στόχο την προστασία των πολιτών της από τους κινδύνους των σεισμών και την ελαχιστοποίηση των ζημιών που προκαλούν (ΓΓΠΠ 2023, Σταματίου -Τσάφου 2013).



Σχήμα 1: Υφιστάμενα Κτήρια στην Ελλάδα ανάλογα με την περίοδο κατασκευής (ΓΓΠΠ 2023, Σταματίου-Τσάφου 2013).

1.2 Προσεισμικός Έλεγχος

Ο προσεισμικός έλεγχος είναι η αξιολόγηση της σεισμικής τρωτότητας ενός κτιρίου. Πολλοί είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν τη σεισμική συμπεριφορά των κτιρίων, όπως η χρονική περίοδος της κατασκευής, η μελέτη και η εφαρμογή αυτής, τα υλικά της κατασκευής και τέλος το μέγεθος του αναμενόμενου σεισμού. Ο προσεισμικός έλεγχος ανατέθηκε στον ΟΑΣΠ το 1997 για κτίρια δημόσιας και κοινωφελούς χρήσης και τέθηκε σε εφαρμογή το 2001. Ο προσεισμικός έλεγχος διακρίνεται σε έλεγχο δομικής και μη δομικής τρωτότητας και ο βασικότερος σκοπός του είναι μία πρώτη αποτίμηση της σεισμικής ικανότητας των κτιρίων, ώστε να πραγματοποιηθεί περαιτέρω έλεγχος και να ληφθούν μέτρα σε περίπτωση ανάγκης. Ο έλεγχος γίνεται σε επίπεδο Περιφέρειας από τους υπεύθυνους για τη λειτουργία και την ασφάλεια του κτιρίου. Ο προσεισμικός έλεγχος αποτελείται από τρία στάδια, το πρώτο στάδιο είναι ο πρωτοβάθμιος που αποτελεί μια πρώτη αξιολόγηση της φέρουσας σεισμικής ικανότητας και γίνεται με τη βοήθεια του ΤΟΕ. Το δεύτερο στάδιο είναι ο δευτεροβάθμιος προσεισμικός έλεγχος που ακολουθεί τον πρωτοβάθμιο σε περίπτωση ανεπάρκειας του κτιρίου. Τέλος, στο τρίτο στάδιο είναι ο τριτοβάθμιος προσεισμικός έλεγχος που

πραγματοποιείται σε κτίρια που έχουν χαρακτηριστεί ως ανεπαρκή, έπειτα από τον δευτεροβάθμιο έλεγχο και σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 και τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. (Βορδονάκης, 2020).

1.2.1 Πρωτοβάθμιος Προσεισμικός Έλεγχος

Πολλά στοιχεία του πρωτοβάθμιου προσεισμικού έλεγχου έχουν υιοθετηθεί από τον αντίστοιχο αμερικανικό. Σκοπός του σχεδιασμού του ΤΟΕ είναι η γρήγορη και εύκολη αξιολόγηση της σεισμικής επάρκειας της κατασκευής. Με βάση τη συμπλήρωση του εντύπου γίνεται αξιολόγηση και βαθμολόγηση των κτιρίων ανάλογα με τον δομικό τύπο της κατασκευής, παίρνει την αρχική βαθμολογία η οποία επηρεάζεται από τη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας της περιοχής και από τα βασικά δομικά χαρακτηριστικά. Η καταληκτική βαθμολογία θα καθοριστεί από τις ιδιομορφίες κάθε κατασκευής που επηρεάζουν τη σεισμική συμπεριφορά της κατά τη διάρκεια ενός σεισμού (Βορδονάκης, 2020).

Ο πρωτοβάθμιος προσεισμικός έλεγχος ή ΤΟΕ αποτελεί το πρώτο στάδιο προσεισμικού ελέγχου και επιτυγχάνεται με την επιτόπου συμπλήρωση του δελτίου προσεισμικού ελέγχου. Στόχος του είναι η εκτίμηση της σεισμικής τρωτότητας με μία απλοποιημένη και τυποποιημένη διαδικασία για τη συλλογή των απαραίτητων στοιχείων. Το δελτίο αποτελείται από πέντε ενότητες. Στην Α ενότητα αναφέρονται στοιχεία που αφορούν την ταυτότητα του κτιρίου (νόμος, διεύθυνση, δήμος και τα λοιπά), στην ενότητα Β τα τεχνικά χαρακτηριστικά (αριθμός ορόφων, έτος κατασκευής και άλλα), στην ενότητα Γ αναφέρονται στα γεωτεχνικά και σεισμολογικά χαρακτηριστικά (κατηγορία εδάφους κ.τ.λ.), στην ενότητα Δ ο δομικός τύπος που επιλέγεται με τη βοήθεια του σχετικού πίνακα και τέλος την ενότητα Ε γίνεται αναφορά στα στοιχεία τρωτότητας του κτιρίου (π.χ. χωρίς αντισεισμικό κανονισμό, μαλακός όροφος και άλλα χαρακτηριστικά). Η διαδικασία της βαθμολόγησης της κατασκευής γίνεται ως εξής: αρχικά, αφού καταταχθεί το κτίριο σύμφωνα με το δομικό του τύπο, ανάλογα με το υλικό κατασκευής, το δομικό σύστημα, το είδος της κατασκευής και το κανονιστικό πλαίσιο της μελέτης κατά τη φάση της κατασκευής γίνεται η βαθμολογική κατάταξη. Έτσι, λαμβάνεται η αρχική βαθμολογία σεισμικού κινδύνου και στη συνέχεια τροποποιείται από τα δομικά χαρακτηριστικά που διαμορφώνουν τη σεισμική του συμπεριφορά. Η κατασκευή λαμβάνει τη βασική βαθμολογία σεισμικού κινδύνου και στη συνέχεια διαμορφώνεται η τελική δομική βαθμολογία σύμφωνα με τα δομικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την τρωτότητα και ποσοτικοποιείται με τους τροποποιητικούς συντελεστές συμπεριφοράς ανάλογα με την επιρροή του στην κατασκευή. Συνεπώς, ο μηχανικός συμπεραίνει ότι, όταν ο τελικός βαθμός είναι μικρότερος ενός ορίου, τότε το κτίριο δεν ανταποκρίνεται στον ελληνικό

αντισεισμικό κανονισμό και απαιτείται περαιτέρω έλεγχος. Συνεπώς, με αυτή τη διαδικασία ολοκληρώνεται ο έλεγχος του ΤΟΕ, σύμφωνα με τον ΟΑΣΠ.

1.2.2 Η λειτουργία του εντύπου ΤΟΕ και η σημασία του

Η σεισμική αξιολόγηση των κτιρίων είναι μια κρίσιμη πτυχή για τη διασφάλιση της δομικής ασφάλειας και ανθεκτικότητας έναντι σεισμών. Στον τομέα των πολιτικών μηχανικών, το έντυπο ταχείας οπτικής επιθεώρησης χρησιμεύει ως εργαλείο ζωτικής σημασίας για την αξιολόγηση της σεισμικής τρωτότητας των κατασκευών. Η σημασία της φόρμας ταχείας οπτικής επιθεώρησης για την αξιολόγηση της σεισμικής τρωτότητας των κτιρίων έγκειται στην ικανότητά της να παρέχει ένα ολοκληρωμένο και αποτελεσματικό πλαίσιο για την αξιολόγηση της δομικής ακεραιότητας. Με την ενημέρωση αυτής της φόρμας, οι επαγγελματίες μπορούν σε επίπεδο πρωτοβάθμιου ελέγχου να παρέχουν δεδομένα ικανά για να κριθεί τυχόν ανάγκη περαιτέρω διερεύνησης της σεισμικής απόκρισης ενός κτιρίου με δευτεροβάθμιο έλεγχο. Το έντυπό ΤΟΕ οφείλει να δίνει στους ειδικούς τη δυνατότητα μιας ακριβούς πρωτοβάθμιας αξιολόγησης και αξιόπιστης για τις περαιτέρω ενέργειες οι οποίες θα πρέπει να είναι σύμφωνες με τα τρέχοντα πρότυπα σεισμικής ασφάλειας.

Πιο συγκεκριμένα το έντυπό ΤΟΕ χρησιμοποιείται προκειμένου να εξασφαλίσει:

1. Έγκαιρη ανίχνευση τρωτών σημείων: Το έντυπο οφείλει να επιτρέπει τον έγκαιρο εντοπισμό πιθανών δομικών αδυναμιών και τρωτών σημείων στα κτίρια, επιτρέποντας στους μηχανικούς και τους επιθεωρητές να λάβουν προληπτικά μέτρα για την αντιμετώπιση αυτών των ζητημάτων.

2. Μετριασμό κινδύνου και ετοιμότητα : Παρέχοντας μια συστηματική προσέγγιση για την αξιολόγηση της σεισμικής τρωτότητας, το έντυπο προβλέπεται να βοηθά στην ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών μετριασμού του κινδύνου και σχεδίων ετοιμότητας έκτακτης ανάγκης. Αυτό συμβάλλει στην ελαχιστοποίηση των πιθανών επιπτώσεων των σεισμικών γεγονότων στα κτίρια και στο περιβάλλον.

3. Καθοδηγούμενες διαδικασίες μετασκευής και αναβάθμισης : Οι πληροφορίες που προκύπτουν από την αξιολόγηση της φόρμας μπορούν να καθοδηγήσουν στοχευμένες διαδικασίες μετασκευής και αναβάθμισης. Αυτό θα διασφαλίσει ότι τα κτίρια έχουν προσαρμοστεί στα τρέχοντα πρότυπα ασφαλείας και είναι καλύτερα εξοπλισμένα για να αντέχουν σε πιθανές σεισμικές δυνάμεις, ενισχύοντας έτσι τη συνολική δομική ανθεκτικότητα.

4. Νομική συμμόρφωση και τήρηση κανονισμών: Η χρήση του εντύπου πρέπει να διευκολύνει τη συμμόρφωση με τις νομικές και κανονιστικές απαιτήσεις που σχετίζονται με

την ασφάλεια του κτιρίου και τη σεισμική ανθεκτικότητα . Η συμμόρφωση με αυτά τα πρότυπα είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της δομικής σταθερότητας και ασφάλειας των κτιρίων, ιδιαίτερα σε περιοχές επιρρεπείς σε σεισμική δραστηριότητα.

5. Λήψη απόφασης βάσει δεδομένων: Η φόρμα θα επιτρέψει τη συλλογή και ανάλυση κρίσιμων δεδομένων που σχετίζονται με την δομική ακεραιότητα του κτιρίου , επιτρέποντας τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων με βάση περιεκτικές και αξιόπιστες πληροφορίες. Αυτή η προσέγγιση βάσει δεδομένων ενισχύει την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας αξιολόγησης, οδηγώντας σε πιο ακριβείς και στοχευμένες παρεμβάσεις.

6. Προώθηση της Δημόσιας Ασφάλειας: Με την προώθηση μιας αυστηρής και τυποποιημένης προσέγγισης για την εκτίμηση της σεισμικής τρωτότητας, το έντυπο αναμένεται να συμβάλει στη διασφάλιση της δημόσιας ασφάλειας και τη δομική ακεραιότητα των κτιρίων . Αυτό είναι απαραίτητο για την ενίσχυση των ανθεκτικών κοινοτήτων και τη μείωση των πιθανών επιπτώσεων των σεισμικών γεγονότων στη ζωή και την ευημερία του κοινού . Ουσιαστικά, η σημασία του εντύπου ΤΟΕ έγκειται στον ρόλο του ως θεμελιώδους εργαλείου για τη διασφάλιση της δομικής ασφάλειας, τη διευκόλυνση της αποτελεσματικής διαχείρισης κινδύνων και την προώθηση της συνολικής ανθεκτικότητας των κτιρίων έναντι των σεισμικών κινδύνων. Η ενημερωμένη φόρμα όχι μόνο μπορεί να διευκολύνει εκτενείς σεισμικές αξιολογήσεις αλλά συμβάλλει στη συνολική ενίσχυση των μέτρων δομικής ασφάλειας εντός του δομημένου περιβάλλοντος. Η αποτελεσματικότητα του εντύπου οπτικού ελέγχου και η επίτευξη των προσδοκώμενων αποτελεσμάτων από τη χρήση του πρέπει να αποτιμάται σε σχέση με τις αρχές της Οικοδομικής που το πλαισιώνουν , τις μεθόδους συλλογής δεδομένων που υιοθετεί, την ευχρηστία και φιλική προς τον χρήστη δομή του, την ενημέρωση του ως προς την περισσότερο πρόσφατη νομοθεσία.

1.2.3 Ανάλυση εντύπου ΤΟΕ για τα κτίρια

Στην ενότητα Α, όπου παρουσιάζεται η ταυτότητα του κτηρίου, ο συντάκτης καλείται να δηλώσει στοιχεία για την απογραφή του κτηρίου, ώστε να καθοριστεί και να προσδιοριστεί με ακρίβεια σε περίπτωση περαιτέρω ελέγχου. Σε περιπτώσεις πολλαπλών αυτοτελών ιδιοκτησιών στην ίδια διεύθυνση, ο συντάκτης πρέπει να αναγράψει έναν αύξοντα αριθμό για κάθε κτήριο. Επίσης, καλείται να εκτιμήσει τον μέγιστο αριθμό ατόμων που συναθροίζονται στο κτήριο σε ένα διάστημα δώδεκα (12) ωρών, με προτεινόμενες τιμές βασισμένες στο συνολικό εμβαδόν του κτηρίου.

Στην ενότητα Β, ο μηχανικός συμπληρώνει δέκα (10) πεδία με τα τεχνικά στοιχεία του κτηρίου. Ο αριθμός των υπόγειων και υπέργειων ορόφων αναγράφεται χωριστά, με το ισόγειο να προσμετράται ως όροφος και μικροκατασκευές να μην υπολογίζονται. Σε επικλινές έδαφος, καταγράφεται ο μεγαλύτερος αριθμός ορόφων από τη χαμηλότερη στάθμη. Ο υπόγειος όροφος πρέπει να είναι κυρίως εντός εδάφους για να μην θεωρηθεί όροφος. Η επιφάνεια της κάτοψης σημειώνεται ως το εμβαδόν ενός τυπικού ορόφου, ενώ το συνολικό εμβαδόν περιλαμβάνει δώμα, πατάρι, σοφίτα και υπόγειο, αλλά όχι εξώστες. Το έτος κατασκευής δηλώνεται ως η χρονολογία μελέτης, ή προσεγγιστικά σε περίπτωση έλλειψης αδειών. Οι τέσσερις κατηγορίες σπουδαιότητας (Σ1, Σ2, Σ3, Σ4) παρουσιάζονται βάσει του ελληνικού αντισεισμικού κανονισμού, και σε περίπτωση αλλαγής χρήσης ή μεικτών χρήσεων, επιλέγεται η δυσμενέστερη κατηγορία.

Στην ενότητα Γ, ο μηχανικός πρέπει να επιλέξει τη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας της περιοχής σύμφωνα με τον αντισεισμικό κανονισμό του 2000, ανεξάρτητα από τον χρόνο μελέτης ή κατασκευής του κτηρίου. Επίσης, ζητείται η κατηγορία εδάφους βάσει του ίδιου κανονισμού, είτε σύμφωνα με τη μελέτη της οικοδομικής άδειας είτε με την εκτίμηση του συντάκτη. Στην ενότητα Δ, ορίζεται ο δομικός τύπος του κτηρίου βάσει του υλικού του φέροντα οργανισμού, χρησιμοποιώντας πίνακες για οπλισμένο σκυρόδεμα, προκατασκευές, φέρουσα τοιχοποιία και χάλυβα. Ο μηχανικός πρέπει να γνωρίζει καλά τις κατηγορίες δομικών τύπων, αλλά αν αυτό δεν είναι δυνατό, κατατάσσει το κτήριο στον πλησιέστερο ή δυσμενέστερο τύπο, περιγράφοντας την κατάσταση. Στην ενότητα Ε, καταγράφονται στοιχεία τρωτότητας της κατασκευής, όπως εφαρμογή αντισεισμικού κανονισμού, αλλαγές χρήσης, επιπτώσεις από προηγούμενους σεισμούς, συντηρήσεις, και κίνδυνοι για γειτονικά κτήρια. Περιλαμβάνονται επίσης τεχνικά στοιχεία όπως ύψος, στρέψη και υποστυλώματα (Μπούτλα, 2023).

1.2.4 Επεξήγηση εντύπου ΤΟΕ

α. Τεχνικά στοιχεία κτιρίου

Πολλοί παράγοντες επηρεάζουν την τρωτότητα μιας κατασκευής. Η χρονική περίοδος μελέτης ή κατασκευής ενός κτιρίου δεν αρκεί για την εκτίμηση της αντισεισμικής του επάρκειας παρόλο που παραπέμπει άμεσα στον ισχύοντα τότε κανονισμό καθώς και την

ποιότητα των υλικών και την τεχνολογία που χρησιμοποιήθηκε . Η μελέτη της εκάστοτε εφαρμογής θα διευκόλυνε την εξακρίβωση της χρονικής περιόδου, των Αντισεισμικών κανονισμών - εφόσον έχουν εφαρμοστεί - και των υλικών που έχουν χρησιμοποιηθεί. Όμως είναι συχνά δαπανηρό και εξαιρετικά δύσκολο να εντοπιστούν οι μελέτες καθώς ορισμένες έχουν χαθεί ενώ δύσκολο είναι να διαπιστωθεί και η ακριβής εφαρμογή τους. Η σεισμική συμπεριφορά μια κατασκευής επηρεάζεται δραστικά από τα κατασκευαστικά της στοιχεία, τους οπλισμούς, τις διατομές, επιπλέον από την ποιότητα των υλικών. Ο έλεγχος και η αξιολόγηση των στοιχείων αυτών χαρακτηρίζεται εξαιρετικά δύσκολος, αφού είναι δύσκολο να ελεγχθούν οπτικά και απαιτούν δαπανηρές μεθόδους και προϋποθέτουν την μερική ή την ολική διακοπή του κτιρίου. Ένας επιπλέον παράγοντας είναι το πλήθος των ορόφων και η ύπαρξη διαφραγματικής λειτουργίας των ορόφων κάθε κατασκευής, καθώς επηρεάζει τις μετακινήσεις των κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία. Αρχικά η διαφραγματική λειτουργία ευνοεί τη μείωση των μετατοπίσεων για τις δύο διευθύνσεις σεισμικής δράσης. Αυξάνοντας το ύψος του κτιρίου μειώνεται η διαφραγματική λειτουργία επηρεάζοντας τη σεισμική συμπεριφορά των κατασκευών. Όσον αφορά την επιρροή του πλήθους των ορόφων στη σεισμική απόκριση, παρατηρείται ότι η αύξηση του ύψους οδηγεί σε σημαντική αύξηση των μέγιστων μετατοπίσεων. Τέλος η Σπουδαιότητα του Κτιρίου επηρεάζει την αντισεισμική του συμπεριφορά. Υπάρχουν τέσσερις κατηγορίες, οι Σ1, Σ2, Σ3, Σ4, που αναφέρονται σε κτίρια μικρής σπουδαιότητας, συνήθη κτίρια όπως κατοικίες, κτίρια τα οποία στεγάζουν εγκαταστάσεις μεγάλης οικονομικής σημασίας και τέλος κτίρια ζωτικής σημασίας που απαιτούν λειτουργία τόσο κατά τη διάρκεια του σεισμού όσο και μετά αντίστοιχα. (Μπούτλα, 2023).

β. Σεισμολογικά και Γεωτεχνικά στοιχεία κτιρίου

Η αντιμετώπιση του σεισμικού κινδύνου στον σχεδιασμό και την κατασκευή τεχνικών έργων αποτελεί θεμελιώδη παράγοντα για την αντισεισμική προστασία. Οι παράμετροι σχεδιασμού των κατασκευών καθορίζονται με βάση τη σεισμική επικινδυνότητα κάθε περιοχής, όπως αυτή αποτυπώνεται στον «Χάρτη Σεισμικής Επικινδυνότητας» της Ελλάδας (ΟΑΣΠ, 2003). Ο χάρτης αυτός αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα του Αντισεισμικού Κανονισμού, ο οποίος διαχωρίζει τη χώρα σε τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας: Ζώνη I, Ζώνη II και Ζώνη III. Οι ζώνες αυτές καθορίζουν τις σεισμικές δυνάμεις που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τον σχεδιασμό και την κατασκευή. Ο πρώτος σεισμικός χάρτης, γνωστός ως «Τεχνικός Σεισμικός Χάρτης», καταρτίστηκε την περίοδο 1986-1989 και τέθηκε σε εφαρμογή το 1995. Στη συνέχεια, αναθεωρήθηκε με βάση νεότερα δεδομένα που προέκυψαν από τη βελτίωση

των σεισμολογικών δικτύων και την εξέλιξη στην καταγραφή ενεργών σεισμικών ρηγμάτων. Ιστορικά, ο αντισεισμικός κανονισμός του 1959 περιλάμβανε έναν χάρτη που διαχώριζε τις κυριότερες οικιστικές περιοχές σε τρεις κατηγορίες σεισμικότητας. Μετά από μεγάλους σεισμούς, το 1986 σχεδιάστηκε ένας νέος χάρτης που ενσωματώθηκε στον τότε αντισεισμικό κανονισμό. Επιπρόσθετα, το 1995 τροποποιήθηκε για να συμπεριλάβει την περιοχή Κοζάνης-Γρεβενών. Ο σημερινός χάρτης βασίζεται κυρίως στην αναμενόμενη σεισμική επιτάχυνση εδαφών και κατηγοριοποιεί τις περιοχές σε ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας, λαμβάνοντας υπόψη τη στρωματογραφία και τις τοπικές γεωτεχνικές συνθήκες. Η κατηγοριοποίηση των εδαφών αποτελεί κρίσιμο στοιχείο, καθώς επηρεάζει την ένταση και την κατανομή των σεισμικών επιταχύνσεων, προσφέροντας έτσι ακριβέστερη εκτίμηση της επίδρασης του εδάφους στη σεισμική δράση (ΟΑΣΠ, 2003).

γ. Δομικός τύπος κτιρίου. Το οπλισμένο σκυρόδεμα είναι το επικρατέστερο δομικό υλικό. Είναι οικονομικό εύπλαστο εύχρηστο και ανθεκτικό. Τέλος, προσφέρεται για μονολιθικές κατασκευές που έχουν μεγάλα περιθώρια αντοχής και ασφάλειας κυρίως στις σεισμικές δράσεις. Η φέρουσα τοιχοποιία ως ένας διαφορετικός δομικός τύπος είναι φιλική προς το περιβάλλον αλλά το βασικότερο πλεονέκτημα της είναι η μεγάλη αντοχή σε θλίψη. Η φέρουσα τοιχοποιία μπορεί να αντέξει μεγάλα θλιπτικά φορτία, συνεπώς έχει ιδιαίτερη αντοχή σε καταστάσεις σεισμού. Τέλος, οι μεταλλικές κατασκευές παρουσιάζουν μεγάλη ευελιξία και ασφάλεια είναι ανθεκτικές σε ανέμους, χιονοπτώσεις, σεισμούς, βροχές και φωτιές σε σχέση με τις συμβατικές κατασκευές. Στην Ελλάδα που χαρακτηρίζεται ως σεισμογενής χώρα η κατασκευή μεταλλικών κτιρίων εγγυάται πλήρη αντισεισμικότητα (Μπούτλα, 2023).

δ. Έλεγχος μη δομικής τρωτότητας κτιρίων

Ο προσεισμικός έλεγχος κτιρίων διενεργεί εκτός από τον έλεγχο δομικής τρωτότητας (φέρων οργανισμός) και τον έλεγχο μη δομικής τρωτότητας (δηλ. στο περιεχόμενο του κτιρίου). Ο έλεγχος μη δομικής τρωτότητας αναφέρεται σε στοιχεία του κτιρίου εκτός του φέροντα οργανισμού της κατασκευής. Η μη δομική τρωτότητα αφορά τον φωτισμό, τα παράθυρα, τις εξωτερικές επενδύσεις, τα έπιπλα κ.α., καθώς και βλάβες που μπορεί να υποστούν διάφορα αντικείμενα με συνέπεια τη διακοπή της λειτουργίας τους. Στο αντίστοιχο έντυπο του ΤΟΕ τα μη δομικά στοιχεία διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- τα αρχιτεκτονικά στοιχεία του κτιρίου που αποτελούν εξωτερικά οι ψευδοροφές, τα παράθυρα, οι πόρτες, και εσωτερικά τα διακοσμητικά στοιχεία κ.λπ.

- το περιεχόμενο του κτιρίου όπως ντουλάπες, ράφια, έπιπλα κ.λπ. και, τέλος,
-εγκαταστάσεις του κτιρίου όπως οι υδραυλικές , ο ανελκυστήρας και τα ηλεκτρομηχανολογικά.

Πολλοί παράγοντες, όπως η σεισμικότητα κάθε περιοχής, οι εδαφικές συνθήκες, οι θέσεις του κάθε στοιχείου στον χώρο κ .λπ. επηρεάζουν τη σεισμική επικινδυνότητα ενός μη δομικού στοιχείου. Οι επικινδυνότητες που προκύπτουν από τις καταστροφές των μη δομικών στοιχείων αναφέρονται κατά βάση σε αντικείμενα που δεν έχουν κάποια στήριξη και διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- Αυτές που προκαλούν κίνδυνο για την ανθρώπινη ζωή – η πιθανότητα τραυματισμού από αντικείμενα,

- Η απώλεια των αγαθών που απαιτεί είτε επισκευή είτε αντικατάσταση λόγω καταστροφής με την απαίτηση κάποιου κόστους και

- Η διακοπή κάποιας λειτουργίας με αποτέλεσμα τη διακοπή μιας παροχής λόγω της καταστροφής. Αντίστοιχα για τον έγκυρο εντοπισμό των μη δομικών , τρωτών στοιχείων υπάρχουν τρεις βασικέςερωτήσεις:

α) αν υπάρξει περίπτωση τραυματισμού σε περίπτωση σεισμού,

β) σε τι βαθμό είναι σημαντική η απώλεια του συγκεκριμένου αντικειμένου και

γ) αν θα υπάρξουν διακοπές σε κρίσιμες λειτουργίες.

Η συμπλήρωση του δελτίου βοηθάει στον εντοπισμό των κινδύνων που μπορεί να προκληθούν από τα μη δομικά στοιχεία . Αφού εντοπιστούν οι επικινδυνότητες πρέπει να χρησιμοποιηθούν διάφοροι τρόποι για την αποφυγή των κινδύνων . Για πολλά αντικείμενα η λύση μπορεί να πραγματοποιηθεί από οποιονδήποτε , ενώ σε άλλα είναι απαραίτητη η συνδρομή κάποιου μηχανικού. Η επικινδυνότητα των μη δομικών στοιχείων βαθμονομείται βάση της παρατήρησης βλαβών από προηγούμενους σεισμούς. Για κατασκευές ειδικής χρήσης ή μεγάλης σπουδαιότητας γίνεται λεπτομερής ανάλυση για τη βλάβη κάθε αντικειμένου. Συμπερασματικά, τα μέτρα που θα ληφθούν πρέπει να είναι τέτοια, ώστε η απώλεια της ανθρώπινης ζωής, η προσωρινή ή μόνιμη διακοπή μιας κρίσιμης λειτουργίας να βρίσκονται πάντα σε χαμηλό επίπεδο, και τέλος η απώλεια των αγαθών να εξαρτάται και από τη σπουδαιότητα της χρήσης του κτιρίου (Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημ. Έργων -ΟΑΣΠ, 2024).

1.3 Ακρίβεια – Εγκυρότητα – Πληρότητα Εντύπου ΤΟΕ

Ο ΤΟΕ κτηρίων αποτελεί μια κρίσιμη διαδικασία για την άμεση εκτίμηση της ασφάλειας και της δομικής ακεραιότητας, ιδιαίτερα μετά από φυσικές καταστροφές όπως σεισμούς. Στον παραδοσιακό έλεγχο, ο ανθρώπινος παράγοντας παίζει καθοριστικό ρόλο, βασιζόμενος στην εμπειρία, την εκπαίδευση και την παρατηρητικότητα του επιθεωρητή. Στην περίπτωση του ανθρώπινου παράγοντα, ένας μηχανικός επιθεωρεί γρήγορα το κτήριο μετά από έναν σεισμό, χρησιμοποιώντας κυρίως την εκπαίδευση/ τις γνώσεις και την εμπειρία του για να εντοπίσει ρωγμές, παραμορφώσεις και άλλες ενδείξεις ζημιών. Η εμπειρία ενός επιθεωρητή κτηρίων είναι επίσης κρίσιμη για τον εντοπισμό διαρθρωτικών προβλημάτων. Ένας έμπειρος επιθεωρητής, μπορεί γρήγορα να εντοπίσει σημεία ενδιαφέροντος και να εκτιμήσει τη σοβαρότητα των ζημιών. Ωστόσο, οι περιορισμοί που συνδέονται με την ανθρώπινη απόδοση, όπως η κόπωση και η υποκειμενικότητα, μπορούν να επηρεάσουν την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα των εκτιμήσεων. Η κατάσταση του νου και της ψυχολογίας του επιθεωρητή υπό συνθήκες χρονικής πίεσης λόγω του όγκου της δουλειάς και των χρονικών ορίων εντός των οποίων πρέπει να γίνει, δυσχεραίνει τη λειτουργία του και είναι δυνατόν να επηρεάσει αρνητικά την αποτελεσματικότητα του οπτικού ελέγχου. Ένας επιθεωρητής που δουλεύει υπό πίεση μπορεί να μην εντοπίσει όλες τις ζημιές ή να κάνει λάθη στις εκτιμήσεις του. Επιπλέον, δεν είναι εφικτό να αναλαμβάνει πάντα τον έλεγχο μηχανικός με εμπειρία σε ανάλογες καταστάσεις. Επίσης, τα χαρακτηριστικά του αντικειμένου του οπτικού ελέγχου δεν είναι ποτέ ίδια, αλλά παραλλάσσουν ως προς τη γεωλογία, τη δόμηση, την δημογραφία κ.λπ., συνεπώς και η εμπειρία είναι σχετική. Τέλος να αναφέρουμε ότι σε ορισμένες περιπτώσεις η παρουσία του ανθρώπου είναι δύσκολη, ριψοκίνδυνη ή αδύνατη, οπότε στην περίπτωση αυτή η αντικατάσταση του ανθρώπου από άλλα μέσα επιβάλλεται.

Συμπερασματικά, οι περιορισμοί που συνδέονται με την ανθρώπινη απόδοση μπορούν να επηρεάσουν την ακρίβεια των εκτιμήσεων, γεγονός που δεν πρέπει να μας αφήνει αδιάφορους. Απαντήσεις στις παραπάνω περιπτώσεις στη σημερινή εποχή μπορεί να δώσει η τεχνολογία και οι σύγχρονες μέθοδοι συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων με τις οποίες συνδέεται. Ενδεικτικά να αναφέρω ότι μια ομάδα από drone εξοπλισμένα με κάμερες υψηλής ανάλυσης και λογισμικό επεξεργασίας εικόνας επιθεωρούν το κτήριο, καταγράφοντας και αναλύοντας κάθε λεπτομέρεια για ζημιές, ενώ παράλληλα αποστέλλουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο σε μια κεντρική μονάδα επεξεργασίας. Επίσης, ένα λογισμικό ανάλυσης εικόνας βασισμένο στην τεχνητή νοημοσύνη, εκπαιδευμένο με χιλιάδες εικόνες από ζημιές σε κτήρια, μπορεί να αναγνωρίσει αυτόματα και να αξιολογήσει τη σοβαρότητα των ζημιών σε

πραγματικό χρόνο, παρέχοντας μια ακριβή και συνεπή εκτίμηση. Οι παραπάνω εκτιμήσεις αποτελούν και το κίνητρο διεξαγωγής της παρούσας μελέτης, η οποία παρουσιάζει αναλυτικά σύγχρονα τεχνολογικά εργαλεία και μεθόδους που είναι δυνατόν να συμπεριληφθούν στη διαδικασία του ΤΟΕ, όπως προτείνει και η διεθνής βιβλιογραφία. Μάλιστα, επιπλέον λόγο για την διενέργεια της παρούσας μελέτης αποτέλεσε η απουσία επάρκειας σχετικών αναφορών στην ελληνική βιβλιογραφία.

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΑ ΜΕΣΑ

2.1 Laser scanners και TOE

Ο TOE κτηρίων, που διευκολύνεται από σαρωτές laser, αντιπροσωπεύει μια πρωτοποριακή προσέγγιση για την αξιολόγηση της δομικής ακεραιότητας, ασφάλειας και ανθεκτικότητας. Σε μια εποχή που χαρακτηρίζεται από αυξημένη αστικοποίηση, γήρανση των υποδομών και το διαρκώς διαφαινόμενο φάσμα των φυσικών καταστροφών, η ανάγκη για αποτελεσματικές και ολοκληρωμένες αξιολογήσεις κτηρίων δεν ήταν ποτέ πιο επιτακτική. Οι σαρωτές laser, αξιοποιώντας τη δύναμη της προηγμένης οπτικής και των τεχνικών μέτρησης ακριβείας, προσφέρουν μια λύση σε αυτήν την πρόκληση.

Στον πυρήνα του, το TOE στοχεύει να εντοπίζει γρήγορα κτήρια που μπορεί να είναι ευάλωτα σε σεισμικά γεγονότα, τυφώνες ή άλλους κινδύνους, επιτρέποντας την κατά προτεραιότητα κατανομή των πόρων και περαιτέρω προσπάθειες μετριασμού του κινδύνου. Οι παραδοσιακές μέθοδοι αξιολόγησης κτηρίων συχνά περιλαμβάνουν χρονοβόρες χειροκίνητες επιθεωρήσεις, οι οποίες μπορεί να είναι επιρρεπείς σε ανθρώπινο λάθος και να μην έχουν το βάθος ανάλυσης που απαιτείται για τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων. Οι σαρωτές laser, από την άλλη πλευρά, παρέχουν ένα μη επεμβατικό μέσο για τη λήψη εξαιρετικά λεπτομερών τρισδιάστατων αναπαραστάσεων δομών, καταγράφοντας περίπλοκες γεωμετρίες και συνθήκες επιφάνειας με απaráμιλλη ακρίβεια.

Η διαδικασία ξεκινά με την ανάπτυξη εξοπλισμού σάρωσης laser, που συνήθως αποτελείται από μια μονάδα σαρωτή τοποθετημένη σε τρίποδο ή συσκευή χειρός. Αυτοί οι σαρωτές εκπέμπουν παλμούς φωτός laser που αναπηδούν από τις επιφάνειες μέσα στο κτήριο, καταγράφοντας εκατομμύρια σημεία δεδομένων μέσα σε λίγα λεπτά. Τα προκύπτοντα σημειακά δεδομένα νέφους σχηματίζουν ένα ψηφιακό αντίγραφο του εσωτερικού και του εξωτερικού του κτηρίου, αποτυπώνοντας τα πάντα, από αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά έως πιθανές δομικές αδυναμίες.

Μόλις ολοκληρωθεί η σάρωση, προηγμένοι αλγόριθμοι λογισμικού αναλύουν τα δεδομένα για τον εντοπισμό ανωμαλιών, αξιολογούν τη δομική σταθερότητα και εκτιμούν την τρωτότητα με βάση τα καθιερωμένα κριτήρια και πρότυπα. Αυτή η αυτοματοποιημένη προσέγγιση εκσυγχρονίζει τη διαδικασία αξιολόγησης καθιστώντας την αξιόπιστη, μειώνοντας τον χρόνο και τους πόρους που απαιτούνται σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους. Επιπλέον, δίνει τη δυνατότητα στους μηχανικούς και τους ανταποκριτές έκτακτης

ανάγκης να εντοπίζουν γρήγορα κτήρια που ενδέχεται να απαιτούν περαιτέρω αξιολόγηση ή επισκευή για να ενισχύσουν την ανθεκτικότητά τους.

Πέρα από την εφαρμογή του στη μείωση του κινδύνου καταστροφών, το TOE με σαρωτές laser προσφέρει μυριάδες οφέλη σε διάφορους τομείς. Στον τομέα της συντήρησης ιστορικών κτηρίων, για παράδειγμα, επιτρέπει στους αρμόδιους να τεκμηριώνουν και να παρακολουθούν ψηφιακά την κατάσταση των κτηρίων πολιτιστικής κληρονομιάς, βοηθώντας τις προσπάθειες αποκατάστασης και τον μακροπρόθεσμο σχεδιασμό συντήρησης. Στο πλαίσιο της ανάπτυξης υποδομών, διευκολύνει την αξιολόγηση των δικτύων μεταφορών, των υπηρεσιών κοινής ωφέλειας και των κρίσιμων εγκαταστάσεων, διασφαλίζοντας τη συνεχή λειτουργικότητα και ασφάλειά τους έναντι των εξελισσόμενων απειλών.

Καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να προοδεύει, η ενσωμάτωση της σάρωσης laser με την τεχνητή νοημοσύνη και την προγνωστική ανάλυση υπόσχεται ακόμη μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα και ακρίβεια στην αξιολόγηση κτηρίων. Με κάθε καινοτομία στο λογισμικό του είτε στο hardware του, το TOE με σαρωτές laser επιβεβαιώνει ότι αποτελεί ακρογωνιαίο λίθο της προληπτικής διαχείρισης κινδύνου και της ανθεκτικής αστικής ανάπτυξης, δίνοντας τη δυνατότητα στις κοινότητες να προστατεύουν το δομημένο περιβάλλον τους για τις επόμενες γενιές.

2.1.1 Εισαγωγή στους Laser scanners

Η χρήση των επίγειων σαρωτών Laser (Εικόνα 1) διευκολύνουν την αξιολόγηση της ασφάλειας αποδίδοντας με ακρίβεια και ταχύτητα τις δομικές πληροφορίες ενός κτηρίου. Η διαδικασία της σάρωσης ξεκινάει με την απόκτηση δομικών δεδομένων που επιτυγχάνεται με χρήση ακτινοβολίας σε χαμηλή ισχύ ώστε να αποφευχθεί ο κίνδυνος φθοράς της κατασκευής η οποία σαρώνεται. Αρχικά γίνεται η σάρωση της περιοχής ενδιαφέροντος με πληροφορίες που αποδίδονται σε σημεία συντεταγμένων X, Y, Z και δημιουργώντας ένα νέφος σημείων. Ακολουθεί επεξεργασία των δεδομένων αυτών μέσω ειδικών προγραμμάτων που επεξεργάζονται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή δημιουργώντας το τρισδιάστατο μοντέλο για τις ανάγκες τοπογραφικών εργασιών και άλλων (Ζούπης,2015).

Η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων επηρεάζεται από την ακρίβεια με την οποία γίνονται οι μετρήσεις. Για να επιτύχουμε ένα άρτιο αποτέλεσμα στα δεδομένα που παράγονται είναι επιτακτικό να εξετάσουμε τους παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβεια της αποτύπωσης. Αρχικά πρέπει να καθοριστεί η μέθοδος καθώς και η ταχύτητα της σάρωσης. Στη συνέχεια πρέπει να ληφθεί υπόψιν η απόσταση του σαρωτή από το αντικείμενο που μας ενδιαφέρει,

αλλά και η ανακλαστικότητα των επιφανειών του, οι μαύρες επιφάνειες απορροφούν την ακτινοβολία σε αντίθεση με τις άσπρες όπου την ανακλούν. Το μέγεθος της κουκίδας του laser επηρεάζει την ακρίβεια της αποτύπωσης. Σημειώνεται ότι όσο μικρότερο είναι το μέγεθος της κουκίδας τόσο πιο εύκολος είναι ο ορισμός του σημείου αποτύπωσης. Ο «θόρυβος» είναι οι άχρηστες πληροφορίες όπως δέντρα ή φυτά που αποτυπώνονται και η θερμοκρασία καθώς οι σαρωτές λειτουργούν σε ένα συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασιών. Τέλος η πυκνότητα της σάρωσης, ο θόρυβος και η θερμοκρασία που επικρατεί στην ατμόσφαιρα είναι μερικοί επιπλέον παράγοντες που επηρεάζουν το αποτέλεσμα σάρωσης. Η πυκνότητα της σάρωσης αφορά τον καθορισμό του βήματος μεταξύ των διαδοχικών σημείων. (Κατωγιάννης, 2013).



Εικόνα 1 : Σαρωτής laser (ISCANO, 2023)

2.1.2 Τύποι Laser-Scanner και εφαρμογές τους

Υπάρχουν ποικίλες τεχνικές που εφαρμόζονται κατά τη διεξαγωγή της διαδικασίας της σάρωσης. Αρχικά υπάρχουν οι σαρωτές Time-of-Flight (ToF) οι οποίοι μετρούν το χρόνο που χρειάζεται για να ταξιδέψει ένας παλμός laser και να επιστρέψει για να καθορίσει την απόσταση και χρησιμοποιείται συνήθως για εφαρμογές μικρού έως μεσαίου εύρους και είναι κατάλληλη για τη λήψη λεπτομερειών εσωτερικών χώρων. Επιπλέον υπάρχουν οι σαρωτές

μετατόπισης φάσης οι οποίοι μετρούν τη μετατόπιση φάσης του φωτός laser που ανακλάται από την επιφάνεια του αντικειμένου για να υπολογίσουν την απόσταση. Είναι συνήθως πιο ακριβείς από τους σαρωτές ToF και είναι κατάλληλοι τόσο για εφαρμογές μικρής όσο και μεγάλης εμβέλειας, συμπεριλαμβανομένης της χαρτογράφησης και της τοπογραφίας σε εξωτερικούς χώρους. Άλλος ένας τύπος σαρωτών είναι οι φορητοί σαρωτές laser, που είναι τοποθετημένοι σε οχήματα ή σε drone και καταγράφουν δεδομένα καθώς κινούνται. Χρησιμοποιούνται συνήθως για μεγάλης κλίμακας χαρτογράφηση, παρακολούθηση υποδομών και έργα πολεοδομίας. Τέλος υπάρχουν οι σαρωτές laser χειρός και είναι συμπαγείς συσκευές, λειτουργούν χειροκίνητα και είναι ιδανικές για τη λήψη λεπτομερών δεδομένων σε περιορισμένους χώρους ή δυσπρόσιτες περιοχές. Χρησιμοποιούνται συνήθως για τη διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς και επιθεωρήσεις ποιοτικού ελέγχου.

Οι σαρωτές Laser εφαρμόζονται σε πολλαπλά πεδία δίνοντας δεδομένα που οι μέχρι στιγμής μέθοδοι δεν μπορούσαν να παρέχουν. Αρχικά η μέθοδος της σάρωσης με laser βρίσκει εφαρμογή στην τοπογραφία και την χαρτογράφηση των περιοχών ενδιαφέροντος. Χρησιμοποιούνται ευρέως σε θέματα κατασκευής πολιτικών μηχανικών και τοπογράφων όπως η δημιουργία ακριβών τοπογραφικών χαρτών, ψηφιακών μοντέλων υψομέτρου (DEMs) και προφίλ εδάφους. Στην συνέχεια αρχιτέκτονες και σχεδιαστές χρησιμοποιούν σαρωτές Laser για να καταγράψουν τις υπάρχουσες συνθήκες κτηρίου και να τις ενσωματώσουν στο λογισμικό BIM για έλεγχο, ανακαίνιση – αναδιαμόρφωση αλλά και αποκατάσταση. Τέλος οι σαρωτές Laser διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στη διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς, βοηθώντας τους ερευνητές να την μελετήσουν και να την προστατεύσουν (Ζούπης, 2015).

2.1.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σαρωτών Laser

Η μέθοδος σάρωσης με την χρήση των σαρωτών laser παρουσιάζει μια πληθώρα τόσο θετικών όσο και αρνητικών στοιχείων. Αρχικά η χρήση επίγειων σαρωτών laser επιτρέπει τη γρήγορη και ακριβή απόκτηση μεγάλου όγκου δεδομένων, καθώς οι σαρωτές μπορούν να καταγράψουν τοπογραφικές πληροφορίες και την τρισδιάστατη δομή κτηρίων με εξαιρετική ακρίβεια και ταχύτητα. Αυτό επιτρέπει στους μηχανικούς να αναλύουν ταχύτητα την κατάσταση ενός κτηρίου και να εντοπίζουν πιθανά προβλήματα και φθορές. Επιπλέον η χρήση laser σαρωτών αποφεύγει την ανάγκη για επικίνδυνες και χρονοβόρες μεθόδους επιθεώρησης, όπως η ανάβαση σε ύψιστα σημεία. Αυτό μειώνει τον κίνδυνο ατυχημάτων και εξασφαλίζει την ασφάλεια των προσώπων που εμπλέκονται. Η σάρωση με laser μπορεί να πραγματοποιηθεί ακόμη και σε δύσκολα προσβάσιμες περιοχές όπως σκοτεινοί χώροι ή σημεία με υψηλό κίνδυνο. Επιπλέον από τη σάρωση παράγεται ένα ψηφιακό αντίγραφο το

οποίο επιτρέπει την ανάλυση και την παρατήρηση του, και παράγονται ακόμη πολλά προϊόντα όπως τομές με μετρήσεις υψηλής ακρίβειας (Παπαδόπουλος 2011, Ζούπης 2015). Ωστόσο, υπάρχουν και ορισμένα μειονεκτήματα που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Η συχνότητα του laser μπορεί να παρεμβαίνει με ορισμένα υλικά όπως λείες επιφάνειες και να προκαλεί ανακλάσεις ή απώλεια δεδομένων. Επιπλέον, η απόκτηση και η επεξεργασία των δεδομένων απαιτεί εξειδικευμένο εξοπλισμό και λογισμικό, που μπορεί να αυξάνει το κόστος και το χρονικό πλαίσιο της αξιολόγησης (Ζούπης, 2015). Παρά τα παραπάνω, η μέθοδος σάρωσης με Laser Scanners παραμένει ένα ισχυρό εργαλείο για την αξιολόγηση των κτηρίων, που συνδυάζει την ακρίβεια και την ταχύτητα με την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα.

2.2 Υπέρυθρη θερμογραφία

Η υπέρυθρη θερμογραφία, γνωστή και ως θερμική απεικόνιση, είναι μια μη καταστροφική τεχνική δοκιμής που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση και την απεικόνιση διαφορών θερμοκρασίας στις επιφάνειες αντικειμένων και κατασκευών. Χρησιμοποιεί κάμερες υπέρυθρης ακτινοβολίας (Εικόνα 2) για να συλλάβει τη θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από αντικείμενα, η οποία στη συνέχεια μεταφράζεται σε οπτική εικόνα όπου διαφορετικές θερμοκρασίες αντιπροσωπεύονται από διαφορετικά χρώματα ή αποχρώσεις. Στο πλαίσιο των κτηρίων, η υπέρυθρη θερμογραφία διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στον εντοπισμό ανωμαλιών και πιθανών ζητημάτων που σχετίζονται με την διείσδυση υγρασίας και τη δομική ακεραιότητα. Συνεπώς, η μέθοδος της υπέρυθρης θερμογραφίας μπορεί να βρει εφαρμογή στον ΤΟΕ τη στιγμή που αποτελεί μια αποτελεσματική μέθοδο για την αξιολόγηση της κατάστασης των κτηρίων και τον εντοπισμό πιθανών προβλημάτων.



Εικόνα 2: Κάμερα Υπέρυθρης θερμογραφίας (Assedrani Official, 2023)

2.2.1 Θεμελιώδεις αρχές της υπέρυθρης θερμογραφίας

Οι υπέρυθρες κάμερες έχουν σχεδιαστεί για να ανιχνεύουν και να καταγράφουν αυτή την ακτινοβολία, μετατρέποντάς την σε οπτική αναπαράσταση. Διαφορετικά υλικά έχουν διαφορετικές τιμές εκπομπής, οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν την ακρίβεια των μετρήσεων θερμοκρασίας. Η εκπομπή αναφέρεται στην απόδοση με την οποία ένα αντικείμενο εκπέμπει υπέρυθρη ακτινοβολία. Οι υπέρυθροι θερμογράφοι πρέπει να υπολογίσουν την εκπομπή κατά την ερμηνεία θερμικών εικόνων για να εξασφαλίσουν ακριβείς μετρήσεις θερμοκρασίας. Μέσω της υπέρυθρης θερμογραφίας δεν γίνεται απευθείας απεικόνιση της θερμοκρασίας αλλά μετρείται η θερμική αντίθεση για τον εντοπισμό των διακυμάνσεων της. Στην περίπτωση ασυνεχειών και ατελειών στο υλικό της κατασκευής παρατηρούνται θερμικές διακυμάνσεις καθιστώντας εφικτό τόσο τον εντοπισμό της θέσης της ασυνέχειας όσο και τη σοβαρότητα της κατάστασης (Ντουντουλάκης, 2020).

2.2.2 Είδη θερμικών καμερών

Οι δύο βασικοί τύποι θερμικών καμερών που χρησιμοποιούνται στην υπέρυθρη θερμογραφία διακρίνονται στους ψυχόμενους και μη ψυχόμενους ανιχνευτές. Όσον αφορά τους ψυχόμενους ανιχνευτές χρησιμοποιούνται σε θερμικές κάμερες υψηλής απόδοσης, όπου ο αισθητήρας ψύχεται ενεργά κρατώντας το σε χαμηλές θερμοκρασίες συνήθως μέσω υγρών ψύξης. Αυτή η μέθοδος επιτρέπει την υψηλή ανάλυση και ευαισθησία στο φάσμα των θερμοκρασιών καθιστώντας τους ιδανικούς για εφαρμογές που απαιτούν υψηλή ανάλυση και ακρίβεια. Αντιθέτως οι μη ψυχόμενοι ανιχνευτές δεν απαιτούν ψύξη και λειτουργούν σε θερμοκρασία δωματίου. Είναι πιο απλοί και οικονομικοί σε σύγκριση με τους ψυχόμενους αλλά παρουσιάζουν χαμηλότερη ανάλυση και ευαισθησία και είναι ιδανικοί για εφαρμογές που απαιτούν μικρότερο κόστος και μεγάλη φορητότητα.

Για την επιλογή του κατάλληλου συστήματος θερμικής απεικόνισης πρέπει να ληφθούν υπόψη κάποια κριτήρια. Σε αρκετές περιπτώσεις πρέπει να αναλογιστούμε το ζήτημα του βάρους και της φορητότητας του συστήματος. Επιπλέον εξαιτίας της πολυπλοκότητας είναι ουσιώδες να συνοδεύεται η χρήση της θερμικής κάμερας από κατάλληλο λογισμικό που θα επεξεργάζεται τις εικόνες και θα παράγει θερμογραφικές αναφορές. Η ποιότητα της θερμικής κάμερας είναι κρίσιμος παράγοντας για την ακριβή θερμογράφιση. Σημαντικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν υψηλή ανάλυση και ευαισθησία και μεγάλο εύρος μέτρησης θερμοκρασίας. Ακόμη πρέπει να αναφέρουμε ότι σε ορισμένες περιπτώσεις ο απομακρυσμένος έλεγχος της θερμικής κάμερας είναι αναγκαίος λόγω περιορισμένης πρόσβασης σε εξεταζόμενες περιοχές. Σε περίπτωση απομακρυσμένων περιοχών ή σε

περιοχές χωρίς πρόσβαση σε ηλεκτρική ενέργεια η θερμική κάμερα πρέπει να διαθέτει μακράς διάρκειας συσσωρευτές. Τέλος το κόστος της αγοράς, της συντήρησης του εξοπλισμού αλλά και της λειτουργίας της θερμικής κάμερας είναι ένας κρίσιμος παράγοντας για την επιλογή του κατάλληλου συστήματος θερμικής απεικόνισης (Ντουντουλάκης,2020).

2.2.3 Υπέρυθρη θερμογραφία και ΤΟΕ

Η υπέρυθη θερμογραφία αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο που προσαρμόζεται εύκολα σε ποικίλες εφαρμογές. Η υπέρυθη θερμογραφία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορους τομείς, όπου ο εντοπισμός προβλημάτων επιτυγχάνεται μέσω της ανίχνευσης θερμοκρασιακών διαφορών. Κάποιοι από τους κύριους τομείς εφαρμογής περιλαμβάνουν μηχανολογικά συστήματα, περιβαλλοντικές εφαρμογές, συστήματα στέγασης και κατασκευές (Τζουβαδάκης, 2012).

Η υπέρυθη θερμογραφία συνδέεται με τον ΤΟΕ όσον αφορά τις κατασκευές, όπου είναι εφικτή η ανάλυση των θερμικών απωλειών σε διάφορους τύπους κτηρίων όπως σε κατοικίες. Ακόμη μπορεί να εντοπιστεί η ύπαρξη υγρασίας μέσω επιθεωρήσεων αλλά και να γίνει έλεγχος ανίχνευσης διαρροών. Τέλος, αλλά εξίσου σημαντικό, είναι ότι με τη συμβολή της υπέρυθρης θερμογραφίας πραγματοποιούνται έλεγχοι για την αξιολόγηση της αντοχή του σκυροδέματος. Μπορεί να αναγνωριστούν τα υλικά που βρίσκονται κάτω από μια ομοιόμορφη επιφάνεια, να εντοπιστούν είτε εσωτερικές ασυνέχειες είτε ρωγμές στα υλικά και η ύπαρξη υγρασίας (Τζουβαδάκης, 2012).

Η υπέρυθη θερμογραφία συμπληρώνει τον ΤΟΕ παρέχοντας πρόσθετες πληροφορίες και αυξάνοντας την αποτελεσματικότητά του ελέγχου. Αν και ο ΤΟΕ είναι ιδιαίτερα χρήσιμος για την ανίχνευση οπτικών ζημιών, όπως ρωγμών ή σπασίματος, η υπέρυθη θερμογραφία παρέχει πληροφορίες για την θερμική απόκλιση στις επιφάνειες (Τζουβαδάκης, 2012).

Μέσω της υπέρυθρης θερμογραφίας, είναι δυνατόν να ανιχνευθούν περιοχές με ανωμαλίες στη θερμοκρασία που δεν είναι ορατές με γυμνό μάτι. Αυτές οι ανωμαλίες μπορεί να είναι σημάδια υγρασίας, απώλειας θερμότητας ή άλλων προβλημάτων που ενδέχεται να συνδέονται με δομικές ατέλειες. Η υπέρυθη θερμογραφία, λοιπόν, λειτουργεί ως μέθοδος προειδοποίησης και προσδιορισμού περιοχών που αξίζει να εξεταστεί πιο πολύ μέσω του ΤΟΕ (Ανδρεάκης, 2017).

Με τον συνδυασμό των δύο αυτών τεχνικών, ο ελεγκτής μπορεί να αναπτύξει έναν πιο ολοκληρωμένο και ακριβή εντοπισμό προβλημάτων στο κτήριο. Κατόπιν, μπορούν να γίνουν κατάλληλα μέτρα συντήρησης ή επισκευής, προλαμβάνοντας έτσι την περαιτέρω εξάπλωση των προβλημάτων και την επίδειξη της κατάστασης του κτηρίου.

2.2.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα υπέρυθρης θερμογραφίας

Η υπέρυθρη θερμογραφία προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα σε διάφορους τομείς, αλλά ταυτόχρονα υπάρχουν και ορισμένα μειονεκτήματα που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Αρχικά εξετάζονται τα θετικά σημεία αυτής της μεθόδου. Πρόκειται για μια ταχεία ανίχνευση προβλημάτων της κατασκευής καθιστώντας τη μια γρήγορη μέθοδο. Επιπλέον δεν απαιτεί την απομάκρυνση των χρηστών από το σημείο ελέγχου καθώς είναι μια ασφαλής μέθοδος και δεν εμπλέκονται επιβλαβείς ακτινοβολίες για τον ανθρώπινο οργανισμό. Αποτελεί μια σχετικά εύκολη οπτική μέθοδο και για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων δεν είναι απαραίτητη η εμπειρία. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων είναι ευκολότερο να αποθηκευτούν και να γίνουν αντικείμενο διαχείρισης σε ψηφιακή μορφή. Υπάρχουν ολοκληρωμένα πακέτα λογισμικού που παρέχουν εργαλεία για την ανάλυση και την επεξεργασία των θερμικών εικόνων. Αξίζει να σημειωθεί ότι μπορεί να προβλεφθεί η διάρκεια ζωής του εξοπλισμού. Επίσης, η μέθοδος της υπέρυθρης θερμογραφίας μπορεί να βοηθήσει στην αποφυγή πιθανών βλαβών, με σκοπό την εξοικονόμηση χρόνου αλλά και κόστους. Τέλος, το βασικότερο πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι αποτελεί μια μη καταστρεπτική τεχνική και δεν επηρεάζει τη κατάσταση της κατασκευής (Φλώρος 2010, Τζουβαδάκης 2012).

Ωστόσο, αυτή η μέθοδος παρουσιάζει κάποια τρωτά σημεία που πρέπει να παρουσιαστούν. Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να έχει περιορισμένη διακριτική ικανότητα στην ανίχνευση μικρών ελαττωμάτων και να αποκαλύπτει διαφορές στη θερμοκρασία μόνο επιφανειακά. Επιπλέον, παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η υγρασία και οι συνθήκες φωτισμού μπορεί να επηρεάσουν την ακρίβεια των μετρήσεων. Σε ορισμένες περιπτώσεις η πρόσβαση είναι αρκετά δύσκολη λόγω εξωτερικών παραγόντων, όπως η βλάστηση που γίνεται εμπόδιο στη λήψη σημαντικών φωτογραφιών. Πρέπει να αναφερθεί ότι οι συσκευές υπέρυθρης θερμογραφίας μπορεί να είναι σχετικά ακριβές και η εκπαίδευση για την ορθή χρήση τους απαιτεί χρόνο και πόρους (Φλώρος 2010, Τζουβαδάκης 2012).

2.3 Εφαρμογή Polycam

Η εφαρμογή Polycam αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο 3D σάρωσης που αξιοποιεί την τεχνολογία LiDAR για τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων αντικειμένων, χώρων και κτιρίων. Συγκεκριμένα, η τεχνολογία LiDAR (Light Detection and Ranging) χρησιμοποιεί laser για την καταγραφή αποστάσεων, παράγοντας ακριβείς σύννεφα σημείων (point clouds) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διάφορες εφαρμογές.

Η Polycam ξεχωρίζει για την ευκολία χρήσης της. Χρησιμοποιώντας τη δυνατότητα σάρωσης μέσω LiDAR που διαθέτουν συσκευές όπως τα iPhone Pro μοντέλα, η εφαρμογή επιτρέπει τη δημιουργία γρήγορων δισδιάστατων και τρισδιάστατων αποτυπώσεων χώρων. Οι χρήστες μπορούν να δημιουργήσουν κατόψεις, αρχιτεκτονικά μοντέλα, και ψηφιακά αντίγραφα για την εικονική πραγματικότητα (AR/VR) ή ακόμα και για χρήση σε περιβάλλοντα Metaverse. Επιπλέον, μέσω της λειτουργίας "Room Mode", επιτυγχάνεται ταχύτατη καταγραφή εσωτερικών χώρων, όπου αντικείμενα και έπιπλα μπορούν να αναγνωριστούν αυτόματα και να ενσωματωθούν στα μοντέλα (Askar & Sternberg, 2023). Η Polycam αποτελεί μια προσιτή λύση για εφαρμογές όπως η τεκμηρίωση κτιρίων, καθώς προσφέρει αρκετά υψηλή ακρίβεια για καθημερινές ανάγκες. Παρόλο που δεν είναι συγκρίσιμη με επαγγελματικούς σαρωτές laser, η εφαρμογή θεωρείται εξαιρετική για γρήγορες αποτυπώσεις, όπως στην παραγωγή κατόψεων ή για χρήση στην αρχιτεκτονική αποκατάσταση (Askar & Sternberg, 2023).

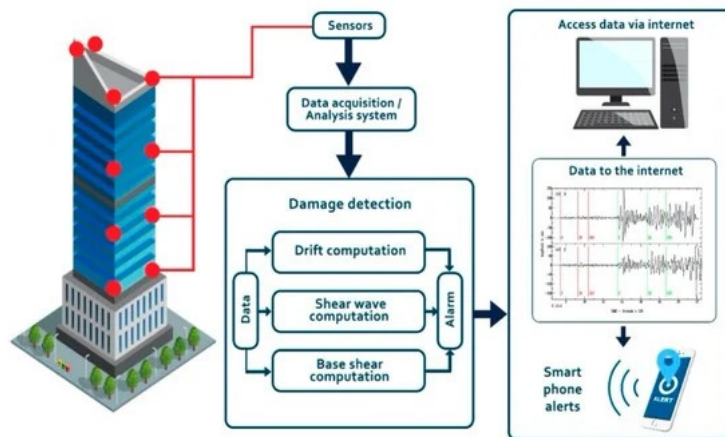
2.3.1 Οφέλη της Χρήσης του Polycam στον Τ.Ο.Ε

Η χρήση της εφαρμογής Polycam στον ΤΟΕ προσφέρει σημαντικά οφέλη για τη διαδικασία αποτύπωσης και ανάλυσης κτιρίων και κατασκευών. Η δυνατότητα σάρωσης με τη χρήση τεχνολογίας LiDAR, σε συνδυασμό με την ευχρηστία της εφαρμογής, επιτρέπει την ταχύτατη δημιουργία ακριβών τρισδιάστατων μοντέλων και κατόψεων, που είναι κρίσιμα για την αξιολόγηση των κατασκευαστικών χαρακτηριστικών και την ανίχνευση πιθανών φθορών ή ζημιών. Αυτές οι πληροφορίες είναι χρήσιμες για την εκτίμηση της τρωτότητας των κτιρίων σε περίπτωση σεισμικής δραστηριότητας ή άλλων καταστροφών. Η Polycam βοηθά επίσης στη γρήγορη αποτύπωση μεγάλων περιοχών με υψηλή ακρίβεια, καθιστώντας την ιδανική για εφαρμογές ταχύτατου οπτικού ελέγχου σε κτίρια ή έργα υποδομής. Τα τρισδιάστατα δεδομένα που παράγονται από την εφαρμογή μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό ασυνεχειών στη δομή ή αλλαγών που δεν είναι άμεσα ορατές με τη συμβατική οπτική παρατήρηση. Επιπλέον, η εφαρμογή αυξάνει την αποδοτικότητα και μειώνει τον χρόνο που απαιτείται για την ολοκλήρωση της επιθεώρησης, προσφέροντας πολύτιμα δεδομένα για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με τις ενδεχόμενες συντηρήσεις ή αποκαταστάσεις που απαιτούνται (MaxFunker, 2021). Η τεχνολογία LiDAR που υποστηρίζει η Polycam προσφέρει μια προσιτή και αποτελεσματική μέθοδο καταγραφής που συνδυάζει την ακρίβεια με την ταχύτητα, κάτι που είναι θεμελιώδες για την εφαρμογή σε τομείς όπως η κατασκευαστική επιθεώρηση, η αποτίμηση της φθοράς ή η προληπτική συντήρηση. Αυτή η προσέγγιση αναμένεται να βελτιώσει την ποιότητα των εκθέσεων και να ενισχύσει τη

δυνατότητα ανίχνευσης προβλημάτων πριν αυτά προκαλέσουν σοβαρές ζημιές (Askar & Sternberg, 2023).

2.4 Συστήματα παρακολούθησης δομικής υγείας (SHM)

Η παρακολούθηση της δομικής υγείας, γνωστή και ως "Structural Health Monitoring" (SHM), αναφέρεται σε ένα νέο και ευρύ φάσμα τεχνολογιών, μεθόδων και διαδικασιών που χρησιμοποιούνται για τη συνεχή παρακολούθηση της κατάστασης δομικών στοιχείων ή ολόκληρων κατασκευών. Ο βασικός στόχος του SHM είναι η παρακολούθηση της εξέλιξης της κατάστασης ενός συστήματος με την πάροδο του χρόνου, ανιχνεύοντας πιθανές αλλαγές, φθορές, βλάβες ή αβεβαιότητες που ενδέχεται να επηρεάσουν την ασφάλεια, την αποτελεσματικότητα ή τη λειτουργικότητα της κατασκευής με τη χρήση συχνών δειγματοληπτικών μετρήσεων (Chen & Ni, 2018). Η έγκαιρη διάγνωση πιθανών κατασκευαστικών ατελειών συνεισφέρει στη μείωση του κινδύνου καταστροφής και ατυχημάτων κατά την ομαλή λειτουργία, αντιμετωπίζοντας τη διάδοση φαινομένων κόπωσης (Ζύγουρας, 2018). Η διαδικασία για την παρακολούθηση της δομικής υγείας διακρίνεται σε τρία βήματα. Αρχικά πρέπει να γίνει σωστή επιλογή του σημείου όπου θα τοποθετηθούν οι αισθητήρες και να γίνει επιλογή του κατάλληλου τύπου αισθητήρων ανάλογα με το αντικείμενο της μέτρησης αλλά και τις συνθήκες λειτουργίας. Έπειτα πρέπει να συγκεντρωθούν τα δεδομένα από τη λειτουργία της κατασκευής. Πρέπει να υπάρχει ακριβή γνώση των συνθηκών λειτουργίας για να είναι δυνατή η σύγκριση των δεδομένων με την τυπική συμπεριφορά. Τέλος πρέπει να αναλυθούν τα δεδομένα, αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει την αξιολόγηση όλων των συλλεγμένων δεδομένων προκειμένου να εντοπιστούν τυχόν προβλήματα στην κατασκευή και να γίνει κατανοητή η φύση, η τοποθεσία και το μέγεθος αυτών των προβλημάτων (Ζύγουρας, 2018). Συνολικά, η εφαρμογή της τεχνολογίας SHM στον τομέα του πολιτικού μηχανικού έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει την ασφάλεια, την αποτελεσματικότητα και την ανθεκτικότητα των υποδομών, ενώ παράλληλα μειώνει το κόστος συντήρησης και επισκευών μέσω της προληπτικής παρέμβασης. Έτσι, αποτελεί ένα ανεκτίμητο εργαλείο για τους μηχανικούς που ασχολούνται με την σχεδίαση, την κατασκευή και τη συντήρηση υποδομών, βοηθώντας τους να διασφαλίσουν τη μακροχρόνια αντοχή και απόδοση των κατασκευών τους (Chen & Ni, 2018).



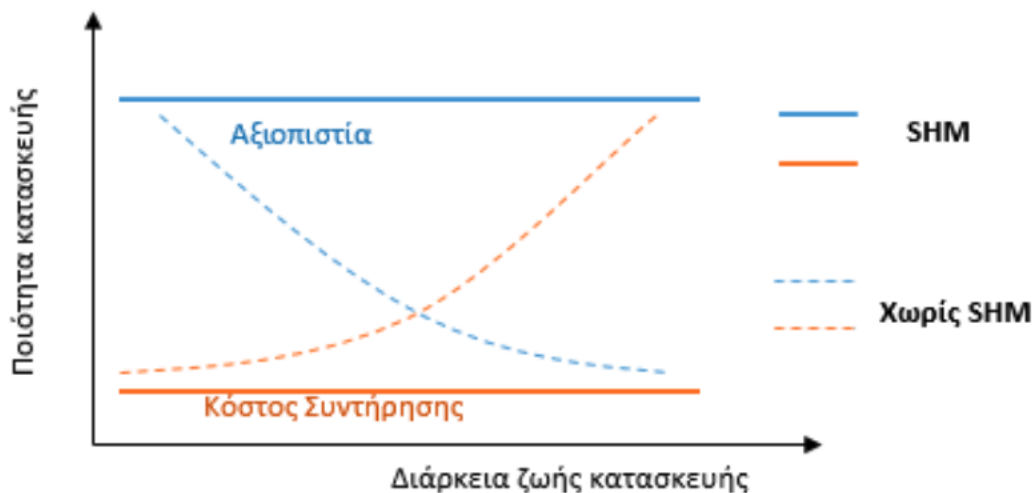
Εικόνα 3 : Η αρχή λειτουργίας του συστήματος SHM σε ένα πολυώροφο κτήριο (Sivasuriyan et al, 2021)

Στην Εικόνα 3 απεικονίζεται ένα σύστημα δομικής παρακολούθησης SHM σε ένα κτήριο και παρουσιάζει τα βήματα που γίνονται για την ανίχνευση ζημιών. Οι αισθητήρες, οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι σε διάφορα σημεία του κτηρίου, συλλέγουν δεδομένα σχετικά με τις μετατοπίσεις, τις σεισμικές δονήσεις και τις πιέσεις που δέχεται το κτήριο. Τα δεδομένα αυτά αποστέλλονται σε ένα κεντρικό σύστημα συλλογής και ανάλυσης, το οποίο επεξεργάζεται τις μετρήσεις και υπολογίζει κρίσιμους δείκτες, όπως η μετατόπιση, τα διατμητικά κύματα και η διατμητική βάση, προκειμένου να ανιχνεύσει τυχόν ζημιές. Σε περίπτωση που εντοπιστεί κάποιο πρόβλημα, το σύστημα ενεργοποιεί συναγερμούς και αποστέλλει ειδοποιήσεις μέσω διαδικτύου, οι οποίες είναι προσβάσιμες τόσο από υπολογιστές όσο και από smartphones. Με αυτόν τον τρόπο, το σύστημα προσφέρει συνεχή παρακολούθηση και έγκαιρη ειδοποίηση για δομικά προβλήματα, συμβάλλοντας στην πρόληψη σοβαρών ζημιών και την ασφαλή συντήρηση των κτηρίων.

2.4.1 Οφέλη του Συστήματος Παρακολούθησης Δομικής υγείας

Η γνώση για την ακεραιότητα της κατασκευής, η οποία παρακολουθείται συνεχώς σε πραγματικό χρόνο, αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για κατασκευαστές, τελικούς χρήστες και ομάδες συντήρησης. Επομένως, με τη βοήθεια του SHM επιτρέπεται η βέλτιστη χρήση της κατασκευής, μειώνοντας το χρόνο διακοπής της λειτουργίας του. Επιπλέον παρέχει βελτίωση του φορέα στον κατασκευαστή και αλλάζει ριζικά την οργάνωση της διαδικασίας συντήρησης αντικαθιστώντας την προγραμματισμένη και περιοδική επιθεώρηση με βάση την απόδοση και την κατάσταση του φορέα, επιτρέποντας τη μακροπρόθεσμη συντήρηση ή τουλάχιστον μειώνοντας την τρέχουσα εργασία συντήρησης. Τέλος μειώνει δραστικά τον ανθρώπινο παράγοντα και, ως εκ τούτου, τις εργασίες, τα ανθρώπινα λάθη και τις διακοπές

λειτουργίας βελτιώνοντας την αξιοπιστία. Ο οικονομικός παράγοντας εμφανίζεται έντονα κυρίως στους τελικούς χρήστες της κατασκευής. Πράγματι, οι κατασκευές που ενσωματώνουν συστήματα SHM ωφελούνται από τη μείωση των δαπανών συνεχούς συντήρησης και την αύξηση της αξιοπιστίας, σε σύγκριση με εκείνες που δεν χρησιμοποιούν SHM όπως φαίνεται στο Σχήμα 2 (Ζύγουρας, 2018).



Σχήμα 2 : Πλεονεκτήματα του SHM (Ζύγουρας, 2018)

2.4.2 Συστήματα παρακολούθησης δομικής υγείας και TOE

Η παρακολούθηση της δομικής υγείας (Structural Health Monitoring - SHM) μπορεί πράγματι να συμβάλει στον TOE παρέχοντας συνεχή ροή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο για την κατάσταση της δομής ενός κτηρίου ή μιας υποδομής. Είναι εφικτό να υπάρξει μια συνεχής παρακολούθηση χρησιμοποιώντας αισθητήρες τοποθετημένους σε όλη τη δομή συλλέγοντας δεδομένα τα οποία αναλύονται σε πραγματικό χρόνο με σκοπό να εντοπιστούν αποκλίσεις σε σχέση με την αναμενόμενη συμπεριφορά. Ανιχνεύοντας έγκαιρα τις ανωμαλίες, το SHM μπορεί να ειδοποιήσει τους επιθεωρητές για τις περιοχές που μπορεί να απαιτούν περαιτέρω οπτική επιθεώρηση κατά τη διάρκεια του TOE. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει την έγκαιρη παρέμβαση για να αποτρέψει την επιδείνωση πιθανών διαρθρωτικών ζητημάτων. Επιπλέον το SHM έχει τη δυνατότητα να καταγράψει ανεπαίσθητες αλλαγές που μπορεί να μην είναι εμφανείς οπτικά. Αυτή η δυνατότητα συμπληρώνει τις ποιοτικές παρατηρήσεις που έγιναν κατά τη διάρκεια του TOE, προσφέροντας μια πιο ισχυρή κατανόηση της δομικής κατάστασης. Έτσι οι μηχανικοί μπορούν από τα δεδομένα που έχουν παραχθεί να ποσοτικοποιήσουν την έκταση της ζημιάς και να διευκολύνουν τη λήψη

τεκμηριωμένων αποφάσεων κατά τη διάρκεια του ελέγχου. Ακόμη, τα δεδομένα που παράγουν τα SHM αναλύουν τη σοβαρότητα και την πιθανότητα δομικών αστοχιών, βοηθώντας τους επιθεωρητές να επικεντρώσουν τις δραστηριότητες του ΤΟΕ σε περιοχές με υψηλότερο κίνδυνο. Αυτή η προσέγγιση διασφαλίζει ότι τα κρίσιμα ζητήματα θα αντιμετωπιστούν έγκαιρα. Τα συστήματα SHM, εφόσον παρακολουθούν τη δομική συμπεριφορά για εκτεταμένες περιόδους και σε συνδυασμό με την ανάλυση ιστορικών δεδομένων από τους ειδικούς μπορούν να συμβάλλουν στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των προηγούμενων επεμβάσεων συντήρησης αλλά και να προβλέψουν την μελλοντική δομική συμπεριφορά. Αυτή η αναλυτική προσέγγιση επιτρέπει τον προληπτικό σχεδιασμό συντήρησης και τη διαχείριση του κύκλου ζωής, ενισχύοντας τη βιωσιμότητα των περιουσιακών στοιχείων της υποδομής. Τα δεδομένα SHM μπορούν να ενσωματωθούν σε συστήματα υποστήριξης αποφάσεων που βοηθούν στην ανάλυση του ΤΟΕ. Οι προηγμένες τεχνικές ανάλυσης, όπως η μηχανική μάθηση και η προγνωστική μοντελοποίηση, μπορούν να αξιοποιήσουν τα δεδομένα SHM για να βελτιώσουν την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα του. Αξιοποιώντας τη δύναμη της ανάλυσης δεδομένων, οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων μπορούν να αντλήσουν χρήσιμες πληροφορίες από τα δεδομένα SHM, βελτιώνοντας τη συνολική αποτελεσματικότητα των διαδικασιών του.

Συνοπτικά, το SHM συμβάλλει αναλυτικά στον ΤΟΕ επιτρέποντας την έγκαιρη ανίχνευση ανωμαλιών, παρέχοντας μετρήσεις ποσοτικής αξιολόγησης, διευκολύνοντας την ιεράρχηση κινδύνου, υποστηρίζοντας τη μακροπρόθεσμη αξιολόγηση απόδοσης και ενσωματώνοντας συστήματα υποστήριξης αποφάσεων. Συνδυάζοντας τα δυνατά σημεία του SHM και του ΤΟΕ, οι μηχανικοί μπορούν να ενισχύσουν την ικανότητά τους να αξιολογούν και να διαχειρίζονται πιο αποτελεσματικά τη δομική υγεία των κτηρίων και των υποδομών (Chen & Ni, 2018).

2.5 Μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (drone) και ΤΟΕ

Τα drone (Εικόνα 4) έχουν φέρει επανάσταση σε διάφορους κλάδους και οι εφαρμογές στην επιστήμη του πολιτικού μηχανικού δεν αποτελούν εξαίρεση. Βασικοί τομείς που τα drone έχουν σημαντικό αντίκτυπο στα έργα του πολιτικού μηχανικού είναι η χαρτογράφηση. Τα drone εξοπλισμένα με κάμερες υψηλής ανάλυσης μπορούν να καταγράψουν λεπτομερείς εναέριες εικόνες και τοπογραφικά δεδομένα εργοταξίων. Αυτά τα δεδομένα είναι ανεκτίμητα για τη δημιουργία ακριβών χαρτών, ψηφιακών μοντέλων εδάφους και τρισδιάστατων

μοντέλων, τα οποία είναι απαραίτητα για τον σχεδιασμό, και την κατασκευή του χώρου (Μαλακόςζης, 2021). Τα drone παρέχουν εναέριες όψεις εργοταξίων σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας στους μηχανικούς να παρακολουθούν την πρόοδο, τα υλικά κατασκευής και να εντοπίζουν πιθανούς κινδύνους για την ασφάλεια. Μπορούν επίσης να διευκολύνουν την επικοινωνία και τη συνεργασία μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών του έργου παρέχοντας ενημερωμένες οπτικές πληροφορίες. Ακόμη χρησιμοποιούνται για την επιθεώρηση γεφυρών, φραγμάτων, δρόμων και άλλων στοιχείων υποδομής, επιτρέποντας στους μηχανικούς να αξιολογήσουν τη δομική ακεραιότητα, να ανιχνεύσουν ελαττώματα και να δώσουν προτεραιότητα στις δραστηριότητες συντήρησης και επισκευής. Μπορούν να έχουν πρόσβαση σε δυσπρόσιτες περιοχές και να παρέχουν λεπτομερή οπτικά δεδομένα χωρίς να χρειάζονται ακριβό εξοπλισμό ή να διακινδυνεύουν την ανθρώπινη ασφάλεια. Σε περίπτωση φυσικών καταστροφών ή έκτακτης ανάγκης, τα drone μπορούν να αξιολογήσουν γρήγορα τις ζημιές σε υποδομές, και να εντοπίσουν περιοχές με επικινδυνότητες. Η ικανότητά τους να έχουν πρόσβαση σε περιοχές που επλήγησαν από καταστροφές με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τους χρόνους απόκρισης και τις συνολικές προσπάθειες διαχείρισης καταστροφών. Συνολικά, τα drone προσφέρουν στους πολιτικούς μηχανικούς ένα οικονομικά αποδοτικό και ευέλικτο εργαλείο για διάφορες εργασίες καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του έργου, από την αρχική τοπογραφία και τον προγραμματισμό έως τη διαχείριση και συντήρηση κατασκευής. Καθώς η τεχνολογία των drone συνεχίζει να εξελίσσεται, ο ρόλος τους στον τομέα του μηχανικού αναμένεται να επεκταθεί περαιτέρω, οδηγώντας την καινοτομία και βελτιώνοντας την αποτελεσματικότητα και τη βιωσιμότητα των έργων υποδομής(Τσαρούχας 2017, Κανελλάκης, 2017).



Εικόνα 4 : Χρήση Drone σε κατασκευή (Aimg Official, 2024)

2.5.1 Διαφορές των Εναέριων οχημάτων (drone) και των Συστημάτων Αεροφωτογράφισης Απομακρυσμένων χώρων (UAV- drone)

Στον κλάδο των πολιτικών μηχανικών, η χρήση των drone και των UAV drone για τον ΤΟΕ κτηρίων έχει γίνει εξαιρετικά δημοφιλής εξαιτίας τους αποτελεσματικότητάς τους τόσο στην επιθεώρηση δυσπρόσιτων περιοχών όσο και στην ακριβή συλλογή δεδομένων. Παρόλο που οι όροι «drone» και «UAV drone» χρησιμοποιούνται συχνά, υπάρχει μια διακριτή διαφορά που τους διαφοροποιεί, όσον αφορά τους τεχνολογίες και τους εφαρμογές τους. Αρχικά η έννοια των drone αναφέρεται συνήθως σε πιο γενικά και προσιτά μη επανδρωμένα αεροσκάφη όπου η χρήση τους απευθύνεται σε βασικές επιθεωρήσεις και καταγραφή οπτικών δεδομένων. Χρησιμοποιούνται συνήθως σε επιθεωρήσεις εξωτερικών επιφανειών κτηρίων, τους στέγες και εξωτερικά τοιχώματα, επιτρέποντας τους μηχανικούς να εντοπίζουν προβλήματα σε σύντομο χρόνο και με χαμηλό κόστος. Παράλληλα, τα UAV-drone, είναι πιο εξειδικευμένα αεροσκάφη, εξοπλισμένα με προηγμένους αισθητήρες και τεχνολογίες, τους LIDAR, θερμικές κάμερες και τεχνολογίες τρισδιάστατης χαρτογράφησης. Τα UAVs-drone μπορούν να προσφέρουν όχι μόνο οπτικό έλεγχο, αλλά και λεπτομερή ανάλυση της δομικής ακεραιότητας των κτηρίων, επίσης ανίχνευση ρωγμών, κάνοντας τα απαραίτητα για πιο απαιτητικές εφαρμογές.

2.5.2 Σχεδιασμός πτήσης UAVs- drone και ορολογία εναέριων αποτυπώσεων

Ο σχεδιασμός πτήσης είναι μια πολύπλοκη διαδικασία που περιλαμβάνει την επιλογή του τύπου του UAV, τον καθορισμό της βέλτιστης διαδρομής πτήσης και των παραμέτρων πτήσης. Πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλοί παράγοντες, όπως οι διαστάσεις της περιοχής ενδιαφέροντος, οι συνθήκες καιρού, οι νόμοι και οι κανονισμοί που διέπουν την πτήση UAV, και οι απαιτήσεις του συγκεκριμένου έργου ή της εφαρμογής. Η απόκτηση εικόνων απαιτεί συνήθως τη χρήση εξειδικευμένου εξοπλισμού, όπως υψηλής ανάλυσης κάμερες ή αισθητήρες. Είναι σημαντικό να οριστούν οι παράμετροι λήψης, όπως η ανάλυση της εικόνας, η συχνότητα λήψης, η γωνία λήψης και η απόσταση από το έδαφος (Κανελλάκης, 2017). Όσον αφορά την ορολογία εναέριων αποτυπώσεων, η ορθομοσαϊκή είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για τη συνδυασμένη επεξεργασία και επικάλυψη πολλαπλών εικόνων, δημιουργώντας ένα ολοκληρωμένο, συνολικό εικονικό μοντέλο της περιοχής ενδιαφέροντος. Η θερμογραφία χρησιμοποιείται για την απεικόνιση των θερμοκρασιών σε μια περιοχή, κάτι που μπορεί τους παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για διάφορες εφαρμογές, όπως ο έλεγχος της ποιότητας του εδάφους ή η ανίχνευση πυρκαγιών. Το «νέφους σημείων» αναφέρεται στη

συλλογή συντεταγμένων σημείων από την επιφάνεια ενός αντικειμένου, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων (Μαλακόζης, 2021).

2.5.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των UAV-drone

Η χρήση των UAV-drone έχει επαναπροσδιορίσει τον τρόπο που οι πολιτικοί μηχανικοί προσεγγίζουν τον ΤΟΕ κατασκευαστικών έργων και υποδομών. Αυτά τα αυτόνομα αεροσκάφη προσφέρουν μια πληθώρα πλεονεκτημάτων, αλλά ταυτόχρονα συνοδεύονται και από ορισμένες προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν με προσοχή. Αρχικά τα drone μπορούν να σαρώσουν μια μεγάλη περιοχή σε σύντομο χρονικό διάστημα, εξοικονομώντας πολύτιμο χρόνο. Έχουν τη δυνατότητα να πετούν σε μεγάλα ύψη και να εξερευνούν δυσπρόσιτες περιοχές. Επιπλέον τα drone μπορούν να καταγράψουν υψηλής ανάλυσης εικόνες και βίντεο παρέχοντας λεπτομερείς πληροφορίες για την κατάσταση μιας κατασκευής, μπορούν να πετάξουν σε χαμηλό ύψος και δεν επηρεάζονται από τα νέφη. Τέλος, ο ανθρώπινος παράγοντας δεν εκτίθεται σε επικίνδυνες περιοχές και μειώνουν τον κίνδυνο ατυχημάτων.

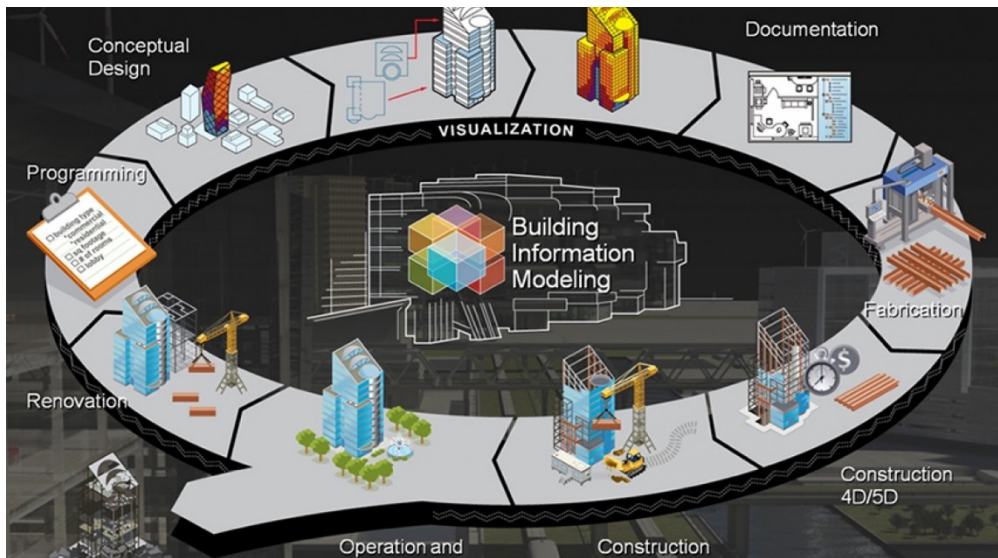
Μερικά από τα μειονεκτήματα των drone έχουν ικανότητα για περιορισμένη διάρκεια πτήσης και απαιτούν συχνή επαναφόρτιση των μπαταριών. Εξαιτίας του περιορισμένου βάρους και των μικρών διαστάσεών τους, τα UAV-drone συνήθως φέρουν μικρές κάμερες χαμηλής ανάλυσης, οι οποίες δεν διαθέτουν σταθερή γεωμετρία. Επιπλέον, οι μικροί κινητήρες τους προκαλούν μειωμένη ταχύτητα, εμβέλεια και ύψος πτήσης. Τα συστήματα πλοήγησης τους λόγω χαμηλής ακρίβειας και μικρού μεγέθους επηρεάζουν την ποιότητα των εικόνων, οι οποίες είναι συμβατές με λογισμικά ψηφιακής φωτογραμμετρίας. Τέλος, λόγω του μικρού μεγέθους και βάρους του τα drone εμφανίζουν αστάθεια, ιδίως σε συνθήκες ανέμου (Ζούπης, 2015).

2.6 Μοντέλο δομικών πληροφοριών (BIM)

Στον κλάδο των πολιτικών μηχανικών το BIM (Building Information Modeling) αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο που επιτρέπει την ολοκληρωμένη και αποτελεσματική διαχείριση των κτιριακών έργων καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους (Εικόνα 5). Οι πολιτικοί μηχανικοί χρησιμοποιούν το BIM όχι μόνο για τον σχεδιασμό, την κατασκευή κτηρίων, για τη διαχείριση τους μετά την ολοκλήρωση του έργου αλλά και την αντιμετώπιση προβλημάτων δομικής ακεραιότητας. Συγκεκριμένα, το BIM παρέχει τα ακόλουθα οφέλη και δυνατότητες. Αρχικά παρέχει ολοκληρωμένο σχεδιασμό, καθώς το BIM επιτρέπει την

ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου ψηφιακού μοντέλου του κτηρίου, συμπεριλαμβανομένων των δομικών, ηλεκτρομηχανολογικών και άλλων συστημάτων, που βοηθάει στον ακριβή και συντονισμένο σχεδιασμό του έργου. Επίσης, παρέχει βελτιωμένη ανάλυση και προγραμματισμό, καθώς οι πολιτικοί μηχανικοί μπορούν να χρησιμοποιήσουν το BIM για την ανάλυση του κτηρίου σε διάφορες πτυχές, όπως τον ενεργειακό απολογισμό ή τον υδραυλικό σχεδιασμό του, προκειμένου να βελτιστοποιήσουν την απόδοση και τη λειτουργικότητα του. Επιπλέον, παρέχει αυξημένη ακρίβεια και αποτελεσματικότητα, καθώς μέσω του BIM, οι μηχανικοί μπορούν να προβλέψουν και να αντιμετωπίσουν προβλήματα κατασκευής πριν αυτά προκύψουν στην πραγματική κατασκευή, μειώνοντας τα σφάλματα και τα κόστη επιδιόρθωσης. Τέλος, παρέχει αποτελεσματική διαχείριση έργου, καθώς το BIM παρέχει ένα κοινό περιβάλλον εργασίας όπου οι διάφοροι φορείς μπορούν να συνεργαστούν, να αλληλεπιδρούν και να διαμοιραστούν πληροφορίες, βελτιώνοντας έτσι τη διαχείριση του έργου και την επικοινωνία μεταξύ των εμπλεκομένων (Ανδριανέση, 2020).

Η τεχνολογία BIM προσφέρει καινοτομίες που αφορούν την εμφάνιση, τη λειτουργία και την κατασκευή των κτηρίων. Τα BIM δεν αποτελούν έναν τύπο λογισμικού, αλλά μια ανθρώπινη διαδικασία που περιλαμβάνει αλλαγές στις διαδικασίες κατασκευής. Κάθε BIM πρέπει να είναι ψηφιακό, χωρικό, μετρήσιμο, κατανοητό, προσβάσιμο και ανθεκτικό. Αντίθετα με τα συστήματα CAD, κάθε μοντέλο BIM λειτουργεί ως μια κεντρική ηλεκτρονική αποθήκη πληροφοριών για τα χαρακτηριστικά του έργου, όπως υλικό κατασκευής και κόστος. Τα BIM λειτουργούν μέσω ψηφιακών βάσεων δεδομένων, διευκολύνοντας τη συλλογή, τον χειρισμό και την αναπαράσταση πληροφοριών. Αυτός ο τύπος τεχνολογίας αποτελεί το πλαίσιο για τη συνεργασία και τη διαχείριση έργων από την αρχή μέχρι το τέλος τους. Η τεχνολογία BIM δίνει τη δυνατότητα στους μελετητές να επικοινωνούν με ένα σχεδιαστικό περιβάλλον και επιτρέπει την αυτόματη ενημέρωση των δεδομένων σε όλο το μοντέλο. Τέλος, τα τρισδιάστατα ομοιώματα που παράγονται χρησιμοποιούνται για να δημιουργήσουν λεπτομερείς προβολές του έργου, προσφέροντας μια διαδραστική θέαση του μοντέλου.



Εικόνα 5 : BIM σε διαφορετικές Χρήσεις (Σύλλογος Αρχιτεκτόνων Κύπρου, 2019)

2.6.1 Μοντέλο δομικών πληροφοριών (BIM) και TOE

Οι μελέτες που αφορούν τη διασφάλιση της ασφάλειας κατασκευών και τη βελτιστοποίηση των πόρων πριν από την εκδήλωση ενός σεισμού αποτελούν ουσιαστικό τμήμα της προσπάθειας για τη μείωση των κινδύνων και των ανεπιθύμητων επιπτώσεων τέτοιων φυσικών φαινομένων στην ανθρώπινη ζωή και την υποδομή. Με αναλύσεις που εκτελούνται πριν την εμφάνιση του σεισμού, οι προληπτικές δραστηριότητες στοχεύουν στην αποτροπή ή τουλάχιστον τη μείωση των ζημιών, επιτρέποντας την πρόληψη και την προετοιμασία για τον αντίκτυπο του σεισμού. Αυτές οι δραστηριότητες περιλαμβάνουν λεπτομερείς αξιολογήσεις των κατασκευών, οι οποίες διεξάγονται σε πολλά επίπεδα και επιτρέπουν την προσδιορισμό των απαιτούμενων ενεργειών και πόρων για τη βελτίωση της ανθεκτικότητας των κτηρίων.

Παράλληλα, οι διαδικασίες διαχείρισης κατεστραμμένων κτηρίων επικεντρώνονται στην αντίδραση μετά τον σεισμό και τη διαχείριση των καταστροφικών επιπτώσεων στην υποδομή. Αυτές οι διαδικασίες προϋποθέτουν την άμεση αντίδραση για την αντιμετώπιση των επειγόντων αναγκών, όπως η αξιολόγηση της ασφάλειας των κτηρίων και η παροχή βοήθειας στους πληγέντες. Κατόπιν, πρέπει να γίνουν πιο λεπτομερείς εκτιμήσεις των ζημιών και να σχεδιαστούν οι αναγκαίες διαδικασίες ανακατασκευής και επισκευής, προκειμένου να αποκατασταθεί η υποδομή και να επαναφερθεί η κοινωνία στην καθημερινότητα της. Καθώς οι δύο αυτές κατηγορίες μελετών απαιτούν διαφορετικές προσεγγίσεις και

χρονοδιαγράμματα, η εφαρμογή τους συμβάλλει στην πλήρη προετοιμασία και αντίδραση σε περίπτωση σεισμού, προστατεύοντας τις ζωές και την περιουσία των ενοίκων και ενισχύοντας την ανθεκτικότητα των κοινοτήτων σε ανάλογες καταστάσεις.

Η προετοιμασία και η αντίδραση σε σεισμικά γεγονότα έχουν εξελιχθεί σημαντικά χάρη στη χρήση ψηφιακών εργαλείων, όπως τα μοντέλα ολοκληρωμένης πληροφορίας κτηρίων (BIM), τα οποία έχουν αναδειχθεί ως ισχυρά εργαλεία προγραμματισμού και ανάλυσης. Αυτά τα μοντέλα διασυνδέουν όλες τις απαραίτητες εργασίες που απαιτούνται τόσο πριν όσο και μετά την εκδήλωση ενός σεισμού, προσφέροντας μια ολοκληρωμένη προσέγγιση στη διαχείριση της ασφάλειας και της ανάκαμψης. Πριν από τον σεισμό, οι εκτιμήσεις βελτιώνονται αξιοποιώντας τα BIM μοντέλα για να προσδιοριστούν οι ευάλωτες πτυχές των κατασκευών και να σχεδιαστούν προληπτικές δράσεις. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει αναλύσεις ανθεκτικότητας και ευάλωτων περιοχών των κτηρίων, καθώς και την ανάπτυξη σεναρίων αντίδρασης σε πιθανούς σεισμικούς κινδύνους. Αυτές οι προσεγγίσεις επιτρέπουν την προαγωγή της ασφάλειας των κατασκευών και τη μείωση των ζημιών που μπορεί να προκληθούν. Μετά τον σεισμό, τα BIM μοντέλα συνεχίζουν να παίζουν κρίσιμο ρόλο στη διαχείριση της κρίσης και της ανάκαμψης. Χρησιμοποιούνται για την ταχεία εκτίμηση των ζημιών στα κτήρια, την ανάπτυξη σχεδίων ανακατασκευής και την προσομοίωση διαφόρων σεναρίων ανακατασκευής. Μέσω της διασύνδεσης με δεδομένα που αφορούν την καταστροφή και τις ανάγκες ανακαίνισης, τα BIM μοντέλα επιτρέπουν την ταχεία και αποτελεσματική ανάκαμψη του κτιριακού συγκροτήματος και της περιοχής γενικότερα. Μέσω της αξιοποίησης των ψηφιακών εργαλείων όπως τα BIM, η αντίδραση και η ανάκαμψη μπορούν να επιτευχθούν με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα και ταχύτητα, επιτρέποντας στις κοινότητες να ανακάμψουν ταχέως μετά από ένα σοβαρό σεισμό (Musella et al, 2020). Κατά τη διάρκεια των κρίσιμων στιγμών μετά από ένα σεισμό, οι γρήγορες και λεπτομερείς αξιολογήσεις αποτελούν καίριο μέρος της διαδικασίας αντίδρασης. Το άμεσο και αποτελεσματικό χειρισμό της κατάστασης απαιτεί τη γρήγορη απόκτηση πληροφοριών, είτε σε έντυπη είτε σε ψηφιακή μορφή, προκειμένου να ληφθούν άμεσα τα κατάλληλα μέτρα.

Τα μοντέλα BIM, παρά την αξία τους, συνήθως δεν χρησιμοποιούνται αμέσως μετά από ένα σεισμικό γεγονός. Οι γρήγορες αξιολογήσεις επικεντρώνονται στις ορατές ζημιές που είναι προσβάσιμες στους επιθεωρητές και συνήθως αφορούν τη συνολική σοβαρότητα και την έκταση της ζημιάς. Με τη χρήση του BIM κατά τη διάρκεια των μηχανικών αξιολογήσεων, τα ψηφιακά εργαλεία επιτρέπουν την ψηφιοποίηση ολόκληρου του μοτίβου ρωγμών. Αυτό συμβάλλει στην εκτεταμένη ανάλυση και περιγραφή των ιδιοτήτων των ζημιών, περιλαμβάνοντας λεπτομερή δεδομένα για το πλάτος, την κατεύθυνση και τις αιτίες κάθε

ρωγμής. Με την πλήρη αξιοποίηση των μοντέλων BIM κατά τη μετασεισμική φάση, η διαδικασία ολοκληρώνεται με παρόμοιο τρόπο όπως στην προσεισμική περίοδο. Η συνεχής χρήση τους κατά την επίλυση των μετασεισμικών προβλημάτων επιτρέπει τη συνεπή αξιολόγηση των ζημιών και την εκτέλεση αποτελεσματικών επισκευών και ανακατασκευών. Με αυτόν τον τρόπο, η χρήση των μοντέλων BIM εξασφαλίζει τη συνέχεια και την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας αντίδρασης και ανάκαμψης μετά από ένα σοβαρό σεισμό (Musella et al, 2020).

2.6.2 Η Τεχνητή Νοημοσύνη και το BIM στην Αντισεισμική Κατασκευή Κτηρίων

Η εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης στη μελέτη και κατασκευή αντισεισμικών κτηρίων ανοίγει νέους ορίζοντες στην προστασία των κατασκευών από τις επιπτώσεις των σεισμών. Μέσω της ανάλυσης πολύπλοκων δεδομένων και της πρόβλεψης των αντιδράσεων των κτηρίων σε σεισμικές δονήσεις, προσφέρονται πρωτοποριακές λύσεις για την αύξηση της ανθεκτικότητάς τους. Ταυτόχρονα, επιτυγχάνεται η βελτιστοποίηση της κατασκευής, υιοθετώντας σημαντικά κριτήρια όπως η αντοχή και το κόστος. Οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να αναλύσουν μεγάλο όγκο δεδομένων και να προσδιορίσουν τα βέλτιστα υλικά, τη σωστή διάταξη και την κατάλληλη δομή, επιτυγχάνοντας έτσι τη μέγιστη αντοχή των κτηρίων σε σεισμικές δονήσεις. Παράλληλα, αξιολογούν διαφορετικές εναλλακτικές λύσεις και υπολογίζουν το κόστος τους, προσφέροντας ολοκληρωμένες προτάσεις που εξασφαλίζουν τη βέλτιστη ισορροπία μεταξύ αντοχής και κόστους. Η πλήρης αξιοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης απαιτεί τη διέλευση από τέσσερα κύρια στάδια, καθένα από τα οποία συμβάλλει ουσιαστικά στην επίλυση του προβλήματος. Το πρώτο στάδιο είναι η εισαγωγή των δεδομένων, που περιλαμβάνει τη συλλογή και την οργάνωση των απαραίτητων πληροφοριών, καλύπτοντας ένα ποσοστό 40% της επιτυχίας του έργου. Το δεύτερο στάδιο εστιάζει στην επεξεργασία αυτών των δεδομένων, μέσω ανάλυσης και επεξεργασίας με τη χρήση διαφόρων αλγορίθμων και τεχνικών, δημιουργώντας μοντέλα που στηρίζουν την επίλυση των προβλημάτων. Στο τρίτο στάδιο, η τεχνητή νοημοσύνη εφαρμόζει αλγορίθμους και μοντέλα πρόβλεψης για να λάβει αποφάσεις ή να δώσει λύσεις. Τέλος, στο τέταρτο στάδιο, οι αποτελεσματικές λύσεις που προκύπτουν παρουσιάζονται και αξιολογούνται, ενώ προτείνονται μελλοντικές βελτιώσεις ή επεκτάσεις (Κωνσταντινίδης χχ).

2.7 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS)

Η ανάπτυξη ενός GIS σε τρισδιάστατη μορφή απαιτεί την ενσωμάτωση όλων των απαραίτητων στοιχείων του χωρικού μοντέλου και λειτουργιών προκειμένου να δημιουργηθεί και να χρησιμοποιηθεί με αποτελεσματικό τρόπο. Ένα τέτοιο σύστημα χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ενός τρισδιάστατου γεωχωρικού μοντέλου. Ο ρόλος ενός 3D GIS εκφράζεται με την ακόλουθη συνοπτική περιγραφή. Πρώτον, αποτελεί καταλυτικό παράγοντα στη διεπαφή μεταξύ του χρήστη και της βάσης δεδομένων, διαχειριζόμενο και διατηρώντας τη βάση δεδομένων ενημερωμένη για να ανταποκριθεί σε διάφορα αιτήματα χρηστών. Δεύτερον, υιοθετεί εξειδικευμένες τεχνολογίες για διάφορες λειτουργίες, συμπεριλαμβανομένης της τρισδιάστατης αναπαράστασης της πραγματικότητας και της προσαρμογής δεδομένων από διάφορες πηγές σε ένα χωρικό μοντέλο. Όσον αφορά την άμεση αναπαράσταση, αναφερόμαστε σε αντικείμενα που είναι ξεκάθαρα και καθορισμένα στον χώρο. Ωστόσο, όταν αντιμετωπίζουμε αντικείμενα που δεν είναι ευδιάκριτα στο χώρο, η γεωμετρία τους δεν μπορεί να αναπαρασταθεί απευθείας στο μοντέλο. Γι' αυτόν τον λόγο απαιτείται μια έμμεση αναπαράσταση μέσω χωρικών μονάδων που διαμορφώνονται από γειτονικά στοιχεία. Έτσι, οι πληροφορίες σχετικά με αυτά τα αντικείμενα αποκτώνται μέσω της ταξινόμησης ή της παρεμβολής των τιμών ιδιοτήτων των γειτονικών στοιχείων, χρησιμοποιώντας τις δημιουργούμενες χωρικές μονάδες. Στο πλαίσιο των χωρικών βάσεων δεδομένων, είναι απαραίτητο να διαθέτει τη δυνατότητα αποθήκευσης και διαχείρισης πολλαπλών αναπαραστάσεων. Αυτό διευκολύνει τη δημιουργία ενός χωρικού μοντέλου που αποτυπώνει με ακρίβεια τις σχέσεις μεταξύ των πραγματικών αντικειμένων, ενσωματώνοντας διάφορους τύπους και μορφές αναπαράστασης. Απαιτείται φυσικά και η ανθρώπινη παρέμβαση για να αντιμετωπιστεί η αβεβαιότητα. Επιπλέον, το σύστημα θα πρέπει να είναι ικανό να εκτελεί περίπλοκες χωρικές αναλύσεις, βασισμένες σε ερωτήματα ή υπολογισμούς που σχετίζονται με διαφορετικά θέματα και διαστάσεις. Επίσης, θα πρέπει να προσφέρει ρεαλιστική οπτικοποίηση γεωγραφικών πληροφοριών. Η ανάλυση που βασίζεται σε ερωτήματα εφαρμόζεται στην άμεση αναπαράσταση, ενώ η υπολογιστική ανάλυση επιτρέπει την παραγωγή πληροφοριών που προβλέπουν πραγματικές καταστάσεις. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να ενσωματωθούν ξανά στο μοντέλο, αποφεύγοντας έτσι χρονοβόρες διαδικασίες (Βασιλέλη, 2016).

2.7.1 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS)

Η εισαγωγή των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ) σηματοδοτεί μια επανάσταση στον τρόπο που αντιλαμβανόμαστε και χρησιμοποιούμε τις χαρτογραφικές πληροφορίες. Η καινοτομία που εισήγαγαν αυτά τα συστήματα βρίσκεται στη δυνατότητα να συνδέουν τόσο τη χωρική όσο και την περιγραφική πληροφορία, επιτρέποντας πράξεις μαθηματικών μεταξύ των χαρτών. Αυτό ουσιαστικά αυτοματοποίησε πολλές διαδικασίες που προηγουμένως απαιτούσαν χειρωνακτική εργασία, μετατρέποντας ένα χρονοβόρο και δύσκολο έργο σε μια αποτελεσματική και αποδοτική διαδικασία. Τα πλεονεκτήματα αυτών των ΓΣΠ είναι πολλαπλά και εμφανίζονται σε διάφορα επίπεδα. Καταρχήν, παρέχουν ταχύτερη και ευκολότερη παραγωγή χαρτών με λιγότερο κόστος, ενώ διευκολύνουν τη δημιουργία τρισδιάστατων ψηφιακών χαρτών. Επιπλέον, επιτρέπουν την ευκολότερη επιδιόρθωση ή προσθήκη δεδομένων, εξυπηρετώντας έτσι ειδικές ανάγκες των χρηστών όσον αφορά το είδος και την ακρίβεια των γεωγραφικών πληροφοριών. Η κυριαρχία των ψηφιακών χαρτογραφικών δεδομένων έναντι των αναλογικών αποτελεί επίσης ένα σημαντικό πλεονέκτημα, καθώς δίνει τη δυνατότητα για συνεχή πληροφόρηση και επεξήγηση των στοιχείων. Αυτό επιτρέπει την ενημέρωση και ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των χρηστών με μεγαλύτερη ευκολία και αποτελεσματικότητα.

Επιπλέον, η χρήση των ΓΣΠ αποφέρει μείωση σημαντικού αριθμού διπλότυπων στοιχείων και παρέχει στοιχεία μεγάλης ακρίβειας λόγω του ψηφιακού τρόπου αποθήκευσής τους. Τέλος, η δυνατότητα γεωκωδικοποίησης επιτρέπει την εύκολη αναζήτηση και πρόσβαση σε πληροφορίες, όπως η αυτόματη μετατροπή διευθύνσεων σε συντεταγμένες σε ψηφιακούς χάρτες. Η υιοθέτηση των ΓΣΠ συνοδεύεται από ορισμένες προκλήσεις που απαιτούν προσεκτική διαχείριση.

Το υψηλό αρχικό κόστος απόκτησης των ΓΣΠ και η ανάγκη για τεχνική υποστήριξη αποτελούν παράγοντες που επιβαρύνουν την εισαγωγή τους σε οργανισμούς και επιχειρήσεις. Επιπλέον, η απαιτούμενη υψηλή ειδικευση του προσωπικού για τη χρήση και συντήρηση αυτών των συστημάτων αποτελεί μια πρόκληση ακόμη πιο σημαντική. Τέλος, η διαδικασία μετατροπής και καταχώρησης δεδομένων σε συγκεκριμένη βάση δεδομένων μπορεί να αντιμετωπίσει προβλήματα, και απαιτεί προσοχή στην ποιότητα των δεδομένων κατά τη μεταφορά τους στο νέο σύστημα (Βασιλέλη, 2016).

2.8 Συνδυασμός Συστημάτων BIM και GIS

Η κύρια αιτία ανεπάρκειας στους ελέγχους που πραγματοποιούνται σε υπάρχοντα κτήρια οφείλεται στο γεγονός ότι οι πληροφορίες σχετικά με τον σχεδιασμό, την κατασκευή και την υφιστάμενη κατάσταση των κτιριακών υποδομών είναι περιορισμένες. Η έλλειψη τεκμηρίων και σχεδίων που περιγράφουν αυτήν την τρέχουσα κατάσταση, μαζί με την πολύπλοκη διαδικασία εντοπισμού των προβλημάτων, δημιουργούν σημαντικά εμπόδια στο σχεδιασμό και στην υλοποίηση οποιασδήποτε παρέμβασης. Η εξέλιξη ενός συστήματος BIM-3D GIS με σκοπό να συγκεντρώνει όλες τις πληροφορίες σχετικά με ένα κτήριο, τόσο περιγραφικές όσο και χωρικές, στην ονομαζόμενη ταυτότητα κτηρίου (Building's File), αποτελεί μια λύση. Η ταυτότητα κτηρίου συγκεντρώνει πληροφορίες από όλες τις φάσεις μιας υποδομής, συμπεριλαμβανομένων των αρχιτεκτονικών, δομικών και ενεργειακών πτυχών. Έτσι, παρέχει στον χρήστη τη δυνατότητα να ενημερώνεται για την τρέχουσα κατάσταση ενός κτηρίου, επιτρέποντας του να αντιληφθεί πότε χρειάζονται παρεμβάσεις για την ασφάλεια και την ορθότερη λειτουργία του. Ο συνδυασμός ενός BIM μοντέλου με ένα περιβάλλον GIS, δεν γίνεται αμέσως. Ακολουθείται μια σειρά από ενδιάμεσες διαδικασίες. Επιλέγεται ένα τρίτο λογισμικό, το οποίο λειτουργεί ως γέφυρα ανάμεσα στο BIM λογισμικό και το περιβάλλον του GIS. Όταν το BIM μοντέλο εισάγεται στο περιβάλλον του 3D GIS, τότε μπορούμε να πλοηγηθούμε στη λεπτομέρεια κάθε κτηρίου σε διαφορετικά επίπεδα. Η επιλογή των κτηρίων γίνεται με βάση τις ανάγκες του καθενός, και αυτό επηρεάζει το επίπεδο λεπτομέρειας με το οποίο εμφανίζονται στο περιβάλλον (Ανδριανέση 2020, · Βασιλέλη 2016).

2.8.1 Συνδυασμός Συστημάτων BIM και GIS 3D για Βιώσιμη Ανάπτυξη

Ένα 3D μοντέλο πόλης παρουσιάζεται σαν μια ψηφιακή αναπαράσταση της πόλης, που περιλαμβάνει όλα τα στοιχεία που την απαρτίζουν, όπως κτήρια, δέντρα, πράσινο, και ό,τι άλλο έχει δημιουργηθεί από τον άνθρωπο. Επίσης, τονίζει τη σημασία μιας διαδικτυακής πλατφόρμας που να παρουσιάζει ολοκληρωμένα την ανάπτυξη της πόλης, με τους πολίτες να συμμετέχουν στη λήψη αποφάσεων, συνεργαζόμενοι με την κυβέρνηση. Τα βασικά προσόντα που χρειάζεται μια πόλη για να γίνει έξυπνη πόλη 3D είναι η πρόσβαση σε δεδομένα ποιότητας και ακρίβειας, εκπαιδευμένο τεχνικό προσωπικό για τη μετατροπή δεδομένων σε 3D μοντέλα. Επίσης, ο ειδικός εξοπλισμός και τα λογισμικά για τη διαχείριση των δεδομένων, καθώς και την υποστήριξη και έγκριση της τοπικής κυβέρνησης για την εφαρμογή αυτών των τεχνολογιών.

Η συνεργασία μεταξύ του BIM και του GIS αποτελεί ένα σημαντικό θέμα στην έρευνα των τελευταίων ετών, με στόχο να προσφέρει οφέλη και σε αρχιτέκτονες και σε όσους

ασχολούνται με τη διαχείριση των πόλεων. Το BIM παρέχει λεπτομερείς και ακριβείς πληροφορίες για κάθε στοιχείο ενός κτηρίου, χρήσιμες για διάφορες εφαρμογές, από τον σχεδιασμό έως τη διαχείριση της πόλης. Από την άλλη πλευρά, το GIS συσχετίζει τη θέση κάθε κτηρίου στην πόλη, επιτρέποντας περαιτέρω αναλύσεις και υπολογισμούς για τη διαχείριση του περιβάλλοντος και τη βιώσιμη ανάπτυξη. Η συνένωση αυτών των τεχνολογιών συμβάλλει στη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου 3D μοντέλου πόλης, το οποίο διαχειρίζεται τη χωρική και μη χωρική πληροφορία. Αυτό οδηγεί σε βελτιωμένο σχεδιασμό και διαχείριση της πόλης, καθώς και στη διατήρηση της ορθότητας των δεδομένων.

Τα μοντέλα πόλης αποτελούν μια εξέλιξη στον κατασκευαστικό τομέα, παρέχοντας λεπτομερή χωρικά δεδομένα και απεικονίσεις όλων των στοιχείων μιας αστικής περιοχής. Αυτά τα μοντέλα έχουν εφαρμογές σε πολλούς τομείς, όπως ο αστικός σχεδιασμός, η κυκλοφοριακή ροή, οι τηλεπικοινωνίες κλπ. Η δημιουργία ενός τέτοιου μοντέλου αποτελεί πρόκληση για την τεχνολογία λόγω της έκτασης και της πολυπλοκότητας των πληροφοριών που πρέπει να περιλαμβάνει. Η μεθοδολογία που ακολουθείται εμπλέκει πολλούς φορείς από διαφορετικούς τομείς, απαιτώντας διαλειτουργικότητα για τη σωστή συνεργασία και ανταλλαγή πληροφοριών. Κάθε μοντέλο πρέπει να συλλέγει πληροφορίες για κτήρια και υποδομές, ταξινομημένες σε διαφορετικές κατηγορίες και ιεραρχίες. Για την επιτυχή δημιουργία τους, απαιτείται η ενοποίηση των τεχνολογιών BIM και GIS, η οποία είναι αντικείμενο ενδιαφέροντος σε πολλές τρέχουσες έρευνες (Ανδριανέση, 2020).

2.8.2 Οφέλη ενοποίησης BIM και GIS

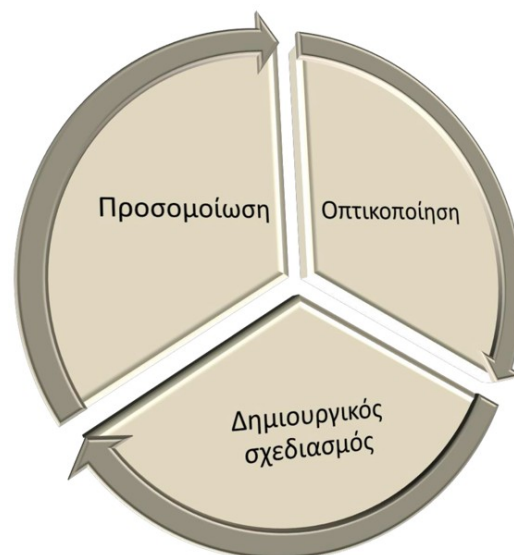
Η πρόοδος της ψηφιακής τεχνολογίας έχει φέρει σημαντικές εξελίξεις στο BIM και στα GIS τα τελευταία χρόνια. Αυτές οι τεχνολογίες προσφέρουν πλήθος πλεονεκτημάτων στους επαγγελματίες του τομέα. Η εφαρμογή του BIM συμβάλλει στη μείωση των εξόδων, στην αύξηση της παραγωγικότητας και της ποιότητας, στη συντόμευση των χρόνων παράδοσης, καθώς και στην προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης κτηρίων σε όλα τα στάδια τους, από το σχεδιασμό μέχρι την λειτουργία, διευκολύνοντας τις βιώσιμες αξιολογήσεις και τις αναλύσεις. Από την άλλη, η εφαρμογή των GIS επιτρέπει στους χρήστες να αποκτούν οπτικές και ψηφιακές αναπαραστάσεις του φυσικού περιβάλλοντος, προσφέροντας ποικίλα πιθανά οφέλη.

Τα GIS έχουν τη δυνατότητα να συλλέγουν, να αποθηκεύουν, να διαχειρίζονται, να υπολογίζουν, να αναλύουν και να περιγράφουν χωρικές πληροφορίες. Αν και το BIM και τα GIS έχουν αυτήν την ικανότητα, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι διαφέρουν σημαντικά σε

πολλούς τομείς, όπως τα συστήματα αναφοράς, η γεωμετρική αναπαράσταση σε τρεις διαστάσεις, η μορφή των δεδομένων και η αποθήκευση των δεδομένων.

Για παράδειγμα, το BIM επικεντρώνεται στην ακριβή απεικόνιση των κτηρίων και των στοιχείων του έργου, περιλαμβάνοντας τις δομές, την αισθητική και άλλες πτυχές που σχετίζονται με τις προτιμήσεις των ιδιοκτητών και το κόστος. Αντιθέτως, τα GIS επικεντρώνονται κυρίως στη γεωγραφική απεικόνιση της μορφής των κτηρίων και των δομικών στοιχείων, καθώς και σε γεωγραφικές πληροφορίες.

Αυτές οι διαφορές καθιστούν την ομαλή ενοποίηση του BIM με τα GIS μια πρόκληση, αν και η συγχώνευσή τους μπορεί να προσφέρει οφέλη σε τομείς όπως η ενεργειακή ανάλυση, η κοστολόγηση και η πλοήγηση σε εσωτερικούς χώρους. Η σύνδεση του BIM με το GIS επιτρέπει την ενσωμάτωση του γεωγραφικού πλαισίου σε ένα έργο, διευκολύνοντας την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων από το πεδίο, καθώς και τη βελτίωση της επικοινωνίας με τους ενδιαφερόμενους. Επιπλέον, για να ενισχύσει την αποδοτικότητα και την παραγωγικότητα, μια έξυπνη πόλη αξιοποιεί δεδομένα και ολοκληρωμένες τεχνολογίες, βελτιώνοντας τις εσωτερικές διαδικασίες και επιφέροντας θετικά αποτελέσματα στην καθημερινότητα των πολιτών και των επιχειρήσεων. Τα δύο αυτά καινοτόμα μοντέλα που προγράφονται, οδηγούν σε τρεις βασικές βελτιώσεις στο σχεδιασμό των πόλεων:



Εικόνα 6 : Βελτιώσεις για το Σχεδιασμό Πόλεων (Χολέβας, 2022)

Αρχικά, σχεδιαστές κτηρίων μπορούν να αξιοποιήσουν μεγάλα σε όγκο δεδομένα, αναλυτικές πληροφορίες, μηχανική μάθηση και τεχνητή νοημοσύνη για να έχουν μια ολοκληρωμένη

εικόνα της τρέχουσας κατάστασης και των θεμάτων που χρήζουν άμεση αντιμετώπιση. Χρησιμοποιώντας οπτικοποιήσεις επαυξημένης και εικονικής πραγματικότητας, μαζί με επιχειρηματική ευφυΐα και δυναμικούς πίνακες εργαλείων, καθώς και πλούσιες οπτικοποιήσεις που λαμβάνουν υπόψη τη διάσταση του χρόνου, οι χρήστες μπορούν να κατανοήσουν καλύτερα το πλαίσιο των αλλαγών και του σχεδιασμού. Όσον αφορά τον δημιουργικό σχεδιασμό, διάφορα εργαλεία, σε συνδυασμό με ακριβή γεωχωρικά δεδομένα και μηχανική μάθηση, μπορούν να παραγάγουν αισθητικά ελκυστικά σχέδια σε χαμηλό κόστος. Παράλληλα, καινοτόμες προσεγγίσεις σε υλικά και κατασκευαστικές τεχνικές εφαρμόζονται για να βελτιωθεί η διαδικασία σχεδιασμού (Χολέβας, 2022).

2.9 Προκλήσεις και Περιορισμοί των Τεχνολογικών Μέσων υπό Διάφορες Συνθήκες

Στις μέρες μας οι ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις συμβάλλουν ενεργά στην ακριβή και ταχύτερη αξιολόγηση της σεισμικής τρωτότητας των κατασκευών, μιας κρίσιμης πλέον αξιολόγησης για την ανθεκτικότητα και την αντοχή των δομών έναντι των φυσικών φαινομένων όπως οι σεισμοί. Έτσι συνδυάζοντας τα σύγχρονα τεχνολογικά μέσα όπως τα drone, οι Lidar σαρωτές, οι θερμογραφικές κάμερες και πλέον την τεχνητή νοημοσύνη έχουμε ένα ολοκληρωμένο αποτέλεσμα έναν πιο επιτυχημένο και αποτελεσματικό οπτικό έλεγχο που αποσκοπεί στην έγκαιρη ανίχνευση πιθανών κινδύνων και στη λήψη αποφάσεων. Παρά τα πολλά θετικά σημεία για κάθε ένα από τα εργαλεία που αναφέρθηκαν παραπάνω, υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί που επηρεάζουν την εγκυρότητα τους και κυρίως σχετίζονται με περιβαλλοντικούς και γεωγραφικούς παράγοντες. Αρχικά, τα drone παρέχουν τη δυνατότητα ταχύτερης χαρτογράφησης και ελέγχου κατασκευών ακόμη και σε επικίνδυνες περιοχές που η ανθρώπινη παρέμβαση είναι δύσκολη. Ωστόσο η χρήση τους είναι δύσκολη σε περιοχές με έντονες καιρικές συνθήκες και ιδιαίτερα σε περιοχές με ισχυρούς ανέμους. Για παράδειγμα στις Κυκλάδες, σύμφωνα με δεδομένα της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (EMY), έχουν ισχυρούς ανέμους τα λεγόμενα «μελτέμια» κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες, σε αντίθεση με διάφορες περιοχές της Μακεδονίας όπου η ένταση των ανέμων δεν είναι τόσο ισχυρή όπως αποδεικνύεται στον Πίνακα 1 και Πίνακα 2.

Πίνακας 1: Πίνακας μέσων Μηνιαίων Τιμών Ανέμων στο Αιγαίο (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, 2024).

Βόρειο Αιγαίο	Μέση Θερμοκρασία °C			Υγρασία	Άνεμος		Υετός	
	Μηνιαία	Μέγιστη	Ελάχιστη	(%)	Δυση	Ένταση (Kt)	Ύψος (mm)	Ημέρες
Λήμνος	25.5	29.1	20.7	61.0	BA	9.0	6.3	2.3
Μυτιλήνη	26.6	30.8	21.7	57.9	B	8.5	2.7	0.8
Σάμος	28.6	32.8	22.8	47.2	B	11.8	0.5	0.1
Νότιο Αιγαίο	Μέση Θερμοκρασία °C			Υγρασία	Άνεμος		Υετός	
	Μηνιαία	Μέγιστη	Ελάχιστη	(%)	Δυση	Ένταση (Kt)	Ύψος (mm)	Ημέρες
Νάξος	25.0	27.0	22.2	70.0	B	13.8	1.6	0.3
Ρόδος	27.3	30.7	23.2	61.5	Δ	11.2	0.2	0.1

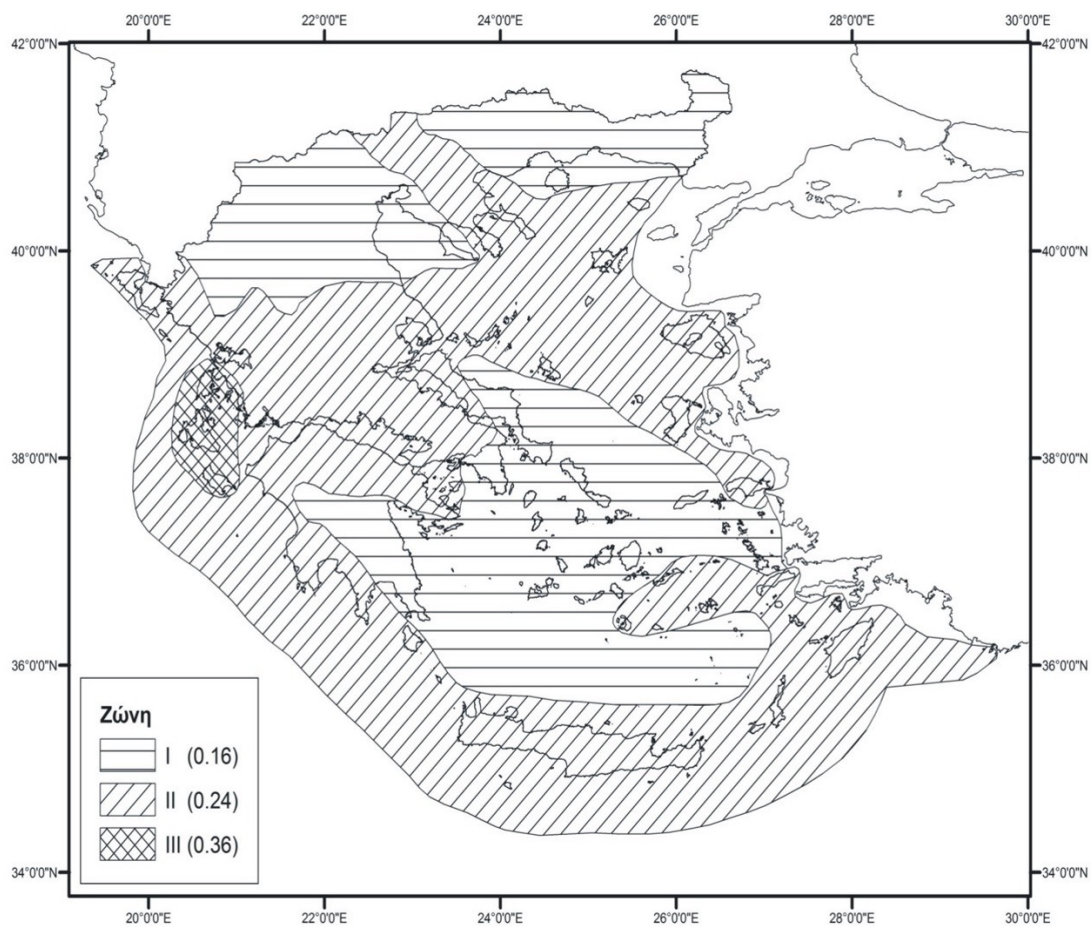
Πίνακας 2: Πίνακας μέσων Μηνιαίων Τιμών Ανέμων στη Μακεδονία (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, 2024).

Ανατολική Μακεδονία & Θράκη	Μέση Θερμοκρασία °C			Υγρασία	Άνεμος		Υετός	
	Μηνιαία	Μέγιστη	Ελάχιστη	(%)	Δυση	Ένταση (Kt)	Ύψος (mm)	Ημέρες
Αλεξανδρούπολη	25.8	30.7	18.0	53.7	BA	6.7	13.1	3.3
Καβάλα	25.5	30.2	19.2	60.4	A	3.9	17.0	3.4
Κεντρική Μακεδονία	Μέση Θερμοκρασία °C			Υγρασία	Άνεμος		Υετός	
	Μηνιαία	Μέγιστη	Ελάχιστη	(%)	Δυση	Ένταση (Kt)	Ύψος (mm)	Ημέρες
Θεσσαλονίκη	26.4	31.4	19.1	55.0	N	5.7	19.3	5.1
Σέρρες	26.0	32.2	18.2	54.7	N	2.9	26.8	5.1
Τρίκαλα Ημαθίας	25.3	31.5	17.9	63.2	NA	3.3	19.5	3.6
Δυτική Μακεδονία	Μέση Θερμοκρασία °C			Υγρασία	Άνεμος		Υετός	
	Μηνιαία	Μέγιστη	Ελάχιστη	(%)	Δυση	Ένταση (Kt)	Ύψος (mm)	Ημέρες
Κοζάνη	24.0	29.6	16.3	50.7	B	3.5	27.8	5.1
Φλώρινα	22.8	29.0	14.7	56.9	B	3.9	30.6	5.3

Επίσης, οι θερμογραφικές κάμερες βοηθούν στην ανίχνευση θερμικών ανωμαλιών απεικονίζοντας τις θερμοκρασιακές διαφορές για τον εντοπισμό κρυφών, μη επιφανειακών προβλημάτων μιας κατασκευής. Τα αποτελέσματα της θερμογραφικής ανάλυσης

επηρεάζονται από την εξωτερική θερμοκρασία πιο συγκεκριμένα σε ζεστές περιόδους δεν έχει έντονες θερμοκρασιακές διαφορές για να αποκαλυφθούν οι ασυνέχειες. Έτσι καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι οι χειμερινοί μήνες είναι περισσότερο κατάλληλοι αφού η θερμοκρασιακή διαφορά στο εσωτερικό και εξωτερικό ενός κτηρίου είναι εντονότερη.

Επιπλέον το SHM, ένα εργαλείο που παρακολουθεί την δομική υγεία του κάθε κτηρίου σε κάθε στιγμή, είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε σεισμογενείς περιοχές όπου κρίνεται απαραίτητη η συστηματική παρακολούθηση των κτηρίων στις σεισμικά επικίνδυνες περιοχές. Η Εικόνα 7 παρακάτω δείχνει τις Ζώνες Σεισμικής Επικινδυνότητας οι οποίες καθορίζουν ποιες περιοχές χρήζουν περεταίρω προσοχή, σύμφωνα με τον ΕΑΚ2000.



Εικόνα 7 : Χάρτης Σεισμικής Επικινδυνότητας (Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού & Προστασίας, 2003)

Σε περιοχές με υψηλή σεισμική δραστηριότητα, τα Laser scanners παίζουν σημαντικό ρόλο στη λεπτομερή αποτύπωση των κτηρίων πριν και μετά από ένα σεισμό. Όμως η χρήση τους επηρεάζεται και από άλλους παράγοντες που ενδέχεται να επηρεάσουν την χρηστικότητα τους, την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητά τους. Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τους

παράγοντες σχετικά με την αναγκαιότητα τους ανάλογα με τη σεισμικότητα της κάθε περιοχής (Παπαδόπουλος, 2011).

Πίνακας 3: Παράγοντες που Επηρεάζουν τον Ταχύ Οπτικό Έλεγχο με Χρήση Σύγχρονων Τεχνολογικών Μέσων

Τεχνολογικό Μέσο	Παράγοντες που Επηρεάζουν τον Ταχύ Οπτικό Έλεγχο	Επιπτώσεις/Εφαρμογές
Drone	Καιρικές συνθήκες (άνεμος, βροχή, ομίχλη)	Επηρεάζουν τη δυνατότητα πτήσης και την ποιότητα των καταγεγραμμένων δεδομένων, προκαλώντας παραμορφώσεις στις εικόνες.
	Πρόσβαση στην περιοχή (ανυψωμένες ή κλειστές περιοχές)	Μπορεί να περιορίσει την ικανότητα κάλυψης ολόκληρης της περιοχής, περιορίζοντας την ακρίβεια των δεδομένων.
	Αυτονομία μπαταρίας και χρόνος πτήσης	Επηρεάζει τη διάρκεια σάρωσης και τη δυνατότητα κάλυψης μεγάλων περιοχών χωρίς διακοπές.
LiDAR	Αντανάκλαση επιφανειών (μεταλλικές ή γυάλινες επιφάνειες)	Μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στην ακριβή μέτρηση αποστάσεων και την αποτύπωση μικρών ζημιών.
	Πυκνότητα δεδομένων και ποιότητα σάρωσης	Επηρεάζει την ακρίβεια των 3D μοντέλων και τη λεπτομέρεια της αποτύπωσης της κατασκευής.
	Περιορισμένη ορατότητα ή γεωμετρικά εμπόδια	Ενδέχεται να περιορίσει την απόκτηση δεδομένων σε πολύπλοκες γεωμετρίες ή σε περιοχές με εμπόδια.
Υπέρυθρη Θερμογραφία	Θερμοκρασιακές διαφορές (διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού)	Επηρεάζει τη δυνατότητα ανίχνευσης διαρροών, ρωγμών ή προβλημάτων μόνωσης.
	Περιβαλλοντικές συνθήκες (ήλιος, υγρασία)	Μπορεί να επηρεάσει την απόδοση της κάμερας θερμογραφίας και τη σαφήνεια των εικόνων.
	Απόσταση και γωνία σάρωσης	Επηρεάζει την ακρίβεια και τη δυνατότητα ανίχνευσης μικρών ή αόρατων ζημιών.
SHM (Σύστημα Παρακολούθησης Υποδομών)	Σημεία εγκατάστασης αισθητήρων (κατάλληλα σημεία για τη μέτρηση παραμέτρων)	Ορισμένα μέρη της κατασκευής ενδέχεται να μην είναι προσβάσιμα ή κατάλληλα για τοποθέτηση αισθητήρων.

	<p>Αντίσταση στην τεχνολογία (εκπαίδευση και συντήρηση συστημάτων SHM)</p>	<p>Απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό και χρόνο για τη ρύθμιση και τη συνεχιζόμενη παρακολούθηση των δεδομένων.</p>
	<p>Ακρίβεια και ποιότητα δεδομένων</p>	<p>Επηρεάζει την ικανότητα του συστήματος να ανιχνεύει ζημιές και να εκτιμά τη δομική ακεραιότητα σε πραγματικό χρόνο.</p>

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο: ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ

3.1 Ανάλυση – Επεξήγηση Ερωτηματολογίου

ΕΝΟΤΗΤΑ Α: Στοιχεία Κατασκευής

Η ενότητα αυτή καταγράφει βασικά στοιχεία του κτιρίου, όπως τον τύπο του κτιρίου, τον φέροντα οργανισμό, το έτος κατασκευής και τον αριθμό των ορόφων. Αυτά τα δεδομένα είναι σημαντικά για την αξιολόγηση του τύπου ελέγχου που απαιτείται και της αναγκαίας συχνότητας του ελέγχου, καθώς οι παλαιότερες κατασκευές ή τα κτίρια με συγκεκριμένα δομικά χαρακτηριστικά μπορεί να απαιτούν πιο ενδελεχή ή διαφορετική προσέγγιση.

ΕΝΟΤΗΤΑ Β: Χρήση Drone για TOE

Εδώ καταγράφονται τα αποτελέσματα της χρήσης drone για τη σάρωση του κτιρίου από αέρος. Εξετάζεται αν το drone κατέγραψε πλήρως την εξωτερική δομή και αν αναγνωρίστηκαν ρωγμές ή άλλες ανωμαλίες. Επίσης, αναφέρονται οι περιορισμοί που προκύπτουν από τις καιρικές συνθήκες, την πρόσβαση ή το κόστος του εξοπλισμού.

ΕΝΟΤΗΤΑ Γ: Χρήση Laser Scanner για TOE

Η χρήση του Laser Scanner για την καταγραφή ακριβείας των εξωτερικών και εσωτερικών στοιχείων του κτιρίου αξιολογείται σε αυτή την ενότητα. Ανάλογα με τα αποτελέσματα, καταγράφεται αν το Laser Scanner βοήθησε στην αναγνώριση ρωγμών και άλλων δομικών αδυναμιών. Εξετάζονται επίσης περιορισμοί όπως ο απαιτούμενος χρόνος για τη σάρωση και οι περιοχές που δεν καταγράφηκαν πλήρως.

ΕΝΟΤΗΤΑ Δ: Χρήση Υπέρυθρης Θερμογραφίας για TOE

Η υπέρυθρη θερμογραφία χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό αλλαγών στη θερμοκρασία που υποδεικνύουν πιθανές ρωγμές ή διαρροές. Στην ενότητα αυτή, καταγράφονται τα αποτελέσματα αυτής της τεχνικής και οι περιορισμοί της, όπως οι καιρικές συνθήκες που επηρεάζουν την αποδοτικότητα της μέτρησης.

ΕΝΟΤΗΤΑ Ε: Χρήση Polycam με LiDAR για Εσωτερική Σάρωση για TOE

Η χρήση του Polycam με LiDAR για την εσωτερική καταγραφή του κτιρίου επιτρέπει τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων του χώρου, αποκαλύπτοντας τυχόν ανωμαλίες στη γεωμετρία της κατασκευής. Στην ενότητα αυτή, καταγράφεται η ακρίβεια της σάρωσης και οι περιορισμοί της τεχνολογίας αυτής, όπως η κάλυψη των περιοχών με περιορισμένη πρόσβαση.

ΕΝΟΤΗΤΑ ΣΤ : Χρήση SHM για TOE

Η χρήση SHM για ταχύ οπτικό έλεγχο περιλαμβάνει την εγκατάσταση αισθητήρων σε κρίσιμα δομικά στοιχεία (υποστυλώματα, δοκοί, τοιχοποιία) για τη συνεχή ή τακτική παρακολούθηση παραμέτρων όπως παραμορφώσεις, επιταχύνσεις, θερμοκρασία και υγρασία. Με την καταγραφή αυτών των δεδομένων, εντοπίζονται πιθανές δομικές βλάβες, όπως ρωγμές ή παραμορφώσεις. Τα δεδομένα ενσωματώνονται σε μοντέλο BIM, το οποίο ενημερώνεται με τις παρατηρούμενες αποκλίσεις και αναλύεται για τον εντοπισμό ευπαθειών. Ανάλογα με τα αποτελέσματα, προτείνονται επεμβάσεις ενίσχυσης και επισκευής, ενώ καταγράφονται τα κόστη και το χρονοδιάγραμμα των εργασιών. Το SHM επιτρέπει τη συνεχιζόμενη παρακολούθηση της κατασκευής, προσφέροντας πρόληψη και έγκαιρη αντίδραση σε προβλήματα, με οικονομικά και λειτουργικά οφέλη για τη διαχείριση της κατασκευής.

ΕΝΟΤΗΤΑ Ζ - Η: BIM και GIS για Ταχύ Οπτικό Έλεγχο

Το BIM (Building Information Modeling) και το GIS (Geographic Information Systems) αποτελούν δύο κεντρικές τεχνολογίες που υποστηρίζουν τον TOE και την αποκατάσταση κτιρίων. Το BIM παρέχει μια ψηφιακή αναπαράσταση των φυσικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών του κτιρίου, επιτρέποντας την ανάλυση της κατασκευής και της σεισμικής της αντίστασης μέσω γεωμετρικών και υλικών χαρακτηριστικών. Χρησιμοποιώντας δεδομένα από drones και LiDAR, το BIM μπορεί να ενσωματώσει πληροφορίες σχετικά με τη φυσική κατάσταση του κτιρίου, εντοπίζοντας ρωγμές ή παραμορφώσεις και προτείνοντας ενέργειες για αποκατάσταση ή ενίσχυση. Επιπλέον, το BIM υποστηρίζει τη διαχείριση της αποκατάστασης με ακριβείς υπολογισμούς κόστους και χρόνο. Από την άλλη, το GIS ενσωματώνει γεωγραφικά δεδομένα που αφορούν την περιοχή του κτιρίου, όπως κινδύνους πλημμύρας ή σεισμική δραστηριότητα, και επιτρέπει τη χαρτογράφηση περιοχών με υψηλό κίνδυνο. Συνδυάζοντας τα δεδομένα του GIS με αυτά του BIM, μπορεί να δημιουργηθεί μια ολοκληρωμένη εικόνα της κατάστασης του κτιρίου και των γύρω περιοχών, προγραμματίζοντας τις απαραίτητες παρεμβάσεις για την αποκατάσταση και την ενίσχυση

της κατασκευής. Ωστόσο, υπάρχουν περιορισμοί στην εφαρμογή αυτών των τεχνολογιών, όπως η ανάγκη για ακριβή δεδομένα και εξειδικευμένο προσωπικό για τη διαχείριση των συστημάτων αυτών, ενώ το κόστος ανάπτυξης και συντήρησης του BIM και του GIS παραμένει υψηλό.

3.2 Ερωτηματολόγιο

ΕΝΟΤΗΤΑ Α: Στοιχεία Κατασκευής

1. Χρήση Κτιρίου

- [] Κατοικία
- [] Δημόσιο Κτίριο
- [] Εμπορικός Χώρος
- [] Εκπαιδευτικός Χώρος
- [] Άλλο: _____

2. Δομικός Τύπος Φέροντος Οργανισμού

- [] Οπλισμένο Σκυρόδεμα
- [] Φέρουσα Τοιχοποιία
- [] Μεταλλικός Σκελετός
- [] Ξύλινος σκελετός
- [] Μεικτός Φέρον Οργανισμός

3. Έτος Κατασκευής ή Τελευταίας Ανακαίνισης

- [] Προ του 1985
- [] 1985-2000
- [] Μετά το 2000

4. Αριθμός Ορόφων

- [] Συνολικός αριθμός (για ορόφους άνω της στάθμης εδάφους): _____
- [] Υπόγειο [] Ναι [] Όχι

ΕΝΟΤΗΤΑ Β: Χρήση Drone για Ταχύ Οπτικό Έλεγχο

1. Η διαδικασία σάρωσης από το Drone επέτρεψε την πλήρη καταγραφή της εξωτερικής δομής του κτιρίου;

- [] Ναι
- [] Όχι
- [] Εάν Όχι, ποιες περιοχές δεν καταγράφηκαν και σε ποιο ποσοστό (%);

2. **Παρατηρήθηκαν ρωγμές ή άλλες ανωμαλίες από την οπτική παρατήρηση μέσω του Drone;**
- Ναι
 - Όχι
 - Εάν Ναι, καταγράψτε τις περιοχές με ρωγμές και το ποσοστό αυτών ως προς το σύνολο (%): _____
3. **Αν η σάρωση έγινε υπό διαφορετικές γωνίες, ήταν ορατές οι ρωγμές και οι ανωμαλίες από όλες τις γωνίες;**
- Ναι
 - Όχι
 - Εάν Όχι, σε ποιες γωνίες δεν ήταν ορατές οι ανωμαλίες και σε ποιο ποσοστό (%); _____
4. **Σε τι ποσοστό εκτιμάται ότι υπάρχουν ρωγμές στο κτίριο;**
- 0-33%
 - 33-66%
 - 66-100%
5. **Ο εξοπλισμός Drone έδωσε επαρκείς πληροφορίες για την ανάλυση της τρωτότητας των φερόντων στοιχείων (π.χ. υποστυλωμάτων, δοκών);**
- Ναι
 - Όχι
 - Εάν Όχι, ποιες περιοχές/δομικά στοιχεία δεν καλύφθηκαν πλήρως και σε ποιο ποσοστό (%); _____
6. **Περιορισμοί στη χρήση Drone:**
- **Κόστος Εξοπλισμού:** Το κόστος του Drone εξαρτάται από τον τύπο και την ποιότητα του εξοπλισμού.
 - **Ερώτηση:** Το κόστος αγοράς και συντήρησης του εξοπλισμού καθώς και η συχνότητα των ελέγχων επηρέασε τα αποτελέσματα;
 - Ναι
 - Όχι
 - Εάν Ναι, αναφέρετε το κόστος και συντήρησης (€): _____
 - **Καιρικές Συνθήκες:** Οι συνθήκες αέρα ή βροχής μπορεί να επηρεάσουν την ποιότητα των δεδομένων.
 - **Ερώτηση:** Υπήρξαν καιρικές συνθήκες που εμπόδισαν την ολοκληρωμένη σάρωση του κτιρίου;
 - Ναι
 - Όχι

- Εάν Ναι, ποιες συνθήκες ήταν αυτές και σε ποιο ποσοστό δεν λήφθησαν αποτελέσματα λόγω καιρικών συνθηκών (%);

- **Περιορισμένη Πρόσβαση:** Υπάρχουν περιοχές του κτιρίου που δεν μπορούν να καταγραφούν λόγω εμποδίων (π.χ. δέντρα, κοντινά κτίρια);
 - **Ερώτηση:** Υπήρξαν περιορισμοί στην πρόσβαση για το Drone;
 - Ναι
 - Όχι
 - Εάν Ναι, ποιες περιοχές ήταν αυτές και σε ποιο ποσοστό δεν λήφθησαν αποτελέσματα λόγω περιορισμένης πρόσβασης (%);

ΕΝΟΤΗΤΑ Γ: Χρήση Laser Scanner για Ταχύ Οπτικό Έλεγχο

1. **Η διαδικασία σάρωσης με Laser Scanner κατέγραψε με ακρίβεια όλες τις κρίσιμες δομικές περιοχές (υποστυλώματα, δοκούς, πλάκες, τοιχοποιία);**
 - Ναι
 - Όχι
 - Εάν Όχι, ποιες περιοχές δεν καταγράφηκαν και σε ποιο ποσοστό επί του συνόλου (%); _____
2. **Εντοπίστηκαν ρωγμές ή άλλα κενά που απαιτούν επισκευή;**
 - Ναι
 - Όχι
 - Εάν Ναι, ποσοστό ζημιών: _____%
3. **Η σάρωση κατέγραψε με λεπτομέρεια τις διαστάσεις των ρωγμών και άλλων ανωμαλιών;**
 - Ναι
 - Όχι
 - Εάν Όχι, ποιες ανωμαλίες δεν καταγράφηκαν σωστά και σε ποιο ποσοστό (%);

4. **Η σάρωση αποκάλυψε πιθανές δυσλειτουργίες (π.χ. διαστρέβλωση τοιχοποιίας, καθίζηση, διάβρωση) στις υποστηρικτικές δομές της κατασκευής;**
 - Ναι
 - Όχι
 - Εάν Ναι, καταγράψτε τις περιοχές που επηρεάζονται και σε ποιο ποσοστό επί του συνόλου (%): _____

5. Σε τι ποσοστό εκτιμάτε ότι η εισαγωγή στοιχείων ή προηγούμενων στοιχείων που έχουν καταχωρηθεί από Drone μπορούν να συμβάλλουν στην εκτίμηση της τρωτότητας του κτιρίου;

- [] 0-33%
- [] 33-66%
- [] 66-100%

6. Περιορισμοί στη χρήση Laser Scanner:

- Απαιτούμενος Χρόνος:** Η διαδικασία σάρωσης μπορεί να είναι χρονοβόρα και να περιορίζει τον αριθμό των ελέγχων που γίνονται σε σύντομο χρονικό διάστημα.
 - Ερώτηση:** Ο χρόνος που απαιτείται για την πλήρη σάρωση περιορίσει την αποτελεσματικότητα του ελέγχου;
 - [] Ναι
 - [] Όχι
 - Εκτιμήστε τον απαιτούμενο χρόνο σάρωσης (h, min):

- Περιορισμένη Γεωμετρία Σάρωσης:** Ο Laser Scanner μπορεί να έχει περιορισμούς στην ακριβή σάρωση σε περιοχές με περιορισμένο χώρο ή εμπόδια.
 - Ερώτηση:** Υπήρχαν περιοχές του κτιρίου που δεν καταγράφηκαν λόγω περιορισμένης πρόσβασης ή γεωμετρίας;
 - [] Ναι
 - [] Όχι
 - Εάν Ναι, ποιες περιοχές επηρεάστηκαν και σε ποιο ποσοστό επί του συνόλου (%); _____

ΕΝΟΤΗΤΑ Δ: Χρήση Υπέρυθρης Θερμογραφίας για Εντοπισμό Ρωγμών και Διαρροών

1. Οι θερμογραφικές εικόνες έδειξαν ανωμαλίες στη θερμοκρασία, οι οποίες υποδεικνύουν ότι υπάρχουν πιθανές ρωγμές ή διαρροές;

- [] Ναι
- [] Όχι
- Εάν Ναι, ποσοστό περιοχών με ανωμαλίες: _____%

2. Η θερμογραφία αποκάλυψε ρωγμές που δεν ήταν ορατές μέσω της οπτικής παρατήρησης;

- [] Ναι
- [] Όχι
- Εάν Ναι, ποιες περιοχές κατεγράφησαν με ανωμαλίες (μη ορατές μέσω οπτικής παρατήρησης) και σε ποιο ποσοστό (%) επί του συνόλου; _____

3. Σε τι ποσοστό εκτιμάτε ότι τα στοιχεία από τη θερμογραφία συμβάλλουν στην εκτίμηση της τρωτότητας του κτιρίου;
- 0-33%
 - 33-66%
 - 66-100%
4. Περιορισμοί στη χρήση Υπέρυθρης Θερμογραφίας:
- **Καιρικές Συνθήκες:** Οι θερμοκρασίες περιβάλλοντος ή η υγρασία μπορούν να επηρεάσουν τα αποτελέσματα της θερμογραφίας.
 - **Ερώτηση: Επηρεάστηκαν τα αποτελέσματα της θερμογραφίας από τις καιρικές συνθήκες;**
 - Ναι
 - Όχι
 - Εάν Ναι, ποιες καιρικές συνθήκες επηρέασαν περισσότερο τα αποτελέσματα και σε ποιο ποσοστό επί του συνόλου (%);

 - **Ερώτηση: Σε τι ποσοστό εκτιμάτε ότι η εισαγωγή στοιχείων ή προηγούμενα στοιχεία που έχουν καταχωρηθεί από Υπέρυθρη θερμογραφία μπορούν να συμβάλλουν στην εκτίμηση της τρωτότητας του κτιρίου;**
 - 0-33%
 - 33-66%
 - 66-100%
 - **Περιορισμένη Δυνατότητα Ελέγχου Υποδομών:** Η θερμογραφία έχει περιορισμένη δυνατότητα ανίχνευσης ορισμένων τύπων ζημιών, όπως μικρές ρωγμές που δεν επηρεάζουν τη θερμοκρασία του υλικού.
 - **Ερώτηση: Υπήρξαν περιοχές που δεν καταγράφηκαν ή καταγράφηκαν εσφαλμένα λόγω των περιορισμένων δυνατοτήτων της θερμογραφίας;**
 - Ναι
 - Όχι
 - Εάν Ναι, ποιες περιοχές δεν καλύφθηκαν και σε ποιο ποσοστό επί του συνόλου (%); _____

ΕΝΟΤΗΤΑ Ε: Χρήση Polycam με LiDAR για Εσωτερική Σάρωση και Ανάλυση

1. Η σάρωση με Polycam έδωσε ακριβή τρισδιάστατα δεδομένα για τα εσωτερικά στοιχεία του κτιρίου (π.χ. τοιχοποιία, υποστυλώματα, δοκούς, πλάκες);
- Ναι

- Όχι
 - Εάν Όχι, ποιες περιοχές δεν καλύφθηκαν και σε ποιο ποσοστό επί του συνόλου (%);

2. **Οι ρωγμές και άλλες ανωμαλίες εντοπίστηκαν με επαρκή ανάλυση από το Polycam;**
- Ναι
 - Όχι
 - Εάν Όχι, καταγράψτε τις περιοχές με προβλήματα ανάλυσης και σε ποιο ποσοστό (%) επί του συνόλου; _____
3. **Η χρήση του Polycam με LiDAR μπορεί να εντοπίσει αλλαγές στη γεωμετρία της κατασκευής που είναι δύσκολο να εντοπιστούν με άλλα μέσα;**
- Ναι
 - Όχι
 - Εάν Ναι, ποιες αλλαγές στη γεωμετρία εντοπίστηκαν και σε ποιο ποσοστό (%) επί του συνόλου; _____
4. **Σε τι ποσοστό εκτιμάτε ότι η εισαγωγή στοιχείων ή προηγούμενα στοιχεία που έχουν καταχωρηθεί από Polycam με LiDAR μπορούν να συμβάλλουν στην εκτίμηση της τρωτότητας του κτιρίου;**
- 0-33%
 - 33-66%
 - 66-100%
5. **Περιορισμοί στη χρήση Polycam με LiDAR:**
- **Κόστος Εξοπλισμού:** Οι απαιτήσεις του εξοπλισμού LiDAR και η ανάγκη για ειδική εκπαίδευση μπορεί να περιορίσουν την ευχρηστία.
 - **Ερώτηση:** Επηρέασε το κόστος αγοράς και συντήρησης του Polycam και του LiDAR τη συχνότητα ή την αποτελεσματικότητα των ελέγχων;
 - Ναι
 - Όχι
 - Εάν Ναι, εκτιμήστε το κόστος αγοράς και συντήρησης (€):

 - **Περιορισμένοι Χώροι Σάρωσης:** Η ακριβής σάρωση μπορεί να επηρεαστεί σε περιοχές με περιορισμένο χώρο ή γεωμετρικές ανωμαλίες.
 - **Ερώτηση:** Υπήρχαν περιορισμοί στην κάλυψη του κτιρίου λόγω περιορισμένων χώρων ή γεωμετρίας;
 - Ναι
 - Όχι
 - Εάν Ναι, ποιες περιοχές επηρεάστηκαν και σε ποιο ποσοστό επί του συνόλου (%); _____

ΕΝΟΤΗΤΑ ΣΤ: Χρήση SHM (Structural Health Monitoring) για Ταχύ Οπτικό Έλεγχο

Α) Προετοιμασία και Εγκατάσταση Συστήματος SHM

1. Γενικά Στοιχεία Κατασκευής

- Ημερομηνία αρχικής επιθεώρησης: _____
- Προβλεπόμενος χρόνος παρακολούθησης: _____
- Κρίσιμα στοιχεία της κατασκευής προς παρακολούθηση:

α) Υποστυλώματα:

Ναι Όχι

β) Τοιχοποιία:

Ναι Όχι

γ) Δοκοί:

Ναι Όχι

- Υπάρχουν ενδείξεις δομικών βλαβών πριν την εγκατάσταση του συστήματος;
 Ναι Όχι

Εάν Ναι, τότε σε ποιο ποσοστό υπήρχαν ενδείξεις για προγενέστερες δομικές βλάβες (%); _____

2. Εγκατάσταση Αισθητήρων SHM

- Ημερομηνία εγκατάστασης αισθητήρων: _____
- Είδη αισθητήρων που εγκαταστάθηκαν:
 - Επιταχυνσιογράφοι (πλήθος: _____):
 Ναι Όχι
 - Αισθητήρες παραμορφώσεων (πλήθος: _____):
 Ναι Όχι
 - Αισθητήρες θερμοκρασίας (πλήθος: _____):
 Ναι Όχι
 - Αισθητήρες υγρασίας (πλήθος: _____):
 Ναι Όχι
- Τοποθεσίες αισθητήρων:
 - Πλήθος σε Υποστυλώματα: _____

- Πλήθος σε Δοκούς: _____
- Πλήθος σε Τοιχοποιίες: _____

3. Δοκιμές Λειτουργικότητας Συστήματος

- Ημερομηνία δοκιμής λειτουργίας: _____
- Καταγράφηκαν προβλήματα κατά τη δοκιμή;
 Ναι Όχι
- Διορθωτικές ενέργειες πριν την έναρξη παρακολούθησης:
 Ναι Όχι
 Αν Ναι, τότε ποιες ήταν οι διορθωτικές ενέργειες; _____

B) Συλλογή και Καταγραφή Δεδομένων

1. Πρόγραμμα Παρακολούθησης

- Έναρξη παρακολούθησης: _____
- Λήξη παρακολούθησης: _____
- Συχνότητα καταγραφής δεδομένων:
 - Συνεχής καταγραφή (real-time):
 Ναι Όχι
 - Τακτική καταγραφή (π.χ. εβδομαδιαία):
 Ναι Όχι

2. Καταγεγραμμένα Δεδομένα

- Δεδομένα παραμορφώσεων:
 - Μέγιστη τιμή: _____ mm
 - Που σημειώθηκε η μέγιστη τιμή; _____
- Δεδομένα επιταχύνσεων:
 - Εύρος τιμών: _____ g
 - Που σημειώθηκε η μέγιστη τιμή; _____
- Θερμοκρασία και υγρασία περιβάλλοντος:
 - Ώρα ελέγχου: _____
 - Μέση θερμοκρασία: _____ °C
 - Μέση υγρασία: _____ %

3. Ανίχνευση Πιθανών Βλαβών

- Υπάρχουν αποκλίσεις στις παραμορφώσεις σε σχέση με τις προβλεπόμενες;
 Ναι Όχι
- Καταγράφηκαν ρωγμές ή ζημιές σε τοιχοποιία;
 Ναι Όχι
 Αν Ναι, σε ποιες τοιχοποιίες σημειώθηκαν παραμορφώσεις; _____
- Καταγράφηκαν παραμορφώσεις υποστυλωμάτων ή δοκών;
 Ναι Όχι
 Αν Ναι, σε ποια υποστυλώματα ή δοκούς σημειώθηκαν παραμορφώσεις;

Γ) Ανάλυση δεδομένων και ενσωμάτωση σε BIM

1. Ανάλυση Δεδομένων

- Έχει ολοκληρωθεί η ανάλυση των δεδομένων;
 Ναι Όχι
- Ανιχνεύθηκαν κρίσιμες δομικές ευπάθειες;
 Ναι Όχι
- Συμπεράσματα από την ανάλυση: _____

2. Ενημέρωση Μοντέλου BIM

- Τα δεδομένα Laser Scanner ενσωματώθηκαν στο BIM;
 Ναι Όχι
- Τα δεδομένα Υπέρυθρης Θερμογραφίας ενσωματώθηκαν στο BIM;
 Ναι Όχι
- Τα δεδομένα Polycam ενσωματώθηκαν στο BIM;
 Ναι Όχι
- Τα δεδομένα SHM ενσωματώθηκαν στο BIM;
 Ναι Όχι
- Τα δεδομένα Drone ενσωματώθηκαν στο BIM;
 Ναι Όχι
- Υπάρχουν αποκλίσεις μεταξύ του BIM και της πραγματικής κατάστασης;
 Ναι Όχι
- Περιγραφή αποκλίσεων: _____

Δ) Σχέδιο Διαχείρισης Βλαβών

1. Προτεινόμενες Επεμβάσεις

- Έχουν προταθεί ενισχύσεις;
 - Υποστυλώματα:
 Ναι Όχι
 - Δοκοί:
 Ναι Όχι
 - Τοιχοποιία:
 Ναι Όχι
- Προτεινόμενα υλικά επισκευής: _____
- Εκτίμηση κόστους επεμβάσεων: _____ €

2. Χρονοδιάγραμμα Επεμβάσεων

- Έναρξη εργασιών: _____
- Ολοκλήρωση εργασιών: _____
- Συνολική εκτίμηση χρόνου επεμβάσεων: _____ (έτη, μήνες)

3. Σε τι ποσοστό εκτιμάτε ότι η εισαγωγή στοιχείων ή προηγούμενα στοιχεία που έχουν καταχωρηθεί στο BIM μπορούν να συμβάλλουν στην εκτίμηση της τρωτότητας του κτιρίου;

- 0-33%
- 33-66%
- 66-100%

Ε) Περιορισμοί και Κόστη με τις μεθόδους καταγραφής της τρωτότητας μέσω BIM

1. Περιορισμοί Καταγραφής και Ανάλυσης

- Έχει επηρεασθεί η ακρίβεια και τα αποτελέσματα, λόγω περιβαλλοντικών παραγόντων:
 Ναι Όχι
- Έχει επηρεασθεί η ακρίβεια και τα αποτελέσματα, λόγω της αδυναμίας πρόσβασης σε κρίσιμα σημεία της κατασκευής:
 Ναι Όχι
- Έχει επηρεασθεί η ακρίβεια και τα αποτελέσματα, λόγω της έλλειψης εξειδικευμένου προσωπικού:
 Ναι Όχι

2. Κόστη Υλοποίησης

- Αγορά του εξοπλισμού BIM:
_____ €
- Ανάλυση δεδομένων: _____ €
- Εργατοώρες: _____
- Συντήρηση συστήματος (ετήσια): _____ €

ΕΝΟΤΗΤΑ Ζ: BIM για Ταχύ Οπτικό Έλεγχο

A. Γενικές Πληροφορίες Κατασκευής

1. Έχει δημιουργηθεί ή διατίθεται μοντέλο BIM για την κατασκευή;

Ναι Όχι

2. Αν Ναι, περιλαμβάνει το BIM:

- Αναλυτικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά;
 Ναι Όχι
- Υλικά κατασκευής και ιδιότητες αυτών (π.χ. αντοχή σε θλίψη);
 Ναι Όχι
- Ιστορικό κατασκευαστικών αλλαγών;
 Ναι Όχι

3. Η τοποθεσία της κατασκευής έχει αξιολογηθεί για σεισμικό κίνδυνο μέσω του BIM;

Ναι Όχι

4. Υπάρχουν στοιχεία τοιχοποιίας ή υποστυλωμάτων με πιθανή δομική ευπάθεια (π.χ., ρωγμές);

Ναι Όχι

B. Πρόληψη και Προετοιμασία μέσω BIM

1. Έχουν εκτελεστεί στατικές ή δυναμικές προσομοιώσεις για την κατασκευή στο BIM;

Ναι Όχι

2. Οι προσομοιώσεις περιλαμβάνουν:

- Τη συμπεριφορά της κατασκευής σε σεισμικές δονήσεις;
 Ναι Όχι
- Τη μελέτη πιθανών μηχανισμών κατάρρευσης;
 Ναι Όχι

3. Υπάρχει πρόβλεψη για ενίσχυση ή επισκευή κρίσιμων στοιχείων βάσει των προσομοιώσεων;

Ναι Όχι

4. Έχει ενσωματωθεί ιστορικό συντήρησης ή επισκευών στο BIM;

Ναι Όχι

Γ. Επιτόπιος Ταχύς Έλεγχος με BIM

1. Έχουν συλλεχθεί πρόσφατα δεδομένα από Laser scanners, υπέρυθρη θερμογραφία, Polycam-LiDAR, SHM, ή Drones);

Ναι Όχι

2. Τα νέα δεδομένα έχουν ενσωματωθεί ή μπορούν να ενσωματωθούν στο BIM;

Ναι Όχι

Αναφέρετε ποιες από τις ανωτέρω νέες τεχνολογίες έχουν ενσωματωθεί στο BIM;

3. Υπάρχουν αποκλίσεις μεταξύ του μοντέλου και της πραγματικής κατάστασης;

Ναι Όχι

Εάν Ναι, σε ποιους λόγους οφείλονται οι αποκλίσεις αυτές; _____

4. Ποια από τα παρακάτω δεδομένα μπορούν να αξιολογηθούν;

- Ρωγμές σε τοιχοποιίες ή πλάκες;

Ναι Όχι

- Παραμορφώσεις υποστυλωμάτων ή δοκών;

Ναι Όχι

- Κατασκευαστικές αστοχίες (π.χ. αποσύνδεση υλικών);

Ναι Όχι

Δ. Διαχείριση Αποκατάστασης μέσω BIM

1. Έχουν προταθεί σενάρια αποκατάστασης βάσει του BIM;

Ναι Όχι

2. Εάν ΝΑΙ, τότε τα σενάρια περιλαμβάνουν:

- Ενίσχυση υποστυλωμάτων ή τοιχοποιίας;

Ναι Όχι

- Χρήση νέων υλικών για επισκευή;

Ναι Όχι

3. Εκτίμηση του κόστους αποκατάστασης με χρήση του BIM;
- Ναι Όχι
4. Εφόσον υπήρξαν εργασίες αποκατάστασης, το BIM ενημερώθηκε μετά την ολοκλήρωση των εργασιών;
- Ναι Όχι
5. Σε τι ποσοστό εκτιμάτε ότι η εισαγωγή στοιχείων ή προηγούμενα στοιχεία που έχουν καταχωρηθεί στο BIM μπορούν να συμβάλλουν στην εκτίμηση της τρωτότητας του κτιρίου;
- 0-33%
 - 33-66%
 - 66-100%

Ε. Περιορισμοί και Ενδεικτικά Κόστη

1. Ποιοι περιορισμοί υπήρχαν κατά τη χρήση του BIM;

- Υπάρχει έλλειψη διαθέσιμων δεδομένων ή πληροφοριών κατασκευής;
 Ναι Όχι
- Το κόστος λογισμικού και εξειδικευμένου εξοπλισμού είναι απαγορευτικό (*);
 Ναι Όχι
- Υπάρχει χρόνος για την ενημέρωση του μοντέλου με επιτόπια δεδομένα;
 Ναι Όχι
- Υπάρχει έλλειψη εξειδικευμένου προσωπικού;
 Ναι Όχι

(*). Σημείωση: Το Ενδεικτικό κόστος χρήσης BIM για το έτος 2024 είναι:

Άδεια λογισμικού: 2.000-4.000€ ανά έτος.

Εξειδικευμένο προσωπικό: 30-50€ ανά ώρα.

Συνολική προετοιμασία και ανάλυση για μικρά κτίρια: 5.000-€10.000€

ΕΝΟΤΗΤΑ Η: GIS για Ταχύ Οπτικό Έλεγχο

Α. Γενικές Πληροφορίες Περιοχής

1. Έχουν συλλεχθεί γεωγραφικά δεδομένα για την περιοχή όπου βρίσκεται η κατασκευή;
- Ναι Όχι
2. Υπάρχουν δεδομένα κινδύνου (π.χ. σεισμική δραστηριότητα, πλημμύρες, πυρκαγιές);
- Ναι Όχι

3. Έχουν καταγραφεί δεδομένα υποδομών (π.χ. δίκτυα ύδρευσης, αποχέτευσης) γύρω από την κατασκευή;

Ναι Όχι

4. Αν ΝΑΙ, τότε ποια δεδομένα υποδομών καταγράφησαν; _____

B. Πρόληψη μέσω GIS

1. Υπάρχει χαρτογράφηση του μικροσεισμικού κινδύνου της περιοχής;

Ναι Όχι

2. Έχει πραγματοποιηθεί ανάλυση χωρικών δεδομένων για την εκτίμηση της σεισμικής τρωτότητας της κατασκευής;

Ναι Όχι

3. Το GIS περιλαμβάνει πληροφορίες για:

1. Γεωλογικές συνθήκες (π.χ. ρήγματα, εδάφη);

Ναι Όχι

2. Τη θέση και την πυκνότητα γειτονικών κτιρίων;

Ναι Όχι

3. Άλλες πληροφορίες _____

Γ. Επιτόπια Ανάλυση με GIS

1. Έχει καταγραφεί η θέση και η μορφολογία της κατασκευής μέσω UAV (drone) ή άλλων αισθητήρων και ενσωματωθεί στο GIS;

Ναι Όχι

2. Υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα για τις κατασκευαστικές ζημιές μετά από ένα γεγονός (π.χ. σεισμός);

Ναι Όχι

3. Έχουν εντοπιστεί μέσω GIS περιοχές με υψηλή συγκέντρωση βλαβών;

Ναι Όχι

4. Μπορεί το GIS να υποστηρίξει σε πραγματικό χρόνο την εκτίμηση ζημιών;

Ναι Όχι

Δ. Διαχείριση Αποκατάστασης μέσω GIS

1. Το GIS έχει χρησιμοποιηθεί για τον προγραμματισμό παρεμβάσεων ή ενισχύσεων;

Ναι Όχι

2. Έχει αξιοποιηθεί για την προτεραιοποίηση επισκευών σε γειτονικές κατασκευές;

Ναι Όχι

3. Το GIS περιλαμβάνει ιστορικά δεδομένα για προηγούμενες παρεμβάσεις ή επισκευές;
 Ναι Όχι
4. Έχει χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία αναφορών και την επικοινωνία με δημόσιες αρχές;
 Ναι Όχι
5. Σε τι ποσοστό εκτιμάτε ότι η εισαγωγή στοιχείων ή προηγούμενα στοιχεία που έχουν καταχωρηθεί στο GIS μπορούν να συμβάλουν στην εκτίμηση της τρωτότητας του κτιρίου;
- 0-33%
 - 33-66%
 - 66-100%

E. Ειδικές Δυνατότητες και Περιορισμοί του GIS

1. Ποιες ειδικές δυνατότητες αξιοποιούνται:

- Ενσωμάτωση δεδομένων από αισθητήρες LiDAR.
- Χαρτογράφηση ζημιών σε πραγματικό χρόνο.
- Συσχέτιση γεωγραφικών και κατασκευαστικών δεδομένων.
- Ανάλυση διαδρομών για πρόσβαση και εκκένωση.
- Άλλο _____

2. Ποιοι περιορισμοί υπήρχαν στη χρήση του GIS:

- Ανεπαρκής ακρίβεια στα δεδομένα.
- Έλλειψη δεδομένων για παλαιότερες κατασκευές.
- Υψηλό κόστος ανάπτυξης ή συντήρησης του συστήματος.
- Απαιτούμενη εκπαίδευση για τη χρήση του λογισμικού.
- Άλλο _____

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο: Πειραματικό Μέρος

Η χρήση νέων τεχνολογιών, όπως τα drone και τα συστήματα GPS, μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά τη διαδικασία του ΤΟΕ κτηρίων, εάν εφαρμοσθούν. Οι αντίστοιχες μέθοδοι επιτρέπουν τη συλλογή λεπτομερών δεδομένων και την ανίχνευση ατελειών που δεν είναι ορατές με γυμνό μάτι, καθιστώντας την επιθεώρηση πιο ακριβή και αποτελεσματική. Στο δεύτερο μέρος της εργασίας, περιγράφονται τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την εκτέλεση ΤΟΕ σε ένα κτήριο, με βάση τις νέες τεχνολογίες και συγκεκριμένα Drone. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε η συλλογή των απαραίτητων εγγράφων, όπως η οικοδομική άδεια και τα σχέδια μελέτης. Στη συνέχεια, διεξήχθη αυτοψία στο σημείο για να αξιολογηθεί η κατάσταση του κτηρίου. Χρησιμοποιώντας μια εξειδικευμένη εφαρμογή, οργανώθηκε η διαδρομή του drone, λαμβάνοντας υπόψη πέντε σημεία συντεταγμένων τα οποία εντοπίστηκαν με τη βοήθεια GPS. Τέλος, πραγματοποιήθηκε η πτήση του drone, καλύπτοντας την περιοχή ενδιαφέροντος και καταγράφοντας σημαντικά δεδομένα για την αξιολόγηση της κατάστασης του κτηρίου.

4.1 Διαδικασία Εκτέλεσης ΤΟΕ με χρήση Drone και Νέων Τεχνολογιών

4.1.1 Συλλογή Απαραίτητων Εγγράφων

Το πρώτο στάδιο της διαδικασίας εκτέλεσης ενός ΤΟΕ περιλαμβάνει τη συλλογή των απαραίτητων εγγράφων από μια παλαιά κατοικία, σε ορεινό χωριό της Νάξου. Συγκεκριμένα, συγκεντρώθηκαν τα σχέδια της οικοδομικής άδειας και τα σχέδια μελέτης του κτηρίου που έγινε η επιθεώρηση. Η οικοδομική άδεια παρέχει κρίσιμες πληροφορίες σχετικά με τις δομικές και αρχιτεκτονικές λεπτομέρειες του κτηρίου, όπως οι διαστάσεις, η θέση, η χρήση του χώρου και οι τεχνικές προδιαγραφές. Τα σχέδια μελέτης, από την άλλη, δίνουν μια λεπτομερή απεικόνιση της δομής του κτηρίου, επιτρέποντάς την κατανόηση της ακριβούς διάταξης και της κατασκευής του. Αυτά τα έγγραφα είναι θεμελιώδη για την ορθή προετοιμασία και εκτέλεση του ελέγχου, καθώς παρέχουν το πλαίσιο για την ανάλυση και αξιολόγηση της κατάστασης του κτηρίου.

4.1.2 Αυτοψία στο Σημείο

Μετά τη συλλογή των εγγράφων, πραγματοποιήθηκε μια αυτοψία στο σημείο ενδιαφέροντος. Η αυτοψία είναι ένα κρίσιμο στάδιο στην επιθεώρηση του κτηρίου, καθώς δόθηκε η δυνατότητα αξιολόγησης της πραγματικής κατάστασης του κτηρίου και του περιβάλλοντος χώρου. Πραγματοποιήθηκε έλεγχος στις εξωτερικές και εσωτερικές επιφάνειες του κτηρίου, εντοπίζοντας οποιεσδήποτε ορατές ατέλειες, ζημιές ή φθορές. Επίσης, έγινε επαλήθευση στις πληροφορίες και στα έγγραφα που αντιστοιχούν στην πραγματική κατάσταση του κτηρίου. Αυτή η διαδικασία βοήθησε στη διαμόρφωση μιας ολοκληρωμένης εικόνας για την κατάσταση του κτηρίου και τον προγραμματισμό των επόμενων ενεργειών.

Η αυτοψία πραγματοποιήθηκε τον Ιούνιο 2024 με τη βοήθεια της εφαρμογής Polycam, όπου μέσω της επιλογής LiDAR έγινε σάρωση ξεχωριστά στο κάθε δωμάτιο του κτηρίου. Συγκεκριμένα, η εφαρμογή του Polycam είναι ένα από τα πιο επαναστατικά έργα σάρωσης 3D που χρησιμοποιούν την κάμερα του κινητού τηλεφώνου για να δημιουργήσουν ακριβή τρισδιάστατα μοντέλα αντικειμένων και χώρων. Για έναν αρχιτέκτονα ή πολιτικό μηχανικό, το Polycam προσφέρει μια γρήγορη και φθηνή μέθοδο για τη γρήγορη αποτύπωση του υπάρχοντος κτηρίου. Επιτρέπει τη λήψη ακριβών, λεπτομερών μοντέλων των κτηρίων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρότυπα για ανακαινίσεις, προσθήκες κ.α. Επιπλέον, διευκολύνει την επικοινωνία με τον τελικό χρήστη του κτιρίου. Ταυτόχρονα, ο αρχιτέκτονας ή ο μηχανικός χάρη στα δεδομένα του προγράμματος μπορεί να αξιολογήσει τι υλικά και ποιες οικοδομικές δραστηριότητες απαιτούνται για τυχόν αναγκαίες παρεμβάσεις ή βελτιώσεις. Παράλληλα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της προόδου των εργασιών με συχνές σαρώσεις, τον εντοπισμό τυχόν προβλημάτων ή βλαβών σε κατασκευές και για τον έλεγχο της κατασκευαστικής ακρίβειας, ώστε να βελτιωθεί ο προγραμματισμός των εργασιών, σύμφωνα με τις προδιαγραφές και τα σχέδια. Η χρήση Polycam συμβάλλει στην εξοικονόμηση χρόνου και κόστους, καθώς ελαχιστοποιείται η ανάγκη για χειροκίνητες μετρήσεις και η πιθανότητα λαθών. Ενισχύει την επικοινωνία μεταξύ των εργοδοτών, υπεργολάβων και των υπολοίπων αρμοδίων, ώστε όλοι να είναι σε θέση να κατανοήσουν τις απαιτήσεις και τα σχέδια.

Τέλος, οι ψηφιακές σαρώσεις μπορούν να ολοκληρωθούν σε συστήματα BIM, όπου χρησιμοποιούνται για την πλήρη διαχείριση των δεδομένων του έργου και την αυτοματοποίηση διαδικασιών. Όπως γίνεται αντιληπτό, η Polycam βελτιώνει την ποιότητα και την αποδοτικότητα των έργων των εμπειρογνομόνων αρχιτεκτόνων μηχανικών. Μετά τη σάρωση με αυτόματη διαδικασία μέσω του ίδιου προγράμματος παράγεται νέφος σημείων.

Έπειτα συνδέθηκαν τα νέφη και προέκυψε ένα ολοκληρωμένο νέφος σημείων που απεικονίζει το κτήριο όπως φαίνεται στην Εικόνα 8. Αυτό το νέφος βοηθάει στον εντοπισμό ατελειών της κατασκευής αλλά και άλλων σημείων που χρήζουν επισκευή ή ενίσχυση. Στις Εικόνες 9 και 10, εντοπίζονται τα σημεία που υπάρχουν βλάβες στο κτίριο.



Εικόνα 8 : Νέφος σημείων



Εικόνα 9 : Νέφος σημείων – Εντοπισμός φθοράς

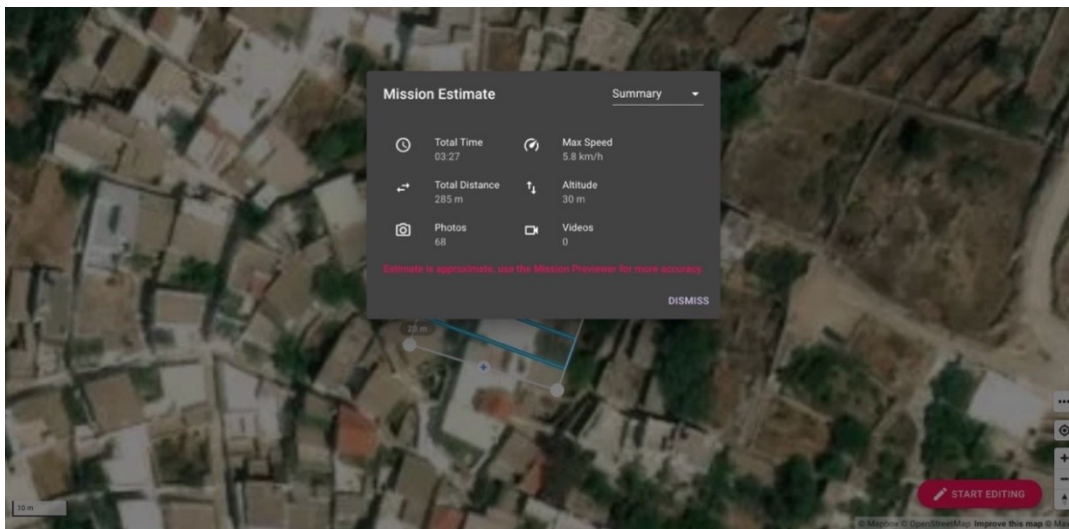


Εικόνα 10 : Νέφος σημείων - Εντοπισμός φθοράς

4.2 Χρήση Drone

4.2.1 Οργάνωση Διαδρομής του Drone μέσω Εφαρμογής

Αφού ολοκληρώθηκε η αυτοψία, έγινε χρήση μιας εξειδικευμένης εφαρμογής (Drone link) για την οργάνωση της διαδρομής που ακολούθησε το Drone όπως διακρίνεται στην Εικόνα 11, ώστε να καλύψει την περιοχή ενδιαφέροντος. Χρησιμοποιήθηκε η απλούστερη έκδοση ενός Drone. Μέσω κατάλληλου λογισμικού δόθηκε το κατάλληλο υψόμετρο αλλά και η τοποθεσία από όπου θα έπρεπε να ανυψωθεί το drone. Υπήρξε πρόβλεψη του χρόνου που θα χρειαζόταν για την ολοκλήρωση της πτήσης, ενώ παράλληλα καταγράφησαν οι φωτογραφίες που τράβηξε το drone. Η εφαρμογή αυτή επέτρεψε τον σχεδιασμό μιας προκαθορισμένης πορείας, λαμβάνοντας υπόψη τις πληροφορίες από την οικοδομική άδεια και τα σχέδια μελέτης. Χρησιμοποιώντας την εφαρμογή, καθορίστηκαν τα κρίσιμα σημεία επιθεώρησης και προγραμματίστηκε η διαδρομή του drone με τέτοιο τρόπο ώστε να καλύψει όλες τις απαραίτητες περιοχές. Αυτή η προσέγγιση διασφάλισε την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα του ελέγχου.



Εικόνα 11 : Οργάνωση Διαδρομής Drone

4.2.2 Εντοπισμός συντεταγμένων σημείων με GPS

Στη συνέχεια, επιλέχθηκαν πέντε βασικά σημεία, τα οποία προσδιορίστηκαν με τη βοήθεια του συστήματος GPS υψηλής ακρίβειας (Εικόνα 12). Το GPS επέτρεψε να ληφθούν οι ακριβείς συντεταγμένες αυτών των σημείων, τα οποία θα χρησιμοποιούνταν ως σημεία αναφοράς για την πλοήγηση του drone. Η ακριβής καταγραφή των συντεταγμένων είναι κρίσιμη για την επιτυχή εκτέλεση της διαδρομής του drone, καθώς διασφαλίζει ότι η πτήση θα είναι ακριβής και θα καλύπτει όλες τις προκαθορισμένες περιοχές.



Εικόνα 12 : Σημεία επιλογής συντεταγμένων

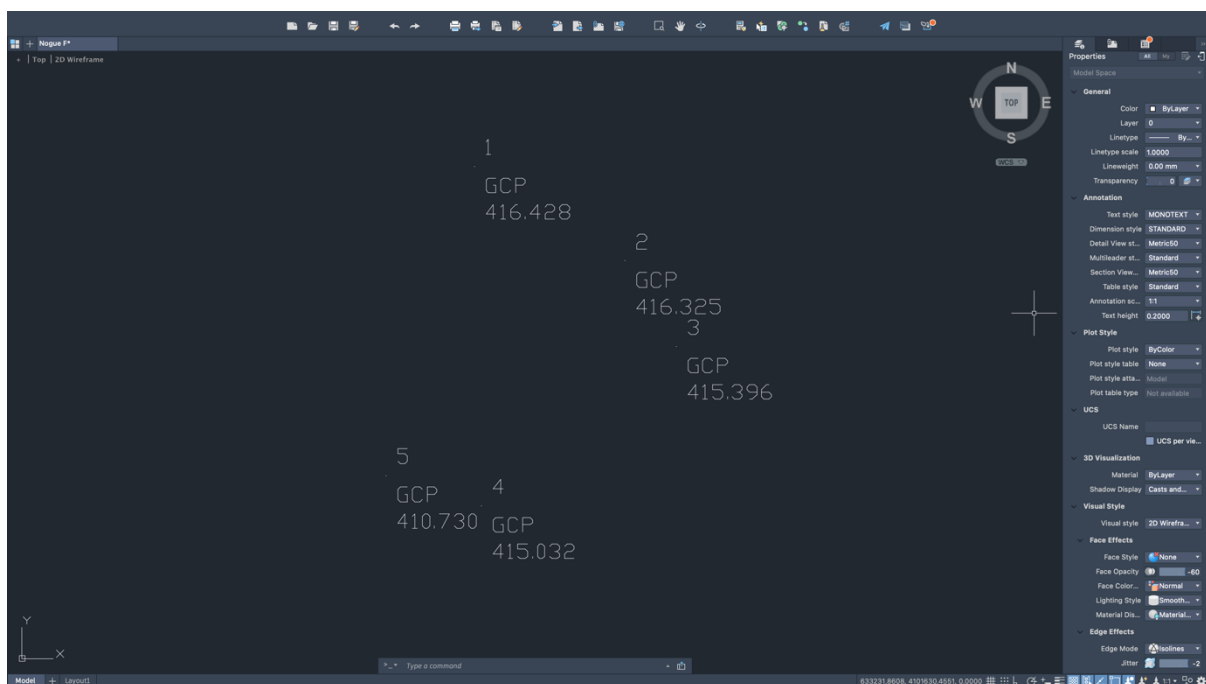
4.2.3 Έναρξη διαδρομής του Drone

Πραγματοποιήθηκε η έναρξη της διαδρομής του drone, η οποία κάλυψε την περιοχή ενδιαφέροντος. Το drone, εξοπλισμένο με κάμερες υψηλής ανάλυσης και αισθητήρες, πέταξε κατά μήκος της προκαθορισμένης διαδρομής, καταγράφοντας εικόνες και δεδομένα από το κτήριο και τον περιβάλλοντα χώρο. Οι κάμερες υψηλής ανάλυσης επέτρεψαν τη λεπτομερή καταγραφή της κατάστασης των εξωτερικών επιφανειών του κτηρίου, ενώ οι αισθητήρες συνέλεξαν δεδομένα σχετικά με τις δομικές συνθήκες και τυχόν περιβαλλοντικούς παράγοντες. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από το drone αναλύθηκαν στη συνέχεια για τον

εντοπισμό ατελειών, ζημιών ή άλλων ανωμαλιών που δεν ήταν ορατές κατά την αρχική αυτοψία.

4.2.4 Επεξεργασία δεδομένων στο γραφείο

Αφού ολοκληρώθηκε την πτήση του drone και η συλλογή των δεδομένων, ακολούθησε η επεξεργασία τους. Η πρώτη ενέργεια ήταν η εξαγωγή των φωτογραφιών που κατέγραψε το drone και η συγκέντρωση των αρχείων με τις συντεταγμένες από το GPS. Τα αρχεία αυτά περιελάμβαναν ένα αρχείο DXF όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 13, το οποίο εισήχθη σε περιβάλλον AutoCAD, και ένα αρχείο κειμένου (Εικόνα 14), στο οποίο εμφανίζονται οι συντεταγμένες x, y, z και ο αύξων αριθμός τους.

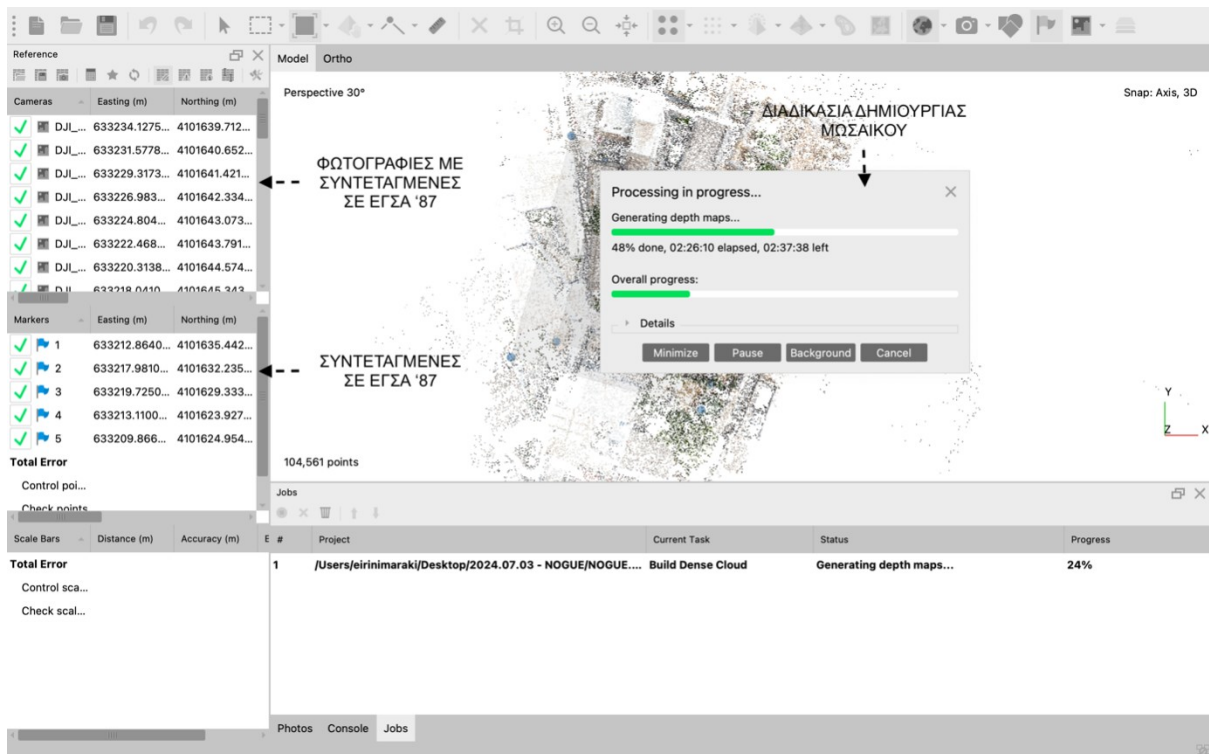


Εικόνα 13 : Συντεταγμένες σε περιβάλλον Autocad

```
1,633212.864,4101635.442,416.428,GCP  
2,633217.981,4101632.235,416.325,GCP  
3,633219.725,4101629.333,415.396,GCP  
4,633213.110,4101623.927,415.032,GCP  
5,633209.866,4101624.954,410.730,GCP
```

Εικόνα 14 : Αρχείο Συντεταγμένων

Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα QGIS για να γίνει επεξεργασία των φωτογραφιών και των συντεταγμένων του GPS, όπως αναλύεται στην Εικόνα 15.



Εικόνα 15 : Φωτογραφίες και Συντεταγμένες σε περιβάλλον QGIS

Ακολούθησε η εισαγωγή των φωτογραφιών και των δεδομένων του GPS, στο QGIS και με τις κατάλληλες ενέργειες δημιουργήθηκε ένα ορθοφωτομωσαϊκό που απεικονίζει την περιοχή ενδιαφέροντος (Εικόνα 16). Το ορθοφωτομωσαϊκό είναι ένα ενιαίο, γεωαναφερόμενο ψηφιακό μοντέλο επιφανείας που παρέχει ακριβή και λεπτομερή απεικόνιση της επιθεωρούμενης περιοχής. Επιπλέον, χρησιμοποιώντας τις φωτογραφίες και τα δεδομένα GPS, δημιουργήθηκε ένα νέφος σημείων. Το νέφος σημείων αποτελεί ένα σύνολο από σημεία δεδομένων σε τρισδιάστατο χώρο, το οποίο παρέχει μια λεπτομερή αναπαράσταση της δομής του κτηρίου και του περιβάλλοντος χώρου (Εικόνα 17 και 18). Με αυτήν την τρισδιάστατη απεικόνιση, μπορούν να εντοπισθούν τυχόν ανωμαλίες ή φθορές και να αναλυθεί το κτήριο με περισσότερη λεπτομέρεια. Στη συνέχεια, ανοίχθηκε ένα αρχείο BIM στο ArchiCAD και εισήχθησαν όλες οι πληροφορίες από την τελευταία διαδικασία. Αυτό περιλαμβάνει τόσο το ορθοφωτομωσαϊκό, όσο και τα σχέδια που έχουν δημιουργηθεί από την έκδοση της άδειας της κατασκευής. Στη συνέχεια, βάσει των εν λόγω επιλογών, σχεδιάστηκε το μοντέλο του κτηρίου. Πραγματοποιείται συγκριτική ανάλυση της κατασκευής που αποτυπώθηκε με το Drone, με τα σχέδια της οικοδομικής άδειας. Αυτό αποκαλύπτει τις αλλαγές που έχουν επιβληθεί στο έργο. Τέλος, εντοπίζονται πιθανές ατέλειες στην κατασκευή, καθώς και γίνεται διαπίστωση αν απαιτείται ενίσχυση σε ορισμένες περιοχές.



Εικόνα 16 : Ορθοφωτομωσαϊκό



Εικόνα 17 : Νέφος Σημείων – Όψη Α



Εικόνα 18 : Νέφος Σημείων –Όψη Β

5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο: Συμπεράσματα

Ο παραδοσιακός ΤΟΕ, που βασιζόταν κυρίως στην εμπειρία του επιθεωρητή και στην απλή παρατήρηση με το μάτι, παρείχε μια πρώτη εικόνα της κατάστασης ενός κτηρίου, αλλά συνοδευόταν από αρκετούς περιορισμούς, όπως τη κρίση του μηχανικού που διεξήγαγε τον έλεγχο. Η εισαγωγή των νέων τεχνολογικών μέσων, όπως τα Laser Scanner, το Polycam-LiDAR, το SHM, τα Drone, το BIM και το GIS, έχει φέρει σημαντικές βελτιώσεις, καθιστώντας τον ΤΟΕ πιο ακριβή, αποδοτικό και ολοκληρωμένο. Συγκρίνοντας τις δύο προσεγγίσεις, καταγράφονται παρακάτω τα πλεονεκτήματα της ένταξης των νέων τεχνολογιών στην διαδικασία του ελέγχου της σεισμικής τρωτότητας των κατασκευών:

α) Ακρίβεια των Μετρήσεων και Τεκμηρίωση

Με τον παραδοσιακό τρόπο, η ακρίβεια της επιθεώρησης βασιζόταν αποκλειστικά στην εμπειρία του επιθεωρητή. Σε αντίθεση, τα νέα τεχνολογικά μέσα, όπως το LiDAR και τα Drone, επιτρέπουν υψηλής ακρίβειας μετρήσεις που τεκμηριώνουν την κατάσταση της κατασκευής σε τρισδιάστατο μοντέλο. Η διαφορά στην ακρίβεια των δεδομένων σημαίνει ότι μπορούμε να εντοπίσουμε φθορές που ίσως να μην ήταν ορατές με γυμνό μάτι, εξασφαλίζοντας πιο πλήρη και αξιόπιστη εικόνα της δομικής ακεραιότητας.

β) Ταχύτητα και Ευελιξία

Ο παραδοσιακός έλεγχος ήταν συχνά χρονοβόρος, ιδίως σε σημεία δύσκολης πρόσβασης. Τα drone, όμως, προσφέρουν τη δυνατότητα ελέγχου σε δυσπρόσιτες περιοχές (π.χ. στέγες, μεγάλα ύψη) με πολύ λιγότερο χρόνο. Αυτό καθιστά τη διαδικασία του ΤΟΕ όχι μόνο γρηγορότερη, αλλά και πιο ασφαλή για τους επιθεωρητές, που δεν χρειάζεται να διακινδυνεύσουν σε επικίνδυνα σημεία.

γ) Ανάλυση και Ολοκλήρωση Δεδομένων

Οι παραδοσιακές μέθοδοι δεν παρείχαν τη δυνατότητα ολοκληρωμένης ανάλυσης δεδομένων. Με την εισαγωγή συστημάτων όπως το GIS και το BIM, τα δεδομένα που συλλέγονται συνδυάζονται σε μία ενιαία πλατφόρμα για ανάλυση. Αυτό επιτρέπει μια πιο ολιστική προσέγγιση, λαμβάνοντας υπόψη γεωγραφικές, περιβαλλοντικές και δομικές παραμέτρους, παρέχοντας μια σαφή εικόνα του πώς επηρεάζεται η κατασκευή από εξωτερικούς παράγοντες, όπως τη σεισμική δραστηριότητα ή την υγρασία.

δ) Δυνατότητα Προληπτικής Συντήρησης

Στον παραδοσιακό τρόπο ελέγχου, η προληπτική συντήρηση βασιζόταν περισσότερο στη διαίσθηση και την εμπειρία. Αντίθετα, τα νέα μέσα προσφέρουν προγνωστικές δυνατότητες, επιτρέποντας την αναγνώριση φθορών σε πρώιμο στάδιο μέσω ανάλυσης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Έτσι, οι επισκευές μπορούν να γίνουν προληπτικά, πριν εξελιχθούν σε μεγαλύτερα προβλήματα.

ε) Ψηφιακά Δίδυμα και Επαναληψιμότητα Ελέγχων

Τα τεχνολογικά μέσα, ιδιαίτερα το BIM, επιτρέπουν τη δημιουργία ψηφιακών διδύμων των κατασκευών, δηλαδή ψηφιακών μοντέλων που καταγράφουν την πραγματική κατάσταση του κτηρίου, σε διαφορετικές χρονικές περιόδους. Αυτά τα μοντέλα μπορούν να ανανεώνονται με κάθε νέο έλεγχο, παρέχοντας τη δυνατότητα επαναληψιμότητας και σύγκρισης των αποτελεσμάτων σε βάθος χρόνου. Αυτό βοηθάει στον εντοπισμό αλλαγών και φθορών που μπορεί να μην ήταν εμφανείς στον παραδοσιακό τρόπο ελέγχου.

στ) Αντικειμενικότητα και Μείωση Ανθρώπινων Λαθών

Ενώ στον παραδοσιακό τρόπο η επιθεώρηση βασιζόταν στην εμπειρία και την υποκειμενική κρίση του επιθεωρητή, τα νέα μέσα, όπως τα Drone και το LiDAR, προσφέρουν αντικειμενικά δεδομένα, μειώνοντας τον κίνδυνο ανθρώπινων λαθών. Τα αυτοματοποιημένα εργαλεία επιτρέπουν τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων με μεθοδολογία που ελαχιστοποιεί την υποκειμενικότητα.

ζ) Καλύτερη Διαχείριση Πόρων

Οι παραδοσιακές μέθοδοι ελέγχου απαιτούσαν πολλές φορές περισσότερες εργατοώρες για τους μηχανικούς οι οποίοι έλεγχαν την κατασκευή και πιθανόν τη χρήση δαπανηρού εξοπλισμού, όπως σκαλωσιές και γερανούς, για να ελεγχθούν ορισμένες απρόσιτες περιοχές. Τα drone και τα άλλα μέσα που χρησιμοποιούνται σήμερα επιτρέπουν την εξοικονόμηση κόστους και πόρων, καθώς η διαδικασία γίνεται πιο αποδοτική, χωρίς να χρειάζεται πολύς χρόνος προετοιμασίας ή να απαιτούνται δαπανηρές εγκαταστάσεις.

η) Περιβαλλοντική και Γεωγραφική Προσαρμογή

Ένα ακόμα σημαντικό πλεονέκτημα των νέων τεχνολογιών είναι η ικανότητα τους να καταγράφουν τις τοπικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Μέσω του GIS, μπορούν να ληφθούν υπόψη οι περιβαλλοντικές παράμετροι (π.χ. κλίμα, τοπογραφία) που επηρεάζουν τη δομική ακεραιότητα μιας κατασκευής. Αυτό επιτρέπει την εφαρμογή πιο εξειδικευμένων προγραμμάτων συντήρησης που λαμβάνουν υπόψη τοπικά δεδομένα.

θ) Διατήρηση και Αποκατάσταση Πολιτιστικών Μνημείων

Στην περίπτωση των παλαιών και διατηρητέων κτηρίων, τα νέα τεχνολογικά μέσα, όπως το LiDAR και το 3D scanning, επιτρέπουν την ακριβή αποτύπωση και διατήρηση των ιστορικών

χαρακτηριστικών του κτηρίου. Αυτό διασφαλίζει την επιτυχημένη αποκατάσταση και συντήρηση αυτών των δομών, χωρίς να θυσιάζονται οι αρχικές αρχιτεκτονικές λεπτομέρειες.

ι) Συμμόρφωση με Σύγχρονες Απαιτήσεις Κανονισμών

Με τη χρήση τεχνολογιών BIM και GIS, η συμμόρφωση με τις σύγχρονες απαιτήσεις του κτιριοδομικού κώδικα γίνεται ευκολότερη. Τα ψηφιακά μοντέλα επιτρέπουν την καλύτερη εφαρμογή και έλεγχο των κανονισμών (π.χ. αντισεισμικές προδιαγραφές, ενεργειακά πρότυπα), εξασφαλίζοντας την ασφάλεια και βιωσιμότητα των κατασκευών στο μέλλον.

Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές

- Ανδριανέση, Δ. Ε. (2020). *Ανάπτυξη διαλειτουργικής πλατφόρμας σύνδεσης BIM & GIS 3D δεδομένων διαχείρισης γης*, Διπλ. εργασία, Ιδρυματικό Αποθετήριο, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Ανακτήθηκε από <https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/51221>
- Ατζαράκη, Α. (2022). *Ανίχνευση κτιρίων με χρήση βαθιάς μάθησης* (Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο). Ιδρυματικό Αποθετήριο ΕΜΠ. Ανακτήθηκε από <https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/56806>
- Βασιλέλη, Χρ-Ι. (2016). *Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών: Από τον διδιάστατο στον τρισδιάστατο χώρο*, Ερευνητική εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης). ΙΚΕΕ Αριστοτελειο Πανεπιστημιο Θεσσαλονικης. Ανακτήθηκε από auth.gr
- Βορδοναράκης, Μ. (2020). *Αξιολόγηση πρωτοβάθμιων μεθόδων αποτίμησης σεισμικής τρωτότητας κτηρίων με βάση τη σεισμική απόκριση ιστορικών και διατηρητέων κτηρίων κατά τον σεισμό των τρικάλων στις 31/08/2018* (Μεταπτυχιακή εργασία, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής). ΩΚΕΑΝΙΣ. Ανακτήθηκε από <http://oceanis.lib2.uniwa.gr/xmlui/handle/123456789/5376>
- Γωνιανάκης, Π.Β. (2014). *Παρουσίαση της μεθόδου ΠΟΚ (BIM) και πρακτική εφαρμογή της για τον προγραμματισμό έργου, με χρήση του προγράμματος Synchro*, Διπλ. εργασία, Ιδρυματικό Αποθετήριο, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. ΕΜΠ. Ανακτήθηκε από <https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/38528>
- Ζύγουρας, Χρ. (2018). *Μέθοδος παρακολούθησης δομικής ακεραιότητας κατασκευών με εφαρμογή σε μεταλλική καπνοδόχο τύπου bypass-stack*, Διπλ. εργασία, Ιδρυματικό Αποθετήριο, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Ανακτήθηκε από <https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/46346>
- Θανάση, Ε. (2020). *Σεισμοί και επιπτώσεις στις δομικές κατασκευές στην περιοχή του Λουτρακίου του νομού Κορινθίας*, Μεταπτ. Διπλ. εργασία, ΠΕΡΓΑΜΟΣ, Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο. Ανακτήθηκε από <https://pergamos.lib.uoa.gr/uoa/dl/object/2922561>

- Κανελλάκης, Κ. (2017). *Μεθοδολογία τρισδιάστατης απεικόνισης κτηρίων με χρήση αυτόνομων ιπτάμενων συσκευών (drones) και σύγκριση διαφορετικών λογισμικών*. Διπλ. εργασία, Ιδρυματικό Αποθετήριο ΔΙΑΣ - Πολυτεχνείο Κρήτης. Ανακτήθηκε από [tuc.gr και Kanellakis_Konstantinos_Dip_2017.pdf](#)
- Καραμάνου, Θ. (2016). *Επιρροή του Βαθμού Σύνδεσης Μεταξύ Εγκάρσιων Τοίχων στη Σεισμική Συμπεριφορά Κτηρίων από Φέρουσα Τοιχοποιία – Συγκρίσεις με το Δευτεροβάθμιο Έλεγχο κατά ΟΑΣΠ: 22ο Φοιτητικό Συνέδριο: “Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών 2016”*. Ανακτήθηκε από [upatras.gr](#)
- Κατωγιάννης, Χρ. (2014). *Γεωμετρική Τεκμηρίωση του ΒΑ αναλήμματος του Θεάτρου του Διονύσου και του Βόρειου τοίχου του Ωδείου του Περικλέους*, Διπλ. εργασία, Ιδρυματικό Αποθετήριο. Ανακτήθηκε από <https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/38279>
- Κωνσταντινίδης, Α. (χ.χ.) Β.Ι.Μ. και Τεχνητή Νοημοσύνη στη μελέτη και κατασκευή αντισεισμικών κτηρίων. [Ανακτήθηκε από buildinghow.com](#)
- Μαλακόζης, Ε. (2021). *Συστήματα αισθητήρων σε drones και εφαρμογές τους*. Διπλ. εργασία, ΙΚΕΕ, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας. Ανακτήθηκε από <https://dspace.uowm.gr/xmlui/handle/123456789/2524>
- Μπούτλα, Α. (2023). *Αξιολόγηση ελληνικής μεθοδολογίας πρωτοβάθμιου προσεισμικού ελέγχου κτηρίων Ο/Σ*, Μεταπτ. διατριβή, ΙΚΕΕ Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Ανακτήθηκε από [10.26262/heal.auth.ir.346623](#)
- Νέος χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας (2003). Πρόγραμμα Ο.Α.Σ.Π. «Πρόταση τελικού χάρτη ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητα & Ηλεκτρονική Επεξεργασία» Επιστ. Υπεύθυνοι: Ανδριανάκης, Β., Βούλγαρης, Ν. Ανακτήθηκε από <https://oasp.gr/node/689>
- Ντουντουλάκης, Ν. (2020). *Ανίχνευση βλάβης και ρωγμών σε υφιστάμενες κατασκευές σκυροδέματος του 20ου αιώνα με χρήση της μη καταστροφικής μεθόδου της υπέρυθρης θερμογραφίας*, Διπλ. εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης).

Ιδρυματικό Αποθετήριο Πολυτεχνείου Κρήτης. Ανακτήθηκε από <http://purl.tuc.gr/dl/dias/CF4D3A6E-2001-4755-8BCB-7D586F001271>

Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας, (2024). *Προσεισμικός έλεγχος κτιρίων (2003)*. Ανακτήθηκε από <https://oasp.gr/proseismikos-eleghos/proseismikos-eleghos-ktirion>

Παπαδόπουλος, Δ. (2011). *Χρήση σαρωτή Laser για εκτίμηση παθολογίας κατασκευών*, Πτυχιακή εργασία, KTISIS, Cyprus University of Technology. Ανακτήθηκε από <https://ktisis.cut.ac.cy/handle/20.500.14279/902>

Σδόνας, Χ. Ο. (2022). *Χρήση νέων τεχνολογιών για τη βελτίωση του ελέγχου και της διαχείρισης της δομικής κατάστασης των κατασκευών*, Μεταπτ. εργασία, Ιδρυματικό Αποθετήριο, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Ανακτήθηκε από <http://dx.doi.org/10.26240/heal.ntua.23469>

Σωτηρόπουλος, Δ. (2012). *Επεξεργασία εικόνων θερμοκάμερας για την αποτίμηση σφαλμάτων στις πλατείες Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου*, Διπλ. εργασία, Ιδρυματικό Αποθετήριο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Ανακτήθηκε από <https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/8651>

Τζιώτας, Η. (2017). *Εξωτερική τρισδιάστατη αποτύπωση των λουτρών παράδεισος με 3D Laser Scanner και μη επανδρωμένο εναέριο μέσο UAV*, Διπλ. εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Ανακτήθηκε από <https://ikee.lib.auth.gr/record/289125>

Τσαρούχας, Δ. (2017). *Μεθοδολογία τρισδιάστατης απεικόνισης κτηρίων με χρήση αυτόνομων ιπτάμενων συσκευών (drones)* (Διπλ. εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης. Ιδρυματικό Αποθετήριο Πολυτεχνείου Κρήτης. Ανακτήθηκε από tuc.gr και Tsarouchas_Dimitrios_MSc_2017.pdf

Φλώρος, Π. (2010). *Παθητική κτηριακή θερμογραφία και εφαρμογή σε κτήριο κατοικίας*, Διπλ. εργασία, Ιδρυματικό Αποθετήριο, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Ανακτήθηκε από <https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/5487>

Χολέβας, Ν. (2022). *Η τεχνολογία BIM (Building Information Modeling) και η εφαρμογή της σε τμήμα της Αττικής Οδού*, Διπλ. εργασία, Πανεπιστήμιο Πειραιώς-Διώνη. Ανακτήθηκε από unipi.gr

Ψάλτης, Δ. (2019). *Μοντελοποίηση διατηρητέων κτηρίων και μνημείων μέσω της Τεχνολογίας BIM*, Διπλ. εργασία, ΙΚΕΕ. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Ανακτήθηκε από auth.gr.

Alessio Cascardi, A., Longo, F., Perrone, D., Lassandro, P., & Aiello M.A. (2022). Thermography Investigation and Seismic Vulnerability Assessment of a Historical Vaulted Masonry Building. *Heritage* 2022, 5(3), 2041-2061; Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.3390/heritage5030107>

Amirebrahimi, S., Rajabifard, A., Mendis & P., Ngo, T. (2015). A data model for integrating GIS and BIM for assessment and 3D visualisation of flood damage to building. Ανακτήθηκε από: https://www.researchgate.net/publication/281976889_A_data_model_for_integrating_GIS_and_BIM_for_assessment_and_3D_visualisation_of_flood_damage_to_building

Askar Cigdem, Sternberg Harald (2023). Use of Smartphone Lidar Technology for Low-Cost 3D Building Documentation with iPhone 13 Pro: A Comparative Analysis of Mobile Scanning Applications. Ανακτήθηκε από <https://www.mdpi.com/2673-7418/3/4/30#>

Boller, C., Chang, F., Fujino, Y. (2009). *Encyclopedia of Structural Health Monitoring* (1st ed.). DOI:10.1002/9780470061626

Chen, Hua-Peng & Ni, Yi-Qing (2018). *Introduction to Structural Health Monitoring*. στο: *Structural Health Monitoring of Large Civil Engineering Structures* (pp.1-14). DOI:10.1002/9781119166641.ch1 Ανακτήθηκε από: researchgate.net

Jang, A.; Ju, Y.K.; Park, M.J. (2022). Structural Stability Evaluation of Existing Buildings by Reverse Engineering with 3D Laser Scanner. *RemoteSens.* 2022, 14, 2325. Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.3390/rs14102325>

- Max Funker (2021). Polycam 3D Scanning App Review – LiDAR, Photo Mode, Room Mode. Ανακτήθηκε από <https://3dwithus.com/polycam-3d-scanning-app-review-lidar-vs-photo-mode>
- Musella, C., Serra, M., Salzano, A., Menna, C., &Asprone,D. (2020). Open BIM Standards: A Review of the Processes for Managing Existing Structures in the Pre- and Post-Earthquake Phases (2020). *CivilEng2020*, 1(3), 291- 309. Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.3390/civileng1030019>
- Rakha, T. &Gorodetsky, A. (2018). Review of Unmanned Aerial System (UAS) applications in the built environment: Towards automated building inspection procedures using drones. *Automationin Construction* 93, 2018, 252 – 264. Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.05.002>
- Sivasuriyan, Vijayan, Wojciech, Górski, Koda, Vaverková (2021). Practical Implementation of Structural Health Monitoring in Multi-Story Buildings. Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.3390/buildings11060263>
- UAV (2015)*, Σύγκριση μεθόδων αποτύπωσης αρχαιολογικού χώρου με χρήση UAV, Μεταπτυχιακή διπλ. εργασία, Ιδρυματικό Αποθετήριο, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Ανακτήθηκε από uth.gr
- Ye, X. W., Jin, T., & Yun, C. B. (2019). A review on deep learning-based structural health monitoring of civil infrastructures. *Smart Structures and Systems*, 24(5), 567–585. Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.12989/SSS.2019.24.5.567>
Ανακτήθηκε από: researchgate.net

Βιβλιογραφία από Διαδικτυακές Πηγές

ΓΓΠΠ (2023). Ελλάδα ανάλογα με την περίοδο Κατασκευής

Ανακτήθηκε από: <https://civilprotection.gov.gr/sites/default/files/2023-11/CivProGR20231106%20%281%29.pdf>

Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (2024). Κλιματικά Δεδομένα ανά Μήνα.

Ανακτήθηκε από: http://www.emy.gr/emv/el/climatology/climatology_month

Φωτογραφία από ISCANO, 2023. Efficient As-Built documentation with 3D

Laserscanning in construction. Ανακτήθηκε από: <https://iscano.com/laser-scanning-Lidar-innovations/3d-laser-scanning-construction-precision/>

Φωτογραφία από Assedrani Official, 2023

Ανακτήθηκε από: <https://www.pexels.com/el-gr/photo/19050767/>

Φωτογραφία από Aimg Official, 2024

Ανακτήθηκε από: <https://www.vecteezy.com/photo/48673535->