

Η Βιομηχανία 4.0 στον Ελληνικό
Κατασκευαστικό Τομέα
Industry 4.0 in the Greek
Construction Sector

Τομέας: Βιομηχανικής Διοίκησης και Επιχειρησιακής Έρευνας
Επιβλέπων: κ. Κωνσταντίνος Κηρυττόπουλος, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα 2024



--- κενή σελίδα ---

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ, τον αγαπητό κύριο Κωνσταντίνο Κηρυττόπουλο. Ο άνθρωπος αυτός παρείχε σταθερά και καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, άμεση, υψηλής ποιότητας και εύστοχων παρατηρήσεων υποστήριξη. Πάντα έθετε τον πήχη πιο ψηλά για την επίτευξη του βέλτιστου αποτελέσματος δίνοντας παράλληλα και το κίνητρο. Πραγματικά ήταν χαρά και τιμή μου που συνεργάστηκα με αυτόν τον μηχανικό αλλά και που γνώρισα έναν τόσο αξιόλογο άνθρωπο.

Θέλω να ευχαριστήσω θερμά τους συνεντευξιαζόμενους. Πραγματικά οι άνθρωποι αυτοί κάνοντας θυσία του προσωπικού τους χρόνου ασχολήθηκαν με το να δώσουν πολύτιμες πληροφορίες και απόψεις οι οποίες αποτέλεσαν το ουσιαστικό συστατικό αυτής της διπλωματικής. Παράλληλα πρόσθεσαν ένα λιθαράκι στη βελτίωση του Ελληνικού Κατασκευαστικού Τομέα.

Στη συνέχεια θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, τους γονείς μου και τον αδερφό μου, που στέκονται δίπλα μου σε κάθε δύσκολη στιγμή. Τον πατέρα μου θέλω να τον ευχαριστήσω για όλα τα μέσα που μου προσέφερε υλικά και μη, τα οποία συντέλεσαν στο υψηλό επίπεδο ποιότητας του αποτελέσματος της διπλωματικής μου εργασίας. Την μητέρα μου για την κινητοποίηση που μου έδωσε να ολοκληρώσω και την εμπιστοσύνη που δείχνει προς την επιτυχία μου.

Ακόμη, θέλω να ευχαριστήσω τον παππού μου που θέλει το καλύτερο για μένα και με ώθησε προς το δρόμο του μηχανικού.

Θέλω να ευχαριστήσω το νομό μου για την ήρεμη υποστήριξη του και τις εποικοδομητικές συμβουλές του.

Φυσικά, θέλω να ευχαριστήσω τους φίλους μου και κυρίως τα 3 φιλαράκια μου που όσες διαφορές και να έχουμε πάντα στηρίζουμε ο ένας τον άλλον. Χωρίς αυτούς πολύ πιθανό να μην ήμουν στην ευχάριστη θέση που είμαι σήμερα.

Τέλος, να ευχαριστήσω την κοπέλα μου, που με αγάπη υπέμεινε τόσες ώρες διαβάσματος, με στήριξε και μας χάρισε πολύ ευχάριστες στιγμές.

Υπεύθυνη δήλωση για λογοκλοπή και για κλοπή πνευματικής ιδιοκτησίας:

Έχω διαβάσει και κατανοήσει τους κανόνες για τη λογοκλοπή και τον τρόπο σωστής αναφοράς των πηγών που περιέχονται στον οδηγό συγγραφής Διπλωματικών Εργασιών. Δηλώνω ότι, από όσα γνωρίζω, το περιεχόμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι προϊόν δικής μου εργασίας και υπάρχουν αναφορές σε όλες τις πηγές που χρησιμοποίησα.

Αντώνης Ραμπάτ

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτή τη Διπλωματική εργασία είναι του συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περιεχόμενα

Σύνοψη - Περίληψη	8
Abstract.....	9
Κατάλογος Συντομεύσεων - Αρκτικόλεξα	10
1. Εισαγωγή.....	11
1.1 Πλαίσιο.....	11
1.2 Σκοπός, ερωτήματα και στόχοι.....	11
1.2.1 Κύριο Πρόβλημα	11
1.2.2 Σκοπός	11
1.2.3 Ερευνητικά Ερωτήματα.....	11
1.2.4 Στόχοι	12
1.3 Οριοθέτηση	12
2. Προηγμένες Τεχνολογίες στον Παγκόσμιο Κατασκευαστικό Τομέα.....	13
2.1 Εισαγωγή.....	13
2.1.1 Η έννοια της Βιομηχανίας 4.0 (Industry 4.0)	13
2.1.2 Η έννοια της Κατασκευής 4.0 (Construction 4.0)	14
2.2 BIM (Building Information Modelling)	16
2.2.1 Εξήγηση της τεχνολογίας BIM.....	16
2.2.2 Εφαρμογές του BIM	19
2.3 Ψηφιακά Δίδυμα (Digital Twins).....	22
2.3.1 Εξήγηση της τεχνολογίας των Ψηφιακών Διδύμων (Digital Twins)	22
2.3.2 Εφαρμογές των Ψηφιακών Διδύμων (Digital Twins) στον κατασκευαστικό τομέα	23
2.4 Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things).....	25
2.4.1 Εξήγηση της τεχνολογίας του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things)	25
2.4.2 Εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things) στον κατασκευαστικό τομέα.....	27
2.5 Εικονική, Επαυξημένη και Μικτή Πραγματικότητα - Εκτεταμένη Πραγματικότητα (Virtual, Augmented and Mixed Reality – VR, AR, MR -Extended Reality)..	29
2.5.1 Εξήγηση τεχνολογιών Εκτεταμένης Πραγματικότητας (Extended Reality) .	29
2.5.2 Εφαρμογές στον κατασκευαστικό τομέα	30
2.6 Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence).....	32
2.6.1 Η Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence)	32
2.6.2 Εφαρμογές της Τεχνητής Νοημοσύνης (Artificial Intelligence) στον κατασκευαστικό τομέα.....	32
2.7 Ρομποτικά Μηχανήματα και Αυτοματισμοί (Robotics and Automation)	33
2.7.1 Τα Ρομποτικά Μηχανήματα στον κατασκευαστικό τομέα.....	33
2.7.2 Εφαρμογές	34

2.8	Τρισδιάστατη Εκτύπωση/Προσθετική Κατασκευή (3D-Printing/Additive Construction)	36
2.8.1	Εξήγηση της Τρισδιάστατης Εκτύπωσης (3D-Printing) στον κατασκευαστικό τομέα	36
2.8.2	Εφαρμογές	37
2.9	Μη Επανδρωμένα Σκάφη (Unmanned Aerial Vehicles - UAV/Drones) & Σαρωτές Laser (Laser Scanners)	39
2.9.1	Μη Επανδρωμένα Σκάφη (UAVs) - Drones	39
2.9.2	Σαρωτές Λέιζερ (Laser Scanners)	39
2.9.3	Εφαρμογές των δύο τεχνολογιών στον κατασκευαστικό τομέα	39
2.10	Συμπληρωματικές Τεχνολογίες	41
2.10.1	Προκατασκευή Εκτός Εργοταξίου (Off-site Construction)	41
2.10.2	Αναλυτική Μεγάλων Δεδομένων (Big Data Analytics)	42
2.10.3	Υπολογιστικό Σύννεφο (Cloud Computing) και Φορητοί Υπολογιστές (Mobile Computing)	42
2.10.4	Τεχνολογίες Διανεμημένων Λογιστικών Βιβλίων (Distributed Ledger Technologies – DLT) - Blockchain	44
2.11	Συγκεντρωτικός Πίνακας Εφαρμογών Κατασκευής 4.0 (Construction 4.0)	44
3.	Μεθοδολογία της έρευνας	45
3.1	Στρατηγική έρευνας	45
3.1.1	Επιλογή μεθόδου	45
3.1.2	Λόγοι που επιλέγεται η μέθοδος των συνεντεύξεων	45
3.1.3	Κριτήρια επιλογής	46
3.1.4	Σύνταξη Πρωτοκόλλου Έρευνας	48
3.1.5	Σύνταξη Οδηγού Συνέντευξης	49
3.2	Πορεία της έρευνας και αποτελέσματα	52
3.2.1	Διάγραμμα πορείας της έρευνας	52
3.2.2	Διαδικασία διεκπεραίωσης συνεντεύξεων	53
3.2.3	Προφίλ συνεντευξιαζόμενων	54
3.2.4	Ολοκλήρωση έρευνας	56
3.3	Μέθοδος αποδελτίωσης δεδομένων – τεχνική Διαγραμμάτων Συνάφειας (Affinity Diagram technique)	56
3.3.1	Εξήγηση της τεχνικής Διαγραμμάτων Συνάφειας (Affinity Diagram technique)	56
3.3.2	Διαδικασία που ακολουθήθηκε στη συγκεκριμένη εργασία	57
3.3.3	Πρότυπο Διάγραμμα Συνάφειας	57
4.	Αποτελέσματα Έρευνας – Η κατάσταση του Ελληνικού Κατασκευαστικού Τομέα	59
4.1	Διαγράμματα Συνάφειας (Affinity Diagrams)	59
4.1.1	BIM	59
4.1.2	Ετοιμότητα Ελληνικής αγοράς να δεχθεί προηγμένες τεχνολογίες	68
4.1.3	Προηγμένες τεχνολογίες	73

4.1.4	Λοιπές Τεχνολογίες	85
4.2	Χάρτης Συνάφειας (Affinity Map)	87
4.3	Χάρτης Παρουσίας Τεχνολογιών Κατασκευής 4.0 (Construction 4.0) στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα.....	89
4.4	Συγκεντρωτικός Πίνακας Εφαρμογών Κατασκευής 4.0 (Construction 4.0) στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα.....	90
5.	Συμπεράσματα.....	91
5.1	Συμπεράσματα με βάση τους Στόχους.....	91
5.1.1	Αναγνώριση των εργαλείων τεχνολογίας της Βιομηχανίας 4.0 (Industry 4.0) με χρήση στον παγκόσμιο κατασκευαστικό τομέα.....	91
5.1.2	Αναγνώριση πρακτικών εφαρμογών τους στον παγκόσμιο κατασκευαστικό τομέα.	91
5.1.3	Διερεύνηση της υιοθέτησης των εργαλείων της Βιομηχανίας 4.0 (Industry 4.0), στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα.	92
5.1.4	Δημιουργία χάρτη ενσωμάτωσης εργαλείων Βιομηχανίας 4.0 (Industry 4.0), στην Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα.	94
5.2	Πρακτικό αποτύπωμα της Διπλωματικής Εργασίας.....	95
5.3	Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	96
	Κατάλογος αναφορών	97
	Κατάλογος Πινάκων.....	102
	Κατάλογος Εικόνων	103
	Παραρτήματα	105
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΤΟΥ CONSTRUCTION 4.0 ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΑΝΑ ΦΑΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ	105
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΣΥΝΕΝΤΕΥΞΗΣ.....	113
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3: ΟΔΗΓΟΣ ΣΥΝΕΝΤΕΥΞΗΣ.....	114
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4: ΚΕΙΜΕΝΟ ΜΗΝΥΜΑΤΟΣ ΑΛΛΗΛΟΓΡΑΦΙΑΣ ΠΡΩΤΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ	

Σύνοψη - Περίληψη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εποχή της Βιομηχανίας 4.0, σημαντικές αλλαγές έχουν αναδιαμορφώσει τον τομέα της παραγωγής και της βιομηχανίας, ενώ ο κατασκευαστικός τομέας είναι παραδοσιακά ένα βήμα πίσω στην τεχνολογική εξέλιξη. Παρότι είναι φυσικά πιο αργός στην εξέλιξή του, ο κατασκευαστικός τομέας έχει, με τον τρόπο του, αποδεχθεί και υιοθετήσει μερικά εξελιγμένα εργαλεία, κυρίως δανεισμένα από τη Βιομηχανία 4.0 (Industry 4.0). Εντός του πλαισίου της Ελλάδας, υπάρχουν ευδιάκριτες προσπάθειες στον κατασκευαστικό τομέα για ευθυγράμμιση με τις διεθνείς συνθήκες. Ωστόσο, δεν υπάρχει ακόμη μια σαφής αποτύπωση της τρέχουσας κατάστασης και του βαθμού ψηφιοποίησης. Αυτή η εργασία στοχεύει στο να ρίξει φως στη χρήση προηγμένων εργαλείων Κατασκευής 4.0 (Construction 4.0) στην Ελλάδα, εντοπίζοντας συγκεκριμένα εργαλεία που χρησιμοποιούνται, τις εφαρμογές τους, καθώς και τα οφέλη και εμπόδια του μετασχηματισμού αυτού. Η έρευνα περιελάμβανε 10 συνεντεύξεις με 13 Διευθυντές Έργων (Project Managers) και Διευθυντές, με εμπειρίες δεκαετιών, που εργάζονται σε 6 από τις μεγαλύτερες κατασκευαστικές ή μελετητικές εταιρείες στην Ελλάδα. Τα ποιοτικά δεδομένα που συλλέχθηκαν από αυτές τις συνεντεύξεις υποβλήθηκαν σε προσεκτική ανάλυση χρησιμοποιώντας την τεχνική Διαγραμμάτων Συνάφειας (Affinity Diagram technique), ανακαλύπτοντας συνδέσεις νοημάτων και καταλήγοντας σε συμπεράσματα. Τα ευρήματα υποδηλώνουν την ευρέως διαδεδομένη χρήση του BIM και των Λογισμικών Διοίκησης Έργων βασισμένων στο Υπολογιστικό Σύννεφο (Cloud-Based Management Systems), που κατέχουν σοβαρά πλεονεκτήματα σε θέματα μείωσης κόστους και χρόνου. Τα Drones και τα εργαλεία τοπογραφικής καταγραφής, όπως οι Σαρωτές Λέιζερ (Laser Scanners) ήταν κοινά στις εταιρείες που διερευνήθηκαν, ενώ η υιοθέτηση των Ψηφιακών Διδύμων (Digital Twins) και της Εκτεταμένης Πραγματικότητας (Extended Reality) φάνηκε περιορισμένη και σε πρώιμα στάδια. Η χρήση Ρομποτικών Μηχανημάτων (Robotics) και του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things) παρατηρήθηκε επίσης σε παρόμοιο περιορισμένο βαθμό. Η έρευνα υπογραμμίζει ότι η περαιτέρω υιοθέτηση αυτών των εργαλείων απαιτεί καλύτερες ή πιο σαφείς μετρικές απόδοσης επενδύσεων (ROI) και μια αλλαγή νοοτροπίας εντός του Ελληνικού Κατασκευαστικού Τομέα. Αυτή η εργασία συμβάλλει σε μια λεπτομερή κατανόηση του τρέχοντος τεχνολογικού τοπίου στην Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα, προσφέροντας υλικό για μελλοντική ανάπτυξη.

Abstract

ABSTRACT

In the era of Industry 4.0, significant transformations have reshaped the production and industrial sectors, yet the construction industry has traditionally lagged behind in technological integration. Although inherently slower to progress, the construction sector has, in its own stride, embraced and adopted some state-of-the-art tools, primarily borrowed from Industry 4.0. Within the context of Greece, there are discernible efforts within the construction sector to align with international conditions. However, a comprehensive understanding of the current state and extent of digitalization remains elusive. This thesis aims to shed light on the utilization of advanced Construction 4.0 tools in Greece, identifying specific tools in use, their applications, and the associated benefits and barriers to this transformative process. The research involved 10 interviews with 13 high-level project managers and directors, with decades of experience, working in 6 of the largest construction or project planning companies in Greece. The qualitative data gathered from these interviews underwent thorough analysis using Affinity Diagram technique, revealing interconnected insights and forming conclusive observations. The findings indicate a prevalent use of BIM and Cloud-Based Management Systems both demonstrating tangible advantages in terms of cost and time reduction. Drones and topographic recording tools like Laser Scanners were common among the surveyed companies, whereas the adoption of Digital Twins and Extended Reality appeared limited and in a nascent stage. A similar limited use was observed about Robotics and Internet of Things. The research underscores that further adoption of those tools, require better or clearer Return on Investment (ROI) metrics and a shift in the mindset within the Greek Construction Sector. This thesis contributes to a nuanced understanding of the current technological landscape in Greek construction, offering material for improvement and future development.

Κατάλογος Συντομεύσεων - Αρκτικόλεξα

AEC: Αρχιτεκτονική Μηχανική Κατασκευή (Architecture Engineering Construction)

AI: Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence)

AR: Επαυξημένη Πραγματικότητα (Augmented Reality)

BIM: Μοντέλο Δομικών Πληροφοριών (Building Information Modeling)

CAD: Σχεδιασμός με Υπολογιστή (Computer Aided Design)

DT: Ψηφιακά Δίδυμα (Digital Twins)

IoT: Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things)

IT: Πληροφορική (Information Technology)

MR: Μικτή Πραγματικότητα (Mixed Reality)

RFID: Αναγνώριση μέσω Ραδιοσυχνοτήτων (Radio Frequency Identification)

ROI: Απόδοση Επένδυσης (Return on Investment)

UAV: Μη Επανδρωμένα Σκάφη (Unmanned Aerial Vehicles)

VR: Εικονική Πραγματικότητα (Virtual Reality)

XR: Εκτεταμένη Πραγματικότητα (Extended Reality)

3DP: Τρισδιάστατη Εκτύπωση (3D-Printing)

ΑΠΕ: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

1. Εισαγωγή

1.1 Πλαίσιο

Με την 4^η βιομηχανική επανάσταση (Industry 4.0) έχουμε δει μια ραγδαία τεχνολογική εξέλιξη στον τομέα της βιομηχανίας και της παραγωγής. Ο κατασκευαστικός τομέας από την άλλη ακολουθεί διαφορετικό ρυθμό εξέλιξης. Ενώ γίνεται λόγος για δύο τεράστιους κλάδους και από τους μεγαλύτερους από πλευράς τζίρου στον πλανήτη, βλέπουμε σημαντικές αποκλίσεις στην τεχνολογική τους εξέλιξη. Ο κατασκευαστικός τομέας πάντα θεωρούταν ως ο λιγότερο προχωρημένος τεχνολογικά κλάδος. Έχει υιοθετήσει σε λιγότερο βαθμό προηγμένα εργαλεία τεχνολογίας και πληροφορικής της Βιομηχανίας 4.0 (Industry 4.0) συγκριτικά με άλλους κλάδους, όπως ο κλάδος των ηλεκτρονικών, της μηχανολογίας και της βιομηχανικής παραγωγής. (Zabidin, et al., 2020). Υπάρχουν ωστόσο προηγμένα εργαλεία του παραγωγικού κλάδου που έχουν μεταδοθεί στον κατασκευαστικό, σε παγκόσμια κλίμακα.

Ο Ελληνικός Κατασκευαστικός Τομέας, βρίσκεται στην διαδικασία ευθυγράμμισης με την παγκόσμια τεχνολογική εξέλιξη. Παρουσιάζει λοιπόν μεγάλο ενδιαφέρον η αποτύπωση της κατάστασης στην Ελλάδα, ώστε να γίνει αντιληπτός ο βαθμός εκσυγχρονισμού του τομέα αυτού. Έτσι θα γίνει γνωστό από τις επιχειρήσεις σε τι στάδια εξέλιξης βρίσκονται σε σχέση με την παγκόσμια αγορά και να συμπεράνουν αν υπάρχουν τα κίνητρα για την περαιτέρω επένδυση σε τέτοιου είδους προηγμένα εργαλεία.

1.2 Σκοπός, ερωτήματα και στόχοι

1.2.1 Κύριο Πρόβλημα

Δεν υπάρχει αυτή τη στιγμή μια αποτύπωση της τεχνολογικής προόδου του Ελληνικού Κατασκευαστικού Τομέα. Δεν είναι γνωστός ο βαθμός υιοθέτησης των τεχνολογιών της Βιομηχανίας 4.0 (Industry 4.0), ούτε είναι φανερά τα οφέλη και τα εμπόδια που συντελούν στην διαμόρφωση της τρέχουσας κατάστασης. Έτσι, είναι δυσκολότερο και λιγότερο πιθανό για την αγορά του κατασκευαστικού τομέα να εξελιχθεί τεχνολογικά και να εκσυγχρονιστεί.

1.2.2 Σκοπός

Αποτύπωση και ποιοτική αξιολόγηση της ενσωμάτωσης των εργαλείων της Βιομηχανίας 4.0 (Industry 4.0) στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα.

1.2.3 Ερευνητικά Ερωτήματα

1. Ποια είναι τα τελευταίας τεχνολογίας εργαλεία της Βιομηχανίας 4.0 (Industry 4.0) και ποιες οι εφαρμογές τους, σε παγκόσμια κλίμακα;
2. Ποια από τα εργαλεία της Βιομηχανία 4.0 (Industry 4.0) πραγματικά εφαρμόζονται στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα;

3. Είναι επωφελής η εφαρμογή των τεχνολογιών αυτών στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα και τι εμπόδια υπάρχουν;

1.2.4 Στόχοι

1. Αναγνώριση των εργαλείων τεχνολογίας της Βιομηχανίας 4.0 (Industry 4.0) με χρήση στον παγκόσμιο κατασκευαστικό τομέα.
2. Αναγνώριση πρακτικών εφαρμογών τους στον παγκόσμιο κατασκευαστικό τομέα.
3. Διερεύνηση της υιοθέτησης των εργαλείων της Βιομηχανίας 4.0 (Industry 4.0), στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα.
4. Διερεύνηση του τρόπου αξιοποίησης των εργαλείων Βιομηχανίας 4.0 (Industry 4.0) στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα.
5. Διερεύνηση των παραγόντων που δυσχεραίνουν την εφαρμογή των εργαλείων της Βιομηχανίας 4.0 (Industry 4.0) στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα.
6. Δημιουργία χάρτη ενσωμάτωσης εργαλείων Βιομηχανίας 4.0 (Industry 4.0) στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα.

1.3 Οριοθέτηση

Η παρούσα διπλωματική εργασία, λόγω του χρόνου και του πλαισίου που τη χαρακτηρίζουν, περιορίζεται στα εξής:

Στο κομμάτι της βιβλιογραφίας, γίνεται αναγνώριση, σύντομη εξήγηση των τεχνολογιών της Βιομηχανίας 4.0 (Industry 4.0) στον κατασκευαστικό τομέα σε παγκόσμια κλίμακα και αναγνώριση εφαρμογών τους, ανεξάρτητα του βαθμού διάδοσής τους. Η αποτύπωση, χαρτογράφηση και απόδοση της συχνότητας και κατανομής χρήσης αυτών των εφαρμογών δεν αποτελεί αντικείμενο της συγκεκριμένης εργασίας. Επίσης αντικείμενο αυτής της εργασίας δεν αποτελεί η διερεύνηση των πλεονεκτημάτων των τεχνολογιών αυτών, της οικονομικής τους απόδοσης (ROI) καθώς και των εμποδίων που υπάρχουν στην εφαρμογή τους, σε επίπεδο βιβλιογραφίας. Αυτά θα μπορούσαν να αποτελούν επέκταση της εργασίας αυτής και πρόταση για μελλοντική έρευνα.

Στο κομμάτι της διερεύνησης μέσω συνεντεύξεων, οι στόχοι ήταν η εξήγηση πλεονεκτημάτων και εμποδίων της εφαρμογής των τεχνολογιών αυτών στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα, καθώς και η ποιοτική αξιολόγηση και αποτύπωση της υιοθέτησής τους. Είναι εκτός των ορίων της εργασίας αυτής όμως η έρευνα για τη χρηματική απόδοση (ROI) αυτών των εργαλείων καθώς και η ποσοτική (στατιστική) αποτύπωση του βαθμού υιοθέτησής τους.

Τέλος, η αναζήτηση συνεντευξιζόμενων ανθρώπων στη συγκεκριμένη εργασία έγινε μόνο σε ιδιωτικές εταιρίες 6^{ης} και 7^{ης} τάξης, που δραστηριοποιούνται στην Ελλάδα.

2. Προηγμένες Τεχνολογίες στον Παγκόσμιο Κατασκευαστικό Τομέα

2.1 Εισαγωγή

2.1.1 Η έννοια της Βιομηχανίας 4.0 (Industry 4.0)

Το 2023, κάθε άνθρωπος εμπλεκόμενος με την τεχνολογία και τη μηχανική γνωρίζει για τη λεγόμενη Βιομηχανία 4.0 (Industry 4.0), ή αλλιώς την 4^η βιομηχανική επανάσταση. Η Βιομηχανία 4.0 (Industry 4.0) έχει φέρει την επανάσταση στην παραγωγή, καθώς αποτελεί μία γέφυρα που χρησιμοποιεί δίκτυα επικοινωνίας και μέσω της ανταλλαγής πληροφορίας έχει σκοπό την αυτοματοποίηση και ψηφιοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας (Zabidin, et al., 2020).

Αντίστοιχη επανάσταση τώρα είναι σε εξέλιξη στον κατασκευαστικό τομέα, όπου γίνονται προσπάθειες εκσυγχρονισμού και υιοθέτησης προηγμένων τεχνολογιών πληροφορικής, από την Βιομηχανία 4.0 (Industry 4.0). Αυτή η επανάσταση είναι γνωστή ως Βιομηχανία 4.0 στον κατασκευαστικό τομέα ή Κατασκευή 4.0 (Construction 4.0) (Oesterreich, 2016).

Η Βιομηχανία 4.0 (Industry 4.0) έχει ήδη βρει εφαρμογή σε πολλούς τομείς της παραγωγής και των υπηρεσιών. Έχει αυξήσει δραστικά την παραγωγικότητα, σε ατομικό και σε επίπεδο οργανισμού. Έχει αυξήσει την αποδοτικότητα, την ποιότητα και την ευελιξία των βιομηχανικών συστημάτων. Όλα αυτά πραγματοποιούνται μέσω της δημιουργίας ενός δικτύου ταχύτατης και αυτόματης επικοινωνίας φυσικού και ψηφιακού κόσμου (Larissa Statsenko, 2023).

Όπως έχει διατυπωθεί και φαίνεται αναπαραστατικά στην εικόνα 2.1, οι 9 βασικές κατηγορίες της Βιομηχανίας 4.0 (Industry 4.0) είναι η Επαυξημένη Πραγματικότητα (Augmented Reality – AR), η Ενοποίηση Συστημάτων (Systems Integration), το Σύννεφο Υπολογιστών (Cloud computing), τα Μεγάλα Δεδομένα (Big Data), το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things – IoT), η Τρισδιάστατη Εκτύπωση (3D-Printing), η Κυβερνοασφάλεια (Cybersecurity), τα Αυτόνομα Ρομπότ (Autonomous Robots) και η Προσομοίωση (Simulation) (Zabidin, et al., 2020).



Εικόνα 2.1: Οι 9 κατηγορίες του Industry 4.0 (Kadir, 2020)

2.1.2 Η έννοια της Κατασκευής 4.0 (Construction 4.0)

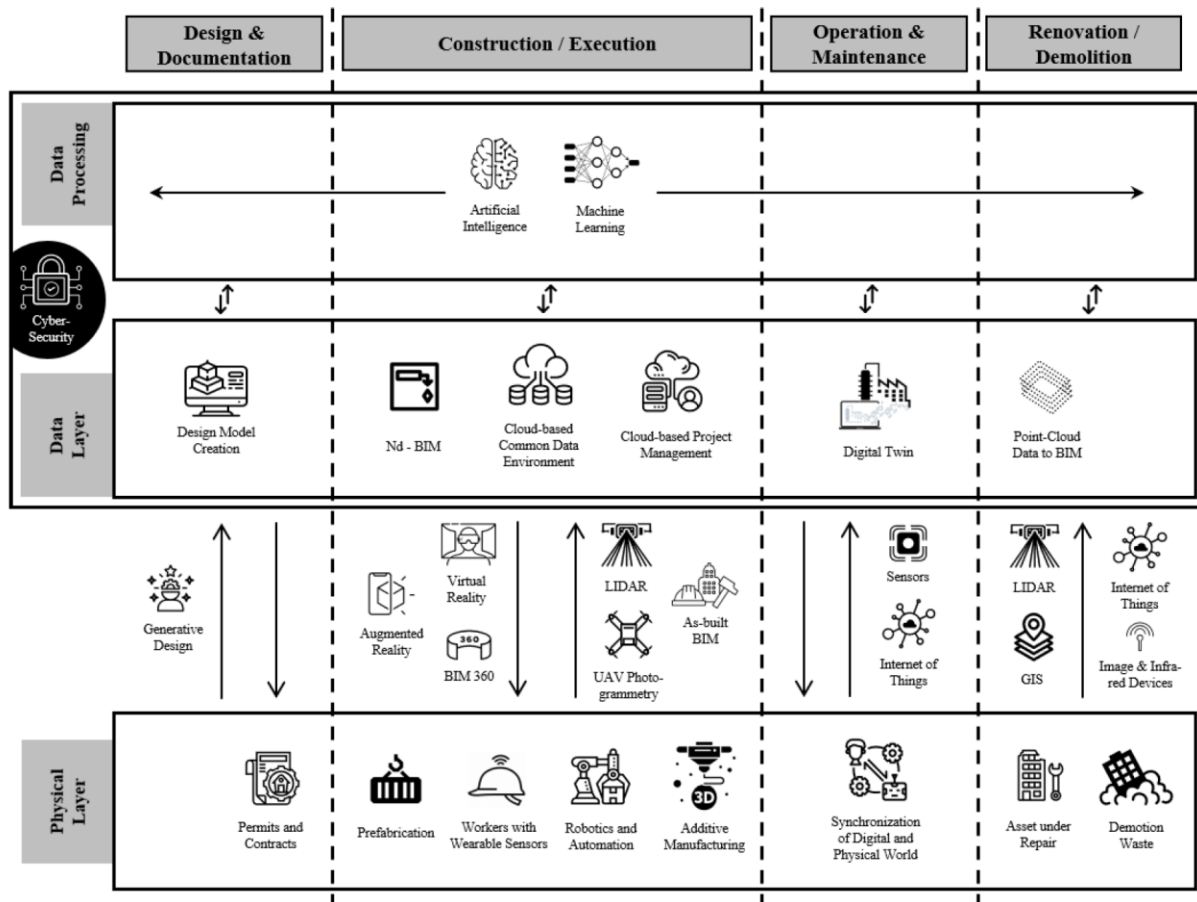
Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η όλη ιδέα της Βιομηχανίας 4.0 (Industry 4.0) είναι να συνδέσει ψηφιακό και φυσικό κόσμο. Το ίδιο γίνεται και στην περίπτωση της Κατασκευής 4.0 (Construction 4.0). Ο φυσικός κόσμος, δηλαδή το πραγματικό εργοτάξιο όπου κατασκευάζεται το έργο, επικοινωνεί με τον ψηφιακό. Ο απώτερος στόχος της Κατασκευής 4.0 (Construction 4.0), είναι ο πλήρης ψηφιακός μετασχηματισμός του εργοταξίου και των διαδικασιών του και μελλοντικά η μετατροπή του σε ένα πλήρως αυτοματοποιημένο περιβάλλον (αναμένεται για το 2050).

Τώρα για την καλύτερη κατανόηση της διάρθρωσης της έννοιας αυτής, υπάρχει ο χάρτης της Κατασκευής 4.0 (Construction 4.0) και ο οποίος αναλύεται σε στρώματα (Karmakar & Delhi, 2021). Ειδικότερα, χωρίζεται σε 4 στρώματα, 1 είναι το φυσικό (το εργοτάξιο) και 2,3,4 στρώματα του ψηφιακού κόσμου. Το στρώμα 1 περιλαμβάνει τα εργαλεία Κατασκευής 4.0 (Construction 4.0), που χρησιμοποιούνται πρακτικά στο εργοτάξιο, όπως για παράδειγμα τα Drones και τα Ρομποτικά Μηχανήματα (Robotics). Το στρώμα 2 περιλαμβάνει τα εργαλεία αυτά που μεταδίδουν πληροφορία μεταξύ του φυσικού στρώματος 1 και του ψηφιακού στρώματος 3, όπως είναι οι Σαρωτές Λείζερ (Laser Scanners) και η Επαυξημένη Πραγματικότητα (Augmented Reality). Το ψηφιακό στρώμα 3 περιλαμβάνει τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για προβολή και διατήρηση δεδομένων, όπως είναι το BIM και τα Ψηφιακά Δίδυμα (Digital

Twins). Το στρώμα 4 περιλαμβάνει τα εργαλεία που αξιοποιούνται για ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων του στρώματος 4, είτε υποβοηθώντας τον άνθρωπο είτε πλήρως αυτοματοποιημένα, όπως είναι η Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence), η Μηχανική Μάθηση (Machine Learning) και η Αναλυτική Μεγάλων Δεδομένων (Big Data Analytics).

Ο χάρτης αυτός μπορεί πέρα από τα στρώματα που αναλύσαμε να χωριστεί και σε 4 φάσεις, με βάση τον κύκλο ζωής του έργου. Δηλαδή η φάση 1 είναι η μελέτη (σχεδιασμός, ο προγραμματισμός και η δημιουργία έγγραφων προδιαγραφών), η φάση 2 η κατασκευή, η φάση 3 η λειτουργία/συντήρηση του έργου και η φάση 4, η ανακαίνιση ή κατεδάφιση. Παρ' όλ' αυτά δεν σημαίνει ότι η κατηγοριοποίηση αυτή αναιρεί το γεγονός ότι οι διάφορες τεχνολογίες αυτές μπορεί να έχουν εφαρμογή και σε άλλες φάσεις του κύκλου ζωής του έργου.

Όλα αυτά που εξηγήθηκαν παραπάνω παρουσιάζονται στον χάρτη του (Karmakar & Delhi, 2021), όπως φαίνεται παρακάτω στην εικόνα 2.2.



Εικόνα 2.2 (Karmakar & Delhi, 2021): Χάρτης με τις τεχνολογίες του Construction 4.0, καταναμημένες σε στρώματα φυσικού – ψηφιακού κόσμου και σε φάσεις προόδου του έργου.

Τώρα αντίστοιχα με τη Βιομηχανία 4.0 (Industry 4.0) υπάρχουν κάποιες βασικές τεχνολογίες που απαρτίζουν την Κατασκευή 4.0 (Construction 4.0). Δια της μελέτης που πραγματοποιήθηκε, παρατηρήθηκε ότι στη βιβλιογραφία υπάρχουν διάφορες απόψεις για το ποιες είναι οι κύριες τεχνολογίες αυτές (Suferi & Rahman, 2023). Στη συγκεκριμένη εργασία έγινε μία σύνθεση των απόψεων από διάφορες πηγές για μια οργανωμένη επισκόπηση των τεχνολογιών και κάλυψη όσο το δυνατόν μεγαλύτερου εύρους εφαρμογών. Συγκεκριμένα εντοπίστηκαν οι ακόλουθες 12 τεχνολογίες, 8 βασικές και 4 συμπληρωματικές:

Οι 8 βασικές τεχνολογίες της Κατασκευής 4.0 (Construction 4.0):

1. BIM (Building Information Modeling)
2. Ψηφιακά Δίδυμα (Digital Twins)
3. Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things)
4. Εικονική, Επαυξημένη και Μικτή Πραγματικότητα - Εκτεταμένη Πραγματικότητα (Virtual, Augmented and Mixed Reality – VR, AR, MR - Extended Reality)
5. Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence)
6. Ρομποτικά Μηχήματα και Αυτοματισμοί (Robotics & Automation)
7. Τρισδιάστατη Εκτύπωση/ Προσθετική Κατασκευή (3D-Printing/Additive Construction)
8. Μη Επανδρωμένα Σκάφη (Unmanned Aerial Vehicles - UAV/Drones) & Σαρωτές Laser (Laser Scanners)

Οι 5 συμπληρωματικές τεχνολογίες της Κατασκευής 4.0 (Construction 4.0):

1. Προκατασκευή Εκτός Εργοταξίου (Off-site Construction)
2. Αναλυτική Μεγάλων Δεδομένων (Big Data Analytics)
3. Υπολογιστικό Σύννεφο (Cloud Computing) και Φορητοί Υπολογιστές (Mobile Computing)
4. Τεχνολογίες Διανεμημένων Λογιστικών Βιβλίων (Distributed Ledger Technologies – DLT) - Blockchain

2.2 BIM (Building Information Modelling)

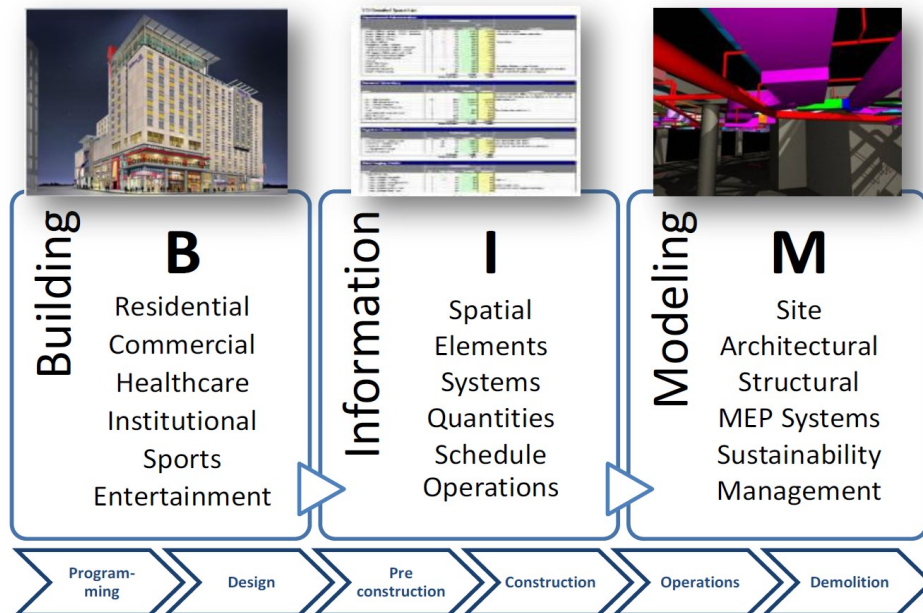
2.2.1 Εξήγηση της τεχνολογίας BIM

Το BIM είναι μια έννοια που έχει ξεκινήσει να υπάρχει από το 1975. Από τότε ο αποδεκτός ορισμός του έχει αλλάξει πολλές φορές καθώς αυτό παράλληλα εξελίσσεται. Ο τελευταίος ορισμός όμως το 2013 εξήγησε το BIM ως ένα σύνολο ψηφιακών εργαλείων που υποστηρίζουν τον τομέα Αρχιτεκτονικής-Μηχανικής-Κατασκευών, (AEC Industry - Architecture Engineering Construction) στον σχεδιασμό, τον προγραμματισμό, την κατασκευή και την λειτουργία του εργοταξίου (Latiffi, et al., 2014). Το BIM έχει ορισθεί επίσημα από το Εθνικό Πρότυπο των

Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής για το BIM, ως «*μια ψηφιακή αναπαράσταση των φυσικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών ενός εργοταξίου*» (East & Smith, 2016).

Το BIM από τεχνικής απόψεως, είναι ένα σύνολο τρισδιάστατων ψηφιακών μοντέλων που περιέχουν τα στοιχεία της κατασκευής αλλά και πληροφορίες όσον αφορά τη μελέτη (σχεδιασμό & προγραμματισμό), την κατασκευή, την λειτουργία και την κατεδάφιση/ανακατασκευή του έργου. Το BIM δηλαδή δεν είναι απλά ένα τρισδιάστατο σχέδιο CAD. Ένα σχέδιο CAD είναι μια τρισδιάστατη αναπαράσταση με χρήση όμως απλά γραμμών, σχημάτων και εξωθήσεων (extrusions). Το BIM από την άλλη, είναι ένα σχέδιο που περιλαμβάνει τα πραγματικά στοιχεία της κατασκευής, με πληροφορίες συγκεκριμένα για το κάθε μοντέλο προϊόντος που έχει χρησιμοποιηθεί και τα χαρακτηριστικά του. Αυτό είναι και το βασικό στοιχείο διαφοροποίησης και μοναδικότητας του εργαλείου BIM. Δηλαδή ενσωματώνει στο σχέδιο, το πραγματικό εξάρτημα, το κόστος και τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του. Παραδείγματος χάριν ένα καλώδιο που θα υπάρχει στο σχέδιο, ένας διακόπτης, ένας πυρανιχνευτής, όλα θα συνοδεύονται στο BIM με στοιχεία του ακριβούς μοντέλου που θα χρησιμοποιηθεί (ή χρησιμοποιείται), τα χαρακτηριστικά του, την τιμή του, τον προμηθευτή κ.α. (Azhar, et al., 2012).

Το BIM λοιπόν είναι ένα ψηφιακό εργαλείο που εμπλέκεται σε ένα έργο από τη φάση του σχεδιασμού/μελέτης, της κατασκευής, της λειτουργίας/συντήρησης και φτάνει μέχρι και την κατεδάφιση, καλύπτοντας πλήρως τον κύκλο ζωής του, όπως αναπαρίσταται και στην εικόνα 2.3.



Εικόνα 2.3: Μία εικονική αναπαράσταση της έννοιας του BIM κατά τον κύκλο ζωής του έργου (Azhar, et al., 2012)

Η διαδικασία της συμμετοχής του BIM σε κάθε φάση του κύκλου ζωής ενός έργου, συνδέεται και με ένα άλλο όρο του BIM που χρησιμοποιείται στον κατασκευαστικό τομέα και είναι το επίπεδο ανάπτυξης ή λεπτομέρειας του BIM (Level of Development or Level of Detail), συμβολιζόμενο με LOD. Το LOD προσδιορίζει το βαθμό λεπτομέρειας και εξέλιξης που έχει το BIM σε κάθε φάση του κύκλου ζωής ενός έργου. Συγκεκριμένα όπως έχει συμφωνηθεί από τους φορείς «The American Institute of Architects (AIA)» και «the Associated General Contractors of America (AGC)», υπάρχουν 6 επίπεδα ανάπτυξης (AutoDesk, 2017), που έχουν ως εξής (και φαίνονται αναπαραστατικά στην εικόνα 2.4):

- LOD 100: Αρχική σύλληψη του έργου - δεν υπάρχουν λεπτομέρειες πέρα από το βασικό σχήμα και διαστάσεις της κατασκευής.
- LOD 200: Αρχικός σχεδιασμός – το μοντέλο γίνεται πιο συγκεκριμένο με προσεγγιστικές διαστάσεις, σχήματα και θέσεις, βοηθητικό για χωροταξική οργάνωση.
- LOD 300: Λεπτομερής σχεδιασμός – εδώ το μοντέλο πλέον είναι πλήρως ορισμένο από άποψη ακριβών διαστάσεων, σχημάτων και συγκεκριμένων εξαρτημάτων. Χρησιμοποιείται για την έκδοση συνοδευτικών εγγράφων του έργου.
- LOD 350: Έγγραφα Έργου – το μοντέλο συνοδεύεται με λεπτομερειακά συναρμολογήματα και πληροφορίες για την κατασκευή.
- LOD 400: Κατασκευαστικό Μοντέλο – αυτή είναι η φάση στην οποία το σχέδιο είναι τόσο λεπτομερειακά ορισμένο, με συναρμολογήματα και σχέσεις μεταξύ στοιχείων, που είναι έτοιμο προς κατασκευή.
- LOD 500: Το ως έχει μοντέλο – το σχέδιο που περιέχει την ακριβή και πραγματική κατασκευή με όλα τα στοιχεία της που είναι απαραίτητα από την διαχείριση της κατασκευής μέχρι και την λειτουργία και συντήρηση.

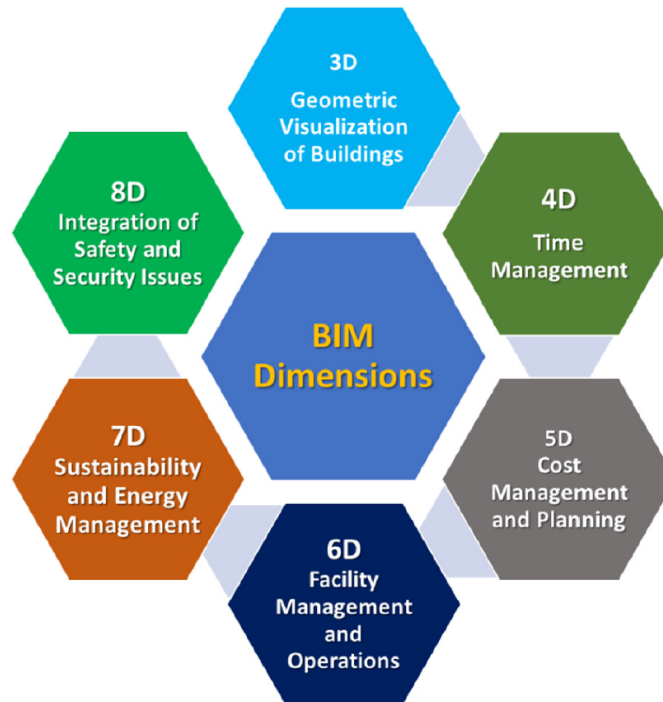


Εικόνα 2.4: Τα 6 Επίπεδα Ανάπτυξης του BIM (Catenda, 2021)

2.2.2 Εφαρμογές του BIM

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του BIM είναι ότι μπορεί να συνεργάζεται με πολλές τεχνολογίες του Construction 4.0, όπως τα Ψηφιακά Δίδυμα (Digital Twins), η Εκτεταμένη Πραγματικότητα (Extended Reality), τους Σαρωτές Λείζερ (Laser Scanners) και άλλες. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται μεγιστοποίηση της εκμετάλλευσης και των υπόλοιπων εργαλείων, με βάση το BIM. Διότι το BIM είναι η βασικότερη και σημαντικότερη τεχνολογία του Construction 4.0 πάνω στην οποία βασίζεται και η ανάπτυξη των υπολοίπων. Αυτή η συνεργασία μεταξύ BIM και λοιπών τεχνολογιών του Construction 4.0 έχει αναλυθεί στα επόμενα υποκεφάλαια. Η μεγάλη αξία λοιπόν του BIM δεν είναι οι ίδιες οι εφαρμογές του, αλλά το ότι αποτελεί τη βάση ώστε να «χτιστούν» πάνω σε αυτό αμέτρητες εφαρμογές των τεχνολογιών της Κατασκευής 4.0 μεγιστοποιώντας τα οφέλη του.

Το BIM είναι ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται και στα 4 στάδια του κύκλου ζωής ενός έργου, κατά την φάση του σχεδιασμού/μελέτης, της κατασκευής, της συντήρησης και λειτουργίας αλλά και στην κατεδάφιση/ανακατασκευή ενός έργου. Οι βασικές του εφαρμογές περιλαμβάνονται στις λεγόμενες διαστάσεις του BIM. Όπως προαναφέρθηκε, το BIM δεν είναι ένα απλό τρισδιάστατο σχέδιο, αλλά περιέχει πολλές σημαντικές πληροφορίες που συντελούν πρακτικά στην αναβάθμιση της διοίκησης του έργου. Παρακάτω εξετάστηκαν οι 8 βασικές διαστάσεις του BIM, όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.5. Στην πραγματικότητα το BIM έχει n-D διαστάσεις και έχει τη δυνατότητα προσθήκης ανεξάντλητου αριθμού παραμέτρων αναλόγως την περίπτωση αλλά και τους στόχους του κατασκευαστή/μελετητή.



Εικόνα 2.5: Οι 8 διαστάσεις του BIM (Biswas, et al., 2024)

Εφαρμογές κατά την φάση της μελέτης

Είναι γνωστό ότι η 3^η διάσταση του BIM αφορά την τρισδιάστατη σχεδιαστική αποτύπωση του έργου με ακριβείς διαστάσεις, μορφολογίες και συνδέσεις αλλά και τα στοιχεία που το αποτελούν. Η 4^η διάσταση τώρα αφορά την προσθήκη του χρονικού προγραμματισμού. Εισάγεται στο BIM το μοντέλο των διεργασιών που πρέπει να γίνουν, η χρονική διάρκεια και οι αλληλουχίες μεταξύ τους. Έτσι, γίνεται δυνατή η εκτέλεση προσομοίωσης της φάσης της κατασκευής και άρα μπορούν να εντοπιστούν πιθανές δυναμικές συγκρούσεις και να προληφθούν πριν καν ξεκινήσει το έργο (Biswas, et al., 2024). Γίνεται λοιπόν αποφυγή του trial-and-error και επομένως εξοικονόμηση κόστους αλλά και χρόνου. Επίσης με το 4D-BIM, μπορεί να προγραμματιστεί καλύτερα η προμήθεια υλικών και η αναγνώριση και διαχείριση κινδύνων (Azhar, et al., 2012).

Εφαρμογές κατά την φάση της κατασκευής

Η 5^η διάσταση αφορά την προσθήκη του κόστους στο BIM. Προστίθενται δηλαδή στοιχεία κοστολόγησης διεργασιών και υλικών στο BIM με αποτέλεσμα να μπορεί να γίνει εκτίμηση του κόστους πολύ κοντά στην πραγματικότητα (Azhar, et al., 2012). Παράλληλα σε συνδυασμό με το χρονικό προγραμματισμό μπορεί να γίνει και πολύ καλύτερη διαχείριση των χρηματικών ροών.

Η 7^η διάσταση αφορά την ενεργειακή διαχείριση και βιωσιμότητα κατά την φάση της κατασκευής του έργου που με τη χρήση του προγραμματισμού μπορεί να γίνει από νωρίς πρόβλεψη και μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της κατασκευής με βελτιστοποίηση μεταφορών, διαδικασιών και καθυστερήσεων (Azhar, et al., 2012).

Η 8^η διάσταση εισάγει το κομμάτι της υγείας και της ασφάλειας στο εργοτάξιο. Με τη χρήση του BIM σε συνδυασμό με τεχνολογίες εκτεταμένης πραγματικότητας του διαδικτύου των πραγμάτων και της τεχνητής νοημοσύνης, που έχουν αναλυθεί εκτενέστερα σε επόμενα κεφάλαια, γίνεται καλύτερη εκπαίδευση εργατών, πρόβλεψη πιθανών ατυχημάτων, καλύτερη επίβλεψη του εργοταξίου.

Το BIM επομένως θεωρείται και ένα εργαλείο διοίκησης εργοταξίου (BIM as facility management tool). Συγκεντρώνει όλα τα σχέδια, τις πληροφορίες, τα χρονοδιαγράμματα και την τρέχουσα κατάσταση του εργοταξίου, δίνοντας στον Διευθυντή Έργου (Project Manager) μια ολιστική εικόνα της εξέλιξης και τον έλεγχο αυτής. Παράλληλα παρέχει τη δυνατότητα συνεργασίας και επικοινωνίας μεταξύ των διαφόρων τμημάτων, για τη βέλτιστη διεκπεραίωση του έργου (Azhar, et al., 2012).

Εφαρμογές κατά την φάση της λειτουργίας/συντήρησης

Η φάση της λειτουργίας/συντήρησης του ολοκληρωμένου έργου συνδέεται με την 6^η διάσταση του BIM. Το BIM δίνει με μεγάλη ευκολία στον αποδέκτη του έργου, όλες τις πληροφορίες αυτές που χρειάζεται για την διαχείρισή του. Διαστάσεις, χωροταξία και εξαρτήματα, όλα σε ηλεκτρονική και πολύ εύκολα πρόσβαση και διαχειρίσιμη μορφή. Έτσι, είναι πολύ αποδοτικότερη η συντήρηση του εξοπλισμού, αφού είναι γνωστό ακριβώς το μοντέλο, το ιστορικό συντηρήσεων, η ημερομηνία τοποθέτησης κ.α. Παράλληλα το BIM επιτρέπει την διαχείριση χώρου, των μετακινήσεων και των εκτάκτων συμβάντων που θα τύχουν στη φάση της λειτουργίας του (Azhar, et al., 2012).

Εφαρμογές κατά τη φάση της κατεδάφισης/ανακατασκευής

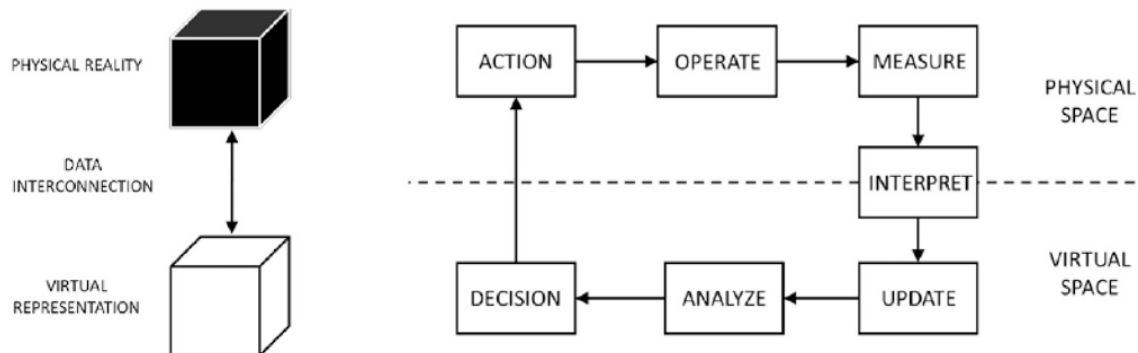
Μπορεί ακόμη να διευκολυνθεί μελλοντική ανακατασκευή ή/και ανακαίνιση του κτιρίου. Τα δεδομένα που υπάρχουν στο BIM αποτελούν τη βάση και τον οδηγό για μελλοντικές αλλαγές και αναβαθμίσεις. Υπάρχει ακόμα η δυνατότητα κατάστρωσης σχεδίων ασφαλείας και πρόβλεψης ατυχημάτων του κτιρίου, μέτρηση θορύβου, σκόνης και δονήσεων κατά την φάση κατεδάφισης/ανακατασκευής ή και εργασιών συντήρησης. Το BIM αποτελεί οδηγό επίσης και στην περίπτωση κατεδάφισης του κτιρίου, με τις πληροφορίες και το ιστορικό που διαθέτει για αυτό (Volk, et al., 2014).

2.3 Ψηφιακά Δίδυμα (Digital Twins)

2.3.1 Εξήγηση της τεχνολογίας των Ψηφιακών Διδύμων (Digital Twins)

Το Ψηφιακό Δίδυμο (Digital Twin), όπως το όρισε ο Michael Grieves το 2002, αποτελεί «ένα σύνολο εικονικών μοντέλων πληροφορίας που περιγράφουν πλήρως ένα πραγματικό ή δυνητικά πραγματικό και φυσικό κατασκευασμένο προϊόν, από τον μικρόκοσμο έως τον μακρόκοσμο, δηλαδή από επίπεδο ατόμου έως το γεωμετρικό επίπεδο. Στην βέλτιστη περίπτωση, οποιαδήποτε πληροφορία θα μπορούσε κανείς να αντλήσει από το φυσικό αντικείμενο, θα μπορεί να την αντλήσει και από το ψηφιακό του δίδυμο».

Έτσι λοιπόν ο όρος Ψηφιακό Δίδυμο (Digital Twin) περιλαμβάνει ένα φυσικό αντικείμενο (είτε έμβιο είτε άβιο), το ψηφιακό του δίδυμο, το οποίο αποτελεί την ψηφιακή του αναπαράσταση σε πραγματικό χρόνο και τέλος τον μηχανισμό σύνδεσης των δύο, δηλαδή την αμοιβαία αλλαγή δεδομένων μεταξύ των διδύμων σε πραγματικό χρόνο. Αυτό είναι και το βασικό χαρακτηριστικό προτέρημα αυτής της τεχνολογίας, ότι δηλαδή οτιδήποτε συμβαίνει στο ένα δίδυμο, είτε στο φυσικό είτε στο ψηφιακό, τότε το ίδιο αποτέλεσμα θα μεταδοθεί και στο άλλο, σε πραγματικό χρόνο (Singh & Kuts, 2022). Η αναπαράσταση του βρόχου λειτουργίας του Ψηφιακού Διδύμου (Digital Twin), φαίνεται στην εικόνα 2.6.



Εικόνα 2.6: Ο μηχανισμός του Ψηφιακού Διδύμου (VanDerHorn & Mahadevan, 2021)

Τώρα όπως γίνεται κατανοητό, η τεχνολογία αυτή των Ψηφιακών Διδύμων (Digital Twins), μπορεί άριστα να συνεργαστεί με την τεχνολογία BIM που ήδη έχουμε δει. Στόχος πολλών κατασκευαστών είναι να κάνουν αναβάθμιση των BIM τους και να τα εξελίξουν σε ζωντανά ψηφιακά μοντέλα που θα μεταδίδουν σε πραγματικό χρόνο το τι ακριβώς συμβαίνει στο εργοτάξιο. Αυτό αποτελεί την αρχή για ένα σύνολο εφαρμογών των Ψηφιακών Διδύμων (Digital Twins) στον κατασκευαστικό τομέα.

Στη λογική αυτή έρχεται να συμφωνήσει και ο Wei Hu, σύμφωνα με τον οποίο χρειάζεται μία συνθετική χρήση των τεχνολογιών Κατασκευής 4.0 (Construction 4.0) ώστε η εφαρμογή τους στις κατασκευές να έχει το βέλτιστο αντίκρυσμα (Hu, et al., 2022).

2.3.2 Εφαρμογές των Ψηφιακών Διδύμων (Digital Twins) στον κατασκευαστικό τομέα

Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας αυτής, όπως αναφέρθηκε, είναι ότι μπορεί να συνεργαστεί πολύ καλά με το BIM αλλά και με την Εκτεταμένη Πραγματικότητα (Extended Reality) και το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things). Η συνεργασία αυτή δίνει βήμα και ανοίγει πολλές δυνατότητες εφαρμογών στον κατασκευαστικό τομέα.

Τα Ψηφιακά Δίδυμα (Digital Twins) είναι μια τεχνολογία που όπως το BIM, έχει συμμετοχή και συνεισφορά σε κάθε φάση του κύκλου ζωής του έργου.

Εφαρμογές κατά την φάση της μελέτης

Το Ψηφιακό Δίδυμο (Digital Twin) μπορεί να γίνει η επέκταση του BIM και να ενισχύσει την λειτουργία του όπως η συνεργασία με αισθητήρες RFID (Radio Frequency Identification – ταυτοποίηση μέσω ραδιοσυχνοτήτων), με τεχνητή νοημοσύνη και μοντέλα προσομοίωσης (Akanmu, et al., 2021). Παράλληλα, το Ψηφιακό Δίδυμο (Digital Twin) με ανατροφοδότηση δεδομένων από τον φυσικό κόσμο «τρέχει» προσομοιώσεις και μπορεί να προβλέψει πιθανά λάθη, περιττές διαδικασίες και υλικά. Συγκρίνει τα δεδομένα που λαμβάνει σε ζωντανό χρόνο (real-time), με ιστορικά δεδομένα και με χρήση αλγορίθμων, κατορθώνει να προβλέψει τα ανωτέρω, να βελτιστοποιήσει τον προγραμματισμό και την λήψη αποφάσεων (Kor, et al., 2023)

Εφαρμογές κατά την φάση της κατασκευής

Μία πολύ σημαντική εφαρμογή κατά την φάση της κατασκευής είναι η βελτίωση της ασφάλειας των εργαζομένων. Συγκεκριμένα είχε αναπτυχθεί ένα πλαίσιο με βάση το Ψηφιακό Δίδυμο (Digital Twin) αλλά και χρήση γυαλιών επαυξημένης πραγματικότητας (Augmented Reality) (όπου ο χρήστης βλέπει τον πραγματικό κόσμο αλλά ενισχυμένο με ψηφιακό περιεχόμενο) με σκοπό την εργονομική εκπαίδευση εργατών και τη μείωση των σωματικών τους καταπονήσεων κατά τη διάρκεια της εργασίας τους (Akanmu, et al., 2021). Οπότε γενικότερα η βελτίωση της υγείας και ασφάλειας στο εργοτάξιο και η εκπαίδευση των εργατών σε προσομοίωση πραγματικών συνθηκών αποτελεί εφαρμογή των Ψηφιακών Διδύμων (Digital Twins).

Κάποιες ακόμη δυνατότητες των Ψηφιακών Διδύμων (Digital Twins) είναι η υποστήριξη στην διαχείριση πόρων, υλικών και σωστή τήρηση του προγραμματισμού. Η τήρηση των προδιαγραφών του κτιρίου, ο έλεγχος στατικής και δομικής επάρκειας (Attaran & Celik, 2023).

Εφαρμογές κατά την φάση της λειτουργίας/συντήρησης

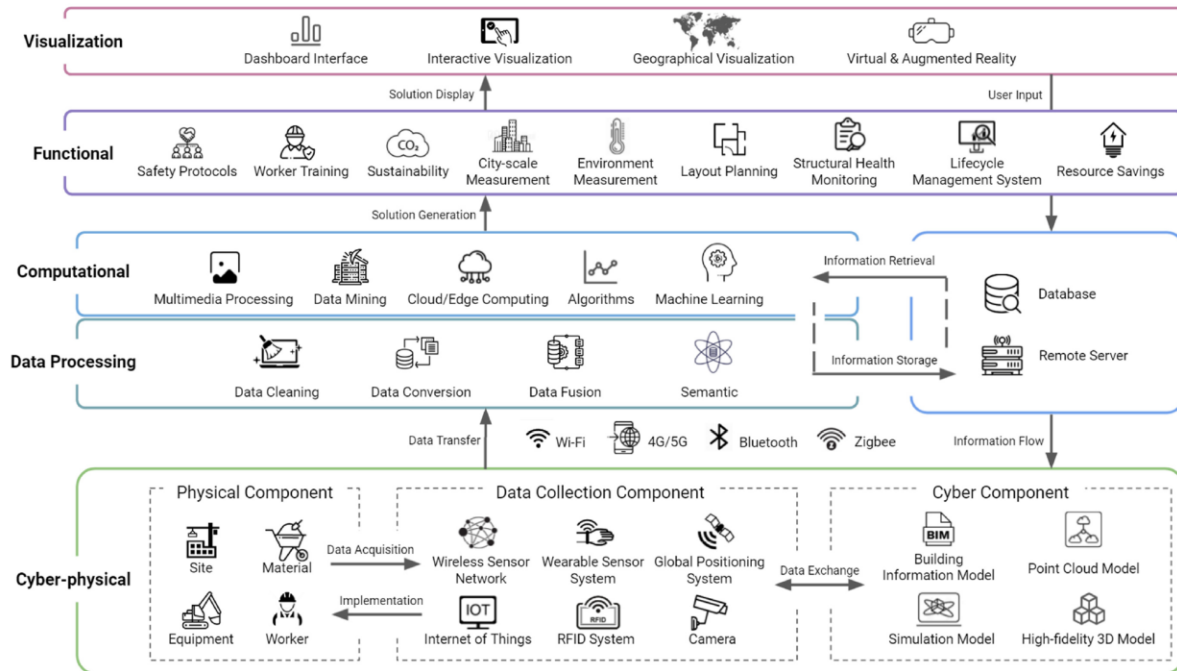
Δύο αξιόλογα σημεία στα οποία βοηθάει το Ψηφιακό Δίδυμο (Digital Twin) στη φάση της συντήρησης και είναι ένα επίπεδο πάνω από το BIM, είναι η ζωντανή παρακολούθηση των μεταφορικών (logistics) και η βελτιστοποίηση των ενεργειακών καταναλώσεων του κτιρίου μέσω προσομοίωσης (Singh & Kuts, 2022). Με την συνεχή ζωντανή παρακολούθηση των καταναλώσεων του κτιρίου αλλά και την εκτέλεση προσομοιώσεων γίνεται δυνατή η μεγάλη

ενεργειακή εξέλιξη του κτιρίου (Akanmu, et al., 2021). Ακόμη το Ψηφιακό Δίδυμο (Digital Twin), ως η μετεξέλιξη του BIM στη διαχείριση της εγκατάστασης, είναι εργαλείο παρακολούθησης των εξαρτημάτων και υλικών που εισέρχονται και εξέρχονται από το κτίριο. Γίνεται ζωντανή αναπαράσταση των αντικειμένων που μεταφέρονται στον πραγματικό κόσμο στο ψηφιακό μοντέλο, φτιάχνοντας έτσι το αποκορύφωμα της επίβλεψης και ελέγχου του κτιρίου από τον χρήστη (Akanmu, et al., 2021).

Εφαρμογές κατά τη φάση της κατεδάφισης/ανακατασκευής

Το ΨΔ μέσα του ιστορικού που διαθέτει από διάφορα κτίρια μπορεί να προβλέψει την έκβαση της κατεδάφισης ενός παρόμοιου κτιρίου, να προσομοιώσει την κατεδάφιση και να προειδοποιήσει για πιθανούς κινδύνους που πιθανόν να προκύψουν. Συντελεί και πάλι στη βέλτιστη λήψη αποφάσεων, προτείνει τεχνικές λύσεις και διασφαλίζει την ομαλότερη διεξαγωγή εργασιών ανακατασκευής (Singh & Kuts, 2022). Όλα αυτά προφανώς συνεισφέρουν στη μείωση κόστους και στη διασφάλιση της διατήρησης της αξίας των έργων.

Η παρακάτω εικόνα 2.7, δείχνει πολύ αναπαραστατικά το πώς το Ψηφιακό Δίδυμο (Digital Twin) συνεργάζεται με όλες τις άλλες τεχνολογίες, σε όλο τον κύκλο ζωής του έργου.



Εικόνα 2.7: Η αρχιτεκτονική της λειτουργίας του Ψηφιακού Διδύμου στον κύκλο ζωής του έργου (Hu, et al., 2022).

2.4 Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things)

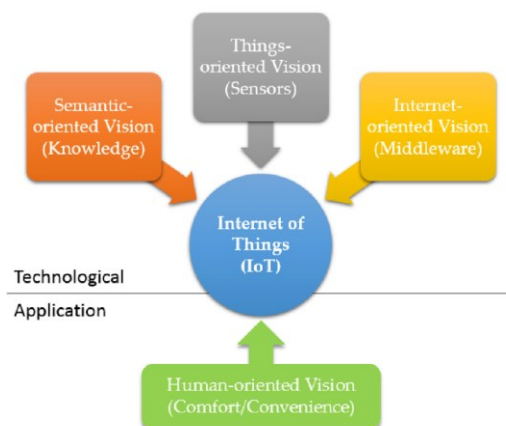
2.4.1 Εξήγηση της τεχνολογίας του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things)

Όπως έχει εξηγηθεί, η Βιομηχανία 4.0 (Industry 4.0), είναι μια τεχνολογική επανάσταση που βασικός της στόχος είναι να συνδέσει φυσικό και ψηφιακό κόσμο. Αυτό ακριβώς κάνει και το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT) με το βασικό του στοιχείο να είναι η συλλογή δεδομένων (Huang & Liu, 2023).

Αποτελεί στην πραγματικότητα μια σύνδεση του φυσικού κόσμου με χρήση αισθητήρων και εργαλείων καταγραφής δεδομένων, τα οποία μεταδίδει μέσω του διαδικτύου και του Υπολογιστικού Σύννεφου (Cloud Computing) στον χρήστη και παράλληλα τον υποστηρίζει στην ανάλυσή τους και στη λήψη αποφάσεων. Ο όρος Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things) έχει δημιουργηθεί από κάποια στελέχη εταιριών όταν ήθελαν κάπως να ονομάσουν την παρακολούθηση κατάστασης διάφορων διαδικασιών με χρήση αισθητήρων αλλά και του διαδικτύου (Khurshid, et al., 2023). Σύμφωνα με τους (Khurshid, et al., 2023), η αρχιτεκτονική του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things), αποτελείται από 5 στρώματα.

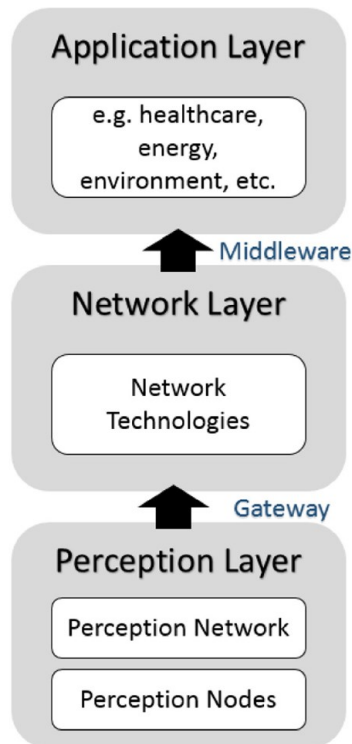
Στη συγκεκριμένη εργασία όμως εδώ διατυπώθηκε η λειτουργία της τεχνολογίας αυτής με μοντέλο τριών στρωμάτων. Υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις για το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things), και εδώ επιλέχθηκε η συγκεκριμένη διότι είναι σύντομη και περιεκτική.

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things) σύμφωνα με τους (Jia, et al., 2019) αποτελεί μια τεχνολογία που συνδυάζει τριπλή «όραση». «Όραση» μέσω των πραγμάτων, δηλαδή των αισθητήρων που συλλέγουν τα δεδομένα, «όραση» μέσω του διαδικτύου που μεταδίδει τα δεδομένα και «όραση» μέσω της γνώσης, δηλαδή του Υπολογιστικού Σύννεφου (Cloud Computing) όπου αποθηκεύονται τα δεδομένα. Έτσι τελικά ο χρήστης λαμβάνει μια ολιστική επίβλεψη της κατάστασης του συστήματος που θέλει να παρακολουθήσει (ενός έξυπνου σπιτιού ή ακόμα και μιας εφοδιαστικής αλυσίδας για παράδειγμα). Η οπτική επαφή από την πλευρά του χρήστη αποτελεί την τέταρτη «όραση» του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things), όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.8.



Εικόνα 2.8: Τα 4 βασικά στοιχεία όρασης του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things) (Jia, et al., 2019)

Η λήψη δεδομένων γίνεται μέσω αισθητήρων και καμερών. Το βασικό μέσον είναι οι αισθητήρες RFID (Radio Frequency Identification – Αναγνώριση μέσω ραδιοσυχνότητας), οι οποίοι με τη συναλλαγή δεδομένων ανάμεσα σε ενεργό και παθητικό στέλεχος, ανοίγουν ένα τεράστιο φάσμα εφαρμογών για παρακολούθηση, συλλογή δεδομένων για κινητά αντικείμενα και πολλά άλλα. Για αυτό το λόγο αναλύεται μαζί με το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things).



Εικόνα 2.9: Τα 3 στρώματα της αρχιτεκτονικής του του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things)

Τα τρία στρώματα στην αρχιτεκτονική του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things) και άρα οι τρεις βασικές λειτουργίες που επιτελεί είναι (Jia, et al., 2019):

1. Το στρώμα «Αντίληψης» - εκεί γίνεται η συλλογή των δεδομένων από τον φυσικό κόσμο, μέσω RFID και άλλων αισθητήρων, καμερών και GPS.
2. Το στρώμα του «Δικτύου» - είναι ο πυρήνας της μετάδοσης αλλά και επεξεργασίας των δεδομένων μέσω Wi-Fi, Bluetooth και άλλων τεχνολογιών συνδεσιμότητας.

3. Το στρώμα της «Εφαρμογής» - εκεί όπου θα καταλήξουν τα δεδομένα και θα αναλυθούν με χρήση Αναλυτική Μεγάλων Δεδομένων (Big Data Analytics) και Μηχανικής Μάθησης (Machine Learning). Έτσι εξάγονται συμπεράσματα και γίνεται υποστήριξη αποφάσεων.

2.4.2 Εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things) στον κατασκευαστικό τομέα

Οι εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things) είναι πραγματικά ανεξάντλητες και μπορεί κανείς να βρίσκει συνεχώς νέους τρόπους να τα αξιοποιεί προς όφελός του. Παρακάτω έγινε μια κατά το δυνατόν κάλυψη των βασικότερων εφαρμογών της τεχνολογίας του του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things) στον κατασκευαστικό τομέα. Γίνεται και αναφορά σε εφαρμογές όπου το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things) συνεργάζεται με το BIM και παρέχει ένα ακόμα σύνολο χρήσιμων εφαρμογών (Tanga, et al., 2019).

Εφαρμογές κατά την φάση της κατασκευής

Επίγνωση τοποθεσίας κάθε μηχανήματος, εξοπλισμού και εργάτη στο εργοτάξιο, οπότε επίβλεψη, παρακολούθηση και άμεση επιδιόρθωση και ταυτόχρονα καταγραφή συμπεριφοράς εργατών (Tanga, et al., 2019).

Αύξηση ασφάλειας και παρακολούθηση ατυχημάτων εργατών στο εργοτάξιο, με εφαρμογή αισθητήρων πάνω σε αυτούς και άμεση ενημέρωση του διευθυντή του εργοταξίου για πιθανό ατύχημα (Khurshid, et al., 2023).

Παρακολούθηση τοποθεσίας φορτηγών και άλλων οχημάτων, έλεγχος τοποθεσίας, κατάστασης και δραστηριότητάς τους (Khurshid, et al., 2023).

Παρακολούθηση τους στεγνώματος του σκυροδέματος με ειδικούς αισθητήρες με αποτέλεσμα καλύτερο προγραμματισμό και μείωση καθυστερήσεων (Khurshid, et al., 2023).

Άμεση ενημέρωση εργατών για πιθανή σύγκρουση με κάποιο όχημα ή πρόβλεψη άλλου ατυχήματος και προειδοποίησή του με δόνηση συσκευής και χρήση αισθητήρων RFID (Kanan, et al., 2017)

Ανάλυση δεδομένων από ατύχημα που έγινε και έτσι πρόβλεψη και καλύτερη διαχείριση κινδύνου για επόμενα ατυχήματα (Kanan, et al., 2017)

Με συνδυασμό του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things), του BIM και Εικονικής Πραγματικότητας (Virtual Reality), μπορεί ο χρήστης να κάνει πλήρη παρακολούθηση και επίβλεψη του εργοταξίου στην τρέχουσα κατάσταση σε ζωντανό χρόνο. Επίσης μέσα από αυτή τη συνεργασία τεχνολογιών γίνεται δυνατός ο αυτοματοποιημένος χειρισμός μηχανημάτων (Tanga, et al., 2019).

Η εφαρμογή του BIM στην παρακολούθηση της εξέλιξης του έργου, γίνεται με χειροκίνητη εισχώρηση δεδομένων από άνθρωπο. Με την προσθήκη του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things) υπάρχει η δυνατότητα αυτοματοποιημένης ενημέρωσης της προόδου και ενημέρωση του προγραμματισμού. Η πλήρης αυτοματοποίηση αυτής της διαδικασίας είναι ακόμα σε πειραματικά στάδια (Tanga, et al., 2019).

Παρόμοια είναι η κατάσταση για την επίτευξη «Lean Construction», όπου με τη χρήση των δεδομένων από τους αισθητήρες μπορεί να γίνει βελτιστοποίηση των διαδικασιών και αυτοματοποίησή τους (Tanga, et al., 2019).

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things) μπορεί επίσης να υποστηρίξει την νέα τεχνολογία της Προκατασκευής Εκτός Εργοταξίου (Off-site Construction) (που έχει αναλυθεί στο κεφάλαιο των συμπληρωματικών τεχνολογιών). Με την συλλογή δεδομένων και τους αισθητήρες σχετικής θέσης μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στην λήψη αποφάσεων, στην ακρίβεια της εγκατάστασης, στον προγραμματισμό, στην ασφάλεια, στην πρόβλεψη λαθών και στην επίβλεψη (Zhaia, et al., 2019).

Εφαρμογές κατά την φάση της λειτουργίας/συντήρησης

Υπάρχουν πολλές δυνατότητες που είτε επιτελεί άμεσα είτε έμμεσα, η τεχνολογία του «Διαδικτύου των Πραγμάτων» (Internet of Things). Αρχικά ένα πολύ μεγάλο κομμάτι είναι η υποστήριξη των «έξυπνων κτιρίων» (smart buildings) (Jia, et al., 2019):

Εσωτερική καθοδήγηση σε άτομα που δεν γνωρίζουν το κτίριο, μέσα από την παρακολούθηση της θέσης τους σε αυτό (Jia, et al., 2019).

Άμεσος εντοπισμός εξοπλισμού που θέλει συντήρηση και επιδιόρθωση μέσα στο κτίριο, εξοικονομώντας χρόνο (Jia, et al., 2019).

Παρακολούθηση συμπεριφοράς ατόμων μέσα στο κτίριο άρα πρόβλεψη ατυχημάτων και απίθανων συμβάντων (Jia, et al., 2019).

Βελτιστοποίηση ενεργειακής απόδοσης κτιρίου αλλά και βελτίωση άνεσης μέσα από ακριβή εντοπισμό του ατόμου και προσαρμογή των συνθηκών με βάση τη θέση του μέσα στο κτίριο (Jia, et al., 2019).

Καθοδήγηση ασθενούς μέσα σε νοσοκομείο ώστε να διανύσει τη μικρότερη απόσταση για να φτάσει στον προορισμό του (Jia, et al., 2019).

Εξοικονόμηση ενέργειας μέσω αισθητήρων κατανάλωσης και προσαρμογής σε εξωτερικές καιρικές συνθήκες και πληθυσμό ατόμων στο κάθε δωμάτιο (Jia, et al., 2019).

Άμεση και σε ζωντανό χρόνο πρόσβαση σε δεδομένα λειτουργίας του κτιρίου για πιο αποδοτική συντήρηση, με μείωση κόστους, χρόνου και ενεργειακής κατανάλωσης (Jia, et al., 2019).

Υποστήριξη σε περίπτωση ανάγκης (φωτιά, σεισμός κτλ.) όπου μέσω των αισθητήρων μπορούν να εντοπιστούν εγκλωβισμένα άτομα, είτε να κατευθυνθούν στην έξοδο κινδύνου από την κοντινότερη διαδρομή (Tanga, et al., 2019).

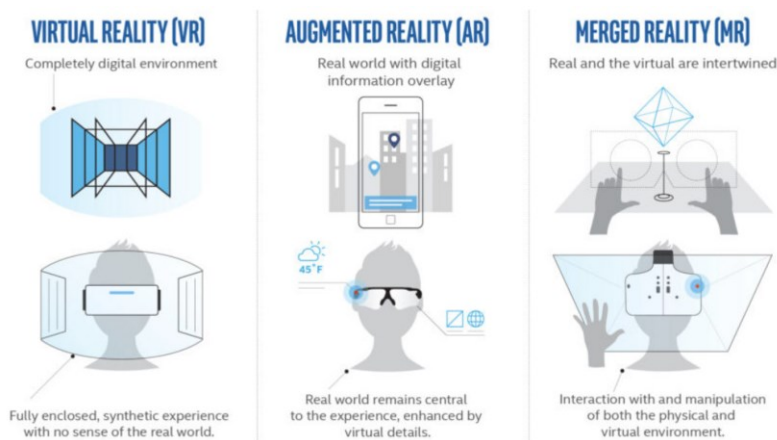
2.5 Εικονική, Επαυξημένη και Μικτή Πραγματικότητα - Εκτεταμένη Πραγματικότητα (Virtual, Augmented and Mixed Reality – VR, AR, MR - Extended Reality)

2.5.1 Εξήγηση τεχνολογιών Εκτεταμένης Πραγματικότητας (Extended Reality)

Αρχικά έγινε μια επεξήγηση των όρων της τεχνολογίας αυτής, επειδή υπάρχει μια γενικότερη σύγχυση αυτών. Η ονομασία Εκτεταμένη Πραγματικότητα (Extended Reality) είναι ένας όρος «ομπρέλα» που περιλαμβάνει τις τρεις επόμενες τεχνολογίες (Hill, 2022) και φαίνονται για λόγους σαφήνειας και στην εικόνα 2.10:

- VR – Εικονική Πραγματικότητα (Virtual Reality) είναι η τεχνολογία που είτε με ειδικά γυαλιά είτε με οποιαδήποτε οθόνη, θέτει τον χρήστη σε έναν πλήρως ψηφιακό κόσμο με τον οποίο μπορεί να αλληλεπιδράσει.
- AR – Επαυξημένη Πραγματικότητα (Augmented Reality) είναι η τεχνολογία που θέτει τον χρήστη στο πραγματικό περιβάλλον εμπλουτισμένο όμως με ψηφιακά στοιχεία, με τα οποία δεν μπορεί όμως να αλληλεπιδράσει.
- MR – Μικτή Πραγματικότητα (Mixed or Merged Reality) είναι η τεχνολογία που θέτει τον χρήστη στο πραγματικό περιβάλλον εμπλουτισμένο με ψηφιακά στοιχεία, με τα οποία μπορεί να αλληλεπιδράσει.

Επειδή η εργασία αφορά τον κατασκευαστικό τομέα, εξετάστηκαν κυρίως οι περιπτώσεις Εικονικής Πραγματικότητας (Virtual Reality) και Επαυξημένης Πραγματικότητας (Augmented Reality), που έχουν τις περισσότερες εφαρμογές.



Εικόνα 2.10: VR – AR – MR (Applied Art & Technology, 2017)

2.5.2 Εφαρμογές στον κατασκευαστικό τομέα

Εφαρμογές κατά τη φάση της μελέτης

Με χρήση εφαρμογής Επαυξημένης Πραγματικότητας (Augmented Reality) μπορεί να γίνει ζωντανά και εύκολα και γρήγορα κατανοητή η εξέλιξη του έργου, κάτι που βοηθά στον χρονικό προγραμματισμό και στην παρακολούθηση της προόδου του. Παρατίθεται η τρέχουσα πραγματική κατάσταση του έργου (as-built) και το προγραμματισμένο για τη συγκεκριμένη ημερομηνία σχέδιο, επιτρέποντας εύκολα τη σύγκριση (Ahmed, 2019).

Η τεχνολογία Εικονικής Πραγματικότητας (Virtual Reality), χρησιμοποιείται στην οπτικοποίηση του έργου πριν αυτό καν ξεκινήσει να υλοποιείται. Έτσι καθίσταται δυνατή η προβολή του σε ενδιαφερόμενα μέρη, διευκολύνει τον προγραμματισμό του έργου. Προβάλλει ρεαλιστικά το έργο και δίνει τη δυνατότητα αξιολόγησης του κατά πόσο το έργο είναι δυνατό να κατασκευαστεί και κατά πόσο είναι δυνατή η υλοποίησή του. Επίσης συντελεί στην μείωση της προσπάθειας κατανόησης του σχεδιασμού από εργάτες και του κόστους (Ahmed, 2019).

Εφαρμογές κατά τη φάση της κατασκευής

Η Επαυξημένη Πραγματικότητα (Augmented Reality) μπορεί να βοηθήσει πολύ σημαντικά στην βελτίωση της επικοινωνίας μεταξύ διαφορετικών ενδιαφερόμενων μερών όσον αφορά το εργοτάξιο, την πρόοδο του έργου και τη διεύθυνση του έργου. Με χρήση της Επαυξημένης Πραγματικότητας (Augmented Reality) μπορούν τα ενδιαφερόμενα μέρη να συλλέξουν πολύ αποδοτικά πληροφορία από το εργοτάξιο, να ενημερώσουν την τρέχουσα κατάσταση και να μεταδώσουν την πληροφορία άμεσα σε άτομα διαφορετικού τομέα (παραδείγματος χάριν ο διευθυντής έργου στον εργολάβο) (Wen & Gheisari, 2020). Έτσι μειώνεται χρόνος και κόστος από πρόβλεψη λαθών.

Εξαιρετικά σημαντική εφαρμογή είναι η εκπαίδευση και η εξάσκηση των εργατών για αύξηση της ασφάλειας και μείωση των συχνών ατυχημάτων που συμβαίνουν καθημερινά στο εργοτάξιο. Αυτό γίνεται είτε με χρήση Επαυξημένης Πραγματικότητας (Augmented Reality) είτε Εικονικής Πραγματικότητας (Virtual Reality). Στην περίπτωση της Εικονικής Πραγματικότητας (Virtual Reality), ο χρήστης συμμετέχει σε ένα ψηφιακό παιχνίδι προσομοίωσης εργοταξίου που είτε βυθίζεται στο παιχνίδι με ειδικά γυαλιά είτε αυτό γίνεται σε απλό υπολογιστή. Έτσι, μαθαίνει μέσα από σενάρια πώς να χρησιμοποιεί σωστά τον εξοπλισμό και να χειρίζεται μηχανήματα, πώς να κινείται σωστά στο χώρο, να αποφεύγει κινδύνους και πολλά άλλα (Wang, et al., 2018). Στην περίπτωση της Επαυξημένης Πραγματικότητας (Augmented Reality) η εκπαίδευση γίνεται στο πραγματικό εργοτάξιο όπου ο εργάτης υποστηρίζεται στις δραστηριότητές του με ειδικά γυαλιά Επαυξημένης Πραγματικότητας (Augmented Reality), παραδείγματος χάριν. Ο εργάτης εκτελεί τις εργασίες του αλλά παράλληλα του τονίζονται λάθη, του δίνονται οδηγίες, ή του επισημαίνονται περιοχές κινδύνου, όλα σε ζωντανό χρόνο (Ahmed, 2019). Έτσι οι εργάτες θα διαμορφώσουν μηχανισμούς και θα ξέρουν πως να αντιμετωπίσουν πιθανούς κινδύνους όταν βγουν μόνοι τους στο πραγματικό εργοτάξιο.

Αντίστοιχα σημαντική και συνυφασμένη με την εκπαίδευση των εργατών, είναι η διασφάλιση της ασφάλειας στο εργοτάξιο. Είναι η προέκταση του προηγούμενου, καθώς δεν είναι ανάγκη οι εργάτες να είναι τελικά «μόνοι» στο εργοτάξιο. Μπορούν να φορούν ειδικά γυαλιά τα οποία συνεχώς θα τους τονίζουν κινδύνους και θα επισημαίνουν απροσεξίες που εκείνοι ακούσια πραγματοποιούν και πιθανόν να τους προκαλέσουν ατύχημα. Παράλληλα μέσα από αυτό το σύστημα δέχονται καθοδήγηση για την σωστότερη και ασφαλέστερη ολοκλήρωση κάθε διαδικασίας (Xiao Lia, et al., 2018). Ένα παράδειγμα είναι ο χειρισμός γερανού.

Με χρήση Επαυξημένης Πραγματικότητας (Augmented Reality) και Εικονικής Πραγματικότητας (Virtual Reality) γίνεται δυνατή η επίβλεψη ποιότητας και η διάγνωση ελαττωμάτων με πολύ πιο άμεσο, αποδοτικό και ακούραστο για τον επιβλέποντα του εργοταξίου. Το σύστημα ενημερώνεται από την εκάστοτε τρέχουσα κατάσταση του BIM και αναγνωρίζει διαφορές του κτισμένου μέχρι τότε έργου (as-built), με αποτέλεσμα να επισημαίνει λάθη ή παραλείψεις ώστε αυτές να διορθωθούν προτού παραδοθεί το έργο (Ahmed, 2019). Για να πραγματοποιηθεί αυτό, ο επιβλέπων του εργοταξίου πραγματοποιεί μια διαδικασία ελέγχου σε ζωντανό χρόνο στο εργοτάξιο, όπου μέσα από την επικοινωνία του με εργάτες κατορθώνει να επιθεωρήσει την ποιότητα σημαντικών διεργασιών. Αυτό προϋποθέτει συντονισμένη χρήση BIM, Επαυξημένης Πραγματικότητας (Augmented Reality) και ζωντανή λήψης εικόνων από τους εργάτες με χρήση Φορητών Υπολογιστών (Mobile Computing) (Park, et al., 2012). Έτσι ανεβαίνει επίπεδο η ποιότητα της παράδοσης του έργου.

Πέρα από την απλή εξέταση ελαττωμάτων οι τεχνολογίες αυτές υποστηρίζουν και κάποιες εργασίες στο εργοτάξιο. Για παράδειγμα, μπορεί να είναι ο έλεγχος ποιότητας μιας εκσκαφής, η επιβεβαίωση σωστών διαστάσεων, η σωστή τοποθέτηση και ευθυγράμμιση καλωδίωσης, εξακρίβωση κοπής, σύνδεσης υλικών και εξαρτημάτων (Shin & Dunston, 2008).

Αποδοτικότερη διαχείριση χρόνου και κόστους και εξοικονόμηση αυτών των μεταβλητών. Έχει αποδειχθεί ότι με χρήση τεχνολογιών Επαυξημένης Πραγματικότητας (Augmented Reality) οι Διευθυντές Έργων (Project Managers) μπορούν να αποφύγουν κόστη σφαλμάτων και παρερμηνειών στα σχέδια που κοστίζουν σε χρόνο. Έτσι δεν χρειάζεται να πληρώσουν υπερωρίες ούτε να μείνει πίσω το πρόγραμμα (Ahmed, 2019).

Εφαρμογές κατά τη φάση της λειτουργίας/συντήρησης

Η τεχνολογία Εικονικής Πραγματικότητας (Virtual Reality) μπορεί να μειώσει την προσπάθεια και το κόστος της συντήρησης ενός έργου παρέχοντας οπτικοποίηση του (Ahmed, 2019).

Και οι δύο τεχνολογίες παρέχουν τη δυνατότητα απομακρυσμένης παρακολούθησης και ζωντανής ψηφιακής «παρουσίας» των ενδιαφερόμενων μερών μέσα στο ολοκληρωμένο έργο. Έτσι υποστηρίζεται η διαδικασία λήψης αποφάσεων, αποφεύγονται οι παρερμηνείες οπότε οι απαιτήσεις του πελάτη πληρούνται άμεσα, ακούραστα και με ελάχιστο περιθώριο λάθους (Wen & Gheisari, 2020). Αυτό και πάλι οδηγεί σε μείωση κόστους και χαμένου χρόνου.

2.6 Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence)

2.6.1 Η Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence)

Όπως έχει γίνει κατανοητό μέσω της συγκεκριμένης εργασίας, οι τεχνολογίες της Κατασκευής 4.0 (Construction 4.0) σχετίζονται μεταξύ τους και συμπληρώνουν η μία την άλλη. Έτσι και η Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence), που αποτελεί βασική τεχνολογία του Βιομηχανίας 4.0 (Industry 4.0), έχει παρακλάδια στην όραση υπολογιστών (computer vision), στα Ρομποτικά Μηχανήματα (Robotics), στη Μηχανική Μάθηση (Machine Learning) και σε άλλες υποκατηγορίες (Abioye, et al., 2021). Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο αναλύθηκαν οι εφαρμογές της Τεχνητής Νοημοσύνης (Artificial Intelligence) και της Μηχανικής Μάθησης (Machine Learning).

Η Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence) είναι ένα παρακλάδι της επιστήμης των υπολογιστών η οποία δίνει τη δυνατότητα τους υπολογιστές να εκτελούν ανθρώπινες εργασίες, να επεξεργάζονται ανθρώπινα δεδομένα, να έχουν αντίληψη, λογική και ικανότητες λήψης αποφάσεων και επίλυσης προβλημάτων (Zhang, et al., 2021). Με τη χρήση Μεγάλων Δεδομένων (Big Data) και Μηχανικής Μάθησης (Machine Learning) μπορεί η Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence) να συνεισφέρει στην κατασκευαστική βιομηχανία με διάφορες προηγμένες εφαρμογές.

2.6.2 Εφαρμογές της Τεχνητής Νοημοσύνης (Artificial Intelligence) στον κατασκευαστικό τομέα

Εφαρμογές κατά τη φάση της μελέτης

Αυτοματοποίηση του σχεδιασμού κατά BIM. Η Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence) μπορεί να αυτοματοποιήσει τη διαδικασία σχεδιασμού σε BIM και να απαλείψει την απαίτηση ειδικού χειριστή (Pan & Zhang, 2023).

Επεξήγηση του BIM. Η τεχνητή νοημοσύνη (artificial intelligence) μπορεί να διαβάσει και να κατανοήσει το σχέδιο BIM και να δημιουργήσει μια αξιολόγηση για καλύτερη κατανόηση αλλά και βελτίωση. Επίσης μπορεί να μεγιστοποιήσει την αξία του συνεργατικού BIM όπου μπορεί να ενσωματώσει σχέδια από πολλούς συμμετέχοντες και να καταλήξει στην καλύτερη δυνατή λύση (Pan & Zhang, 2023).

Εφαρμογές κατά τη φάση της κατασκευής

Αυτοματοποίηση πρόβλεψης λαθών μαζί με το BIM. Η τεχνητή νοημοσύνη (artificial intelligence) μπορεί να πάει τα οφέλη του BIM ένα επίπεδο παραπάνω, καθώς αυτοματοποιεί κάθε εφαρμογή του χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση. Η τεχνητή νοημοσύνη (artificial intelligence) μπορεί να διαβάσει το BIM, να αναγνωρίσει, να επισημάνει τα πιο επικίνδυνα ζητήματα και να παράξει μέτρα πρόληψης μειώνοντας σημαντικά το κόστος και το try-and-error (Pan & Zhang, 2023).

Βελτιστοποίηση μεταφορών και διαχείρισης υλικών στο εργοτάξιο. Ο συνδυασμός του 4D – BIM, δηλαδή του BIM με ενσωματωμένο το χρονικό προγραμματισμό και της τεχνητής νοημοσύνης (artificial intelligence) με χρήση προσομοιώσεων μπορούν να βρεθούν οι βέλτιστες λύσεις μεταφορών υλικών και να αποφευχθούν επικαλύψεις και λάθη, βελτιώνοντας την αποδοτικότητα (Pan & Zhang, 2023).

Αυτόματη πρόβλεψη ατυχημάτων και διαχείριση ασφάλειας και υγείας στο εργοτάξιο. Ο συνδυασμός πολλών δεδομένων και οι δυνατότητες της τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να προβλέψουν και έτσι να αποτρέψουν ατυχήματα στο εργοτάξιο (Abioye, et al., 2021).

Αυτοματοποίηση των κατασκευαστικών συμβάσεων. Η τεχνητή νοημοσύνη (artificial intelligence) έχει τη δυνατότητα να αναλύσει και να κατανοήσει συμβόλαια, ακόμα και να τα διαχειριστεί πλήρως μειώνοντας σημαντικά τα λάθη, το κόστος, το χρόνο, την πιθανή απώλεια καλής φήμης και αυξάνοντας την αποδοτικότητα και την ακρίβεια των συμβολαίων (Abioye, et al., 2021). Επίσης μπορεί να γίνει ανάγνωση συμβάσεων, αλλά και άλλων εγγράφων του έργου που πιθανόν είναι μεγάλης έκτασης και πολύ χρονοβόρα για το διευθυντή έργου να τα μελετήσει. Οπότε η τεχνητή νοημοσύνη (artificial intelligence) μπορεί να δώσει με ευκολία πολλές πληροφορίες στον διευθυντή έργου αναφορικά με αυτά τα έγγραφα, να τον υποστηρίξει στη λήψη αποφάσεων (Χυ, et al., 2021). Συνεπώς, συντελεί στη μεγάλη μείωση χρόνου, αύξηση αποδοτικότητας και ποιότητας αποφάσεων.

Εφαρμογές κατά τη φάση της λειτουργίας/συντήρησης

Αυτοματισμός διαχείρισης λειτουργίας και συντήρησης έργου. Η άντληση δεδομένων από διάφορες τεχνολογίες της Κατασκευής 4.0 (Construction 4.0), όπως το BIM, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things) και το Υπολογιστικό Νέφος (Cloud Computing) μπορεί να τροφοδοτήσει την Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence). Έτσι, μπορούν να αναγνωριστούν αυτόματα και να προβλεφθούν ρίσκα στα μηχανήματα ή στο ίδιο το κτίριο, αλλά και συντηρήσεις να γίνουν πριν καν να είναι ανάγκη (Pan & Zhang, 2023).

2.7 Ρομποτικά Μηχανήματα και Αυτοματισμοί (Robotics and Automation)

2.7.1 Τα Ρομποτικά Μηχανήματα στον κατασκευαστικό τομέα

Τα Ρομποτικά Μηχανήματα (Robotics) είναι μια ευρέως γνωστή τεχνολογία, που κυρίως έχει συντελέσει στην αυτοματοποίηση της παραγωγής στα εργοστάσια, αλλά που έχει και εφαρμογές σε πολλούς άλλους τομείς. Τώρα για τον κατασκευαστικό τομέα η κατάσταση είναι διαφορετική και πιο περίπλοκη. Το περιβάλλον ενός εργοταξίου είναι δυναμικό, αλλάζει συνεχώς, επηρεάζεται από εξωτερικές συνθήκες και παράγοντες και γενικά οι παράμετροι ελέγχου του πολλές και απρόβλεπτες. Για αυτό και τα Ρομποτικά Μηχανήματα (Robotics) που είναι στον κατασκευαστικό τομέα είναι προσαρμοσμένα σε αυτόν και σχεδιασμένα να επιτελούν συγκεκριμένες διεργασίες. Υπάρχουν και δυνατότητες εξέλιξης των Ρομποτικών Μηχανημάτων (Robotics) με όραση υπολογιστών (computer vision) και Μηχανική Μάθηση

(Machine Learning), ώστε να επιτελούν σε πλήρη αυτοματοποίηση διεργασίες πάσης φύσεως (Xu & Soto, 2020). Υπάρχουν επίσης δυνατότητες αναβάθμισης ήδη υπαρχόντων μηχανημάτων με αισθητήρες, κάμερες, GPS και με πληροφορίες από το BIM και τον χρονικό προγραμματισμό (4D-BIM). Σε κάθε περίπτωση, οι εφαρμογές που εξετάζουμε αφορούν Ρομποτικά Μηχανήματα (Robotics) τα οποία αξιοποιούν τα ψηφιακά εργαλεία του Construction 4.0 για να επιτελέσουν τις εργασίες τους.

Η λειτουργία των Ρομποτικών Μηχανημάτων (Robotics) στο εργοτάξιο μπορεί να χαρακτηριστεί πολύ σημαντική καθώς βοηθά στην αποφυγή ατυχημάτων, μειώνει τον κίνδυνο για δύσκολες εργασίες από τους εργάτες αλλά και την έκθεσή τους σε επικίνδυνα περιβάλλοντα και αέρια. Παράλληλα συντελεί στην αυτοματοποίηση του εργοταξίου, στην επίτευξη σταθερά υψηλής ποιότητας, στη μείωση σφαλμάτων και κόστους.

Παρακάτω αναγνωρίστηκαν διάφορα είδη Ρομποτικών Μηχανημάτων (Robotics) συγκεκριμένα για χρήση στον κατασκευαστικό τομέα. Γενικότερα, τα Ρομποτικά Μηχανήματα (Robotics) εκτελούν τις εργασίες τους είτε στο εργοτάξιο, είτε εκτός εργοταξίου. Η δεύτερη περίπτωση κατατάσσεται στην τεχνολογία Προκατασκευής Εκτός Εργοταξίου (Off-site Construction) και έχει αναλυθεί σε άλλο κεφάλαιο. Το συγκεκριμένο κεφάλαιο επικεντρώνεται στις εφαρμογές των Ρομποτικών Μηχανημάτων (Robotics) που εκτελούνται ζωντανά στο εργοτάξιο (on-site):

2.7.2 Εφαρμογές

Εφαρμογές κατά την φάση της κατασκευής

Αυτοματοποιημένη συγκόλληση χάλυβα, πετυχαίνοντας τέλεια ποιότητα και ταυτόχρονα προστατεύοντας τον εργάτη από τους κινδύνους της συγκόλλησης (Saidi, et al., 2016).

Ενίσχυση σκυροδέματος με τοποθέτηση ράβδων οπλισμού από τηλεχειριζόμενο ρομπότ (Saidi, et al., 2016).

Αυτοματοποιημένος διαμοιρασμός σκυροδέματος (Saidi, et al., 2016).

Φινιρίσματα (finishings) του κτιρίου, όπως το φινίρισμα του δαπέδου από σκυρόδεμα, όπου το ρομπότ αναλαμβάνει να ομαλοποιήσει το δάπεδο αφού έχει εγχυθεί το σκυρόδεμα (Vähä, et al., 2013)

Αυτοματοποιημένη εργασία εκσκαφής. Γίνεται αυτοματοποίηση και μετατροπή μηχανημάτων εκσκαφής, μπουλντόζων, και γερανών που επιτελούν εργασίες εκσκαφής, μεταφοράς γης. Μάλιστα ορισμένα αυτοματοποιημένα φορτηγά έχει αποδειχθεί πρακτικά ότι φορτώνουν με την ίδια ταχύτητα όσο οι άνθρωποι (Vähä, et al., 2013). Υπάρχουν και αναδυόμενες τεχνολογίες με αυτόματα ρομπότ κατασκευασμένα για αυτό το λόγο και όχι αναβαθμισμένες ήδη υπάρχουσες μηχανές, αλλά είναι ακόμα σε αρχικά στάδια, για παράδειγμα χτίσιμο με εκτόξευση σκυροδέματος σε εξωγήινα περιβάλλοντα (Melenbrink, et al., 2020)

Επίβλεψη και παρακολούθηση εργοταξίου με ειδικά ρομπότ, εξοπλισμένα με διάφορους αισθητήρες, όπως Σαρωτές Λείζερ (Laser Scanners), σαρωτές LiDAR, κάμερες, αισθητήρες μαγνητικού πεδίου και GPS (Balzan, et al., 2022).

Αυτόματη τοποθέτηση τούβλων. Ρομπότ που τροφοδοτείται με τούβλα και τα τοποθετεί αυτόματα. Μια απλή επαναληπτική διαδικασία που γίνεται εύκολα από ρομπότ. Το επόμενο βήμα (πειραματικό στάδιο) είναι η σύνθεση νέων μεγαλύτερων τούβλων (block) συμβατών μόνο με τα ρομπότ για ακόμα γρηγορότερη και ακριβέστερη ολοκλήρωση της εργασίας αυτής (Balzan, et al., 2022).

Ρομπότ για τα μεταφορικά εντός του εργοταξίου (site logistics robot) και διαχείριση υλικών (material handling). Ρομπότ τα οποία βελτιστοποιούν τις μεταφορές υλικών από σημείο σε σημείο με βάση το BIM αλλά και τον προγραμματισμό του έργου (Balzan, et al., 2022).

Κατασκευή θεμελίων από σκυρόδεμα (footing), καθώς και δημιουργία βαθιάς θεμελίωσης με εισχώρηση πασσάλων μέσα στο έδαφος από ειδικό μηχάνημα αυτοματοποιημένου σφυριού (Melenbrink, et al., 2020).

Κατασκευή/συναρμολόγηση σύνθετων δομών με αυτοματοποιημένη διαδικασία τοποθέτησης ειδικών μπλοκ (Melenbrink, et al., 2020). Παρόμοια εφαρμογή είναι η κατασκευή ολόκληρου συναρμολογημένου τοίχου από ρομπότ που λαμβάνει πληροφορίες από ψηφιακό σχέδιο (πλαίσιο ROCCO - Robot Assembly System for Computer Integrated Construction) (Vähä, et al., 2013).

Ακόμα μια εφαρμογή είναι το βάψιμο από ρομπότ με ψεκασμό (Vähä, et al., 2013). Με ψεκασμό γίνεται και η επικάλυψη των επιφανειών με πυρίμαχη επίστρωση (Saidi, et al., 2016).

Τοποθέτηση πρόσοψης κτιρίου (façade) όπως πάνελ τζαμιών η εξωτερικούς τοίχους και επιφάνειες από ρομπότ (Saidi, et al., 2016).

Αυτόματη χάραξη δαπέδων. Υπάρχουν ειδικά ρομπότ που μπορούν να επιτελέσουν την εργασία της χάραξης δαπέδου (floor marking), με βάση τα στοιχεία από αρχεία BIM, προσφέροντας εξαιρετική ακρίβεια και ευκολία. Μπορούν ακόμη και να σηματοδοτήσουν θέση τοποθέτησης αγωγών, ύψος εγκατάστασης εξοπλισμού, πάνω σε επιφάνειες (Balzan, et al., 2022).

Εφαρμογές κατά τη φάση της λειτουργίας/συντήρησης

Φινιρίσματα εσωτερικών χώρων κτιρίου. Υπάρχουν ειδικά ρομπότ που σκοπό έχουν την επισκευή και διαμόρφωση εσωτερικού χώρου κτιρίων, όπως είναι η τοποθέτηση/αλλαγή των πάνελ στο ταβάνι, τοποθέτηση γυάλινων τζαμιών, κουφωμάτων πόρτας και παραθύρων (Saidi, et al., 2016).

Συντήρηση δρόμων. Επιδιόρθωση ρωγμών και λακούβων στο δρόμο με αυτοματοποιημένο τρόπο από ειδικό ρομποτικό μηχάνημα (Saidi, et al., 2016).

Εφαρμογές κατά τη φάση της κατεδάφισης/ανακατασκευής

Ρομπότ ελεγχόμενης κατεδάφισης κτιρίου και υποστήριξη ανακύκλωσης ή/και επαναχρησιμοποίησης στοιχείων της οικοδομής. Τα δομημένα στοιχεία του έργου αποσυναρμολογούνται από ειδικά ρομποτικά μηχανήματα τηλεχειριζόμενα από εξειδικευμένο χειριστή. Έτσι είναι δυνατή η αποφυγή της πλήρους καταστροφής των εξαρτημάτων, υλικών και συναρμολογημάτων του κτιρίου με σκοπό να επανενταχθούν σε κάποιο άλλο έργο και παράλληλα η αποφυγή ρίσκου τραυματισμού εργατών (Saidi, et al., 2016).

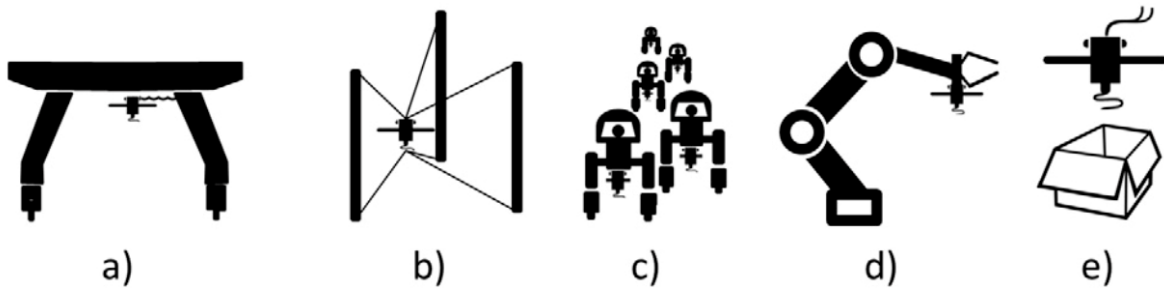
Υπάρχουν και μηχανήματα κατεδάφισης που χρησιμοποιούνται για ανακαίνιση και αναβάθμιση κτιρίων, τα οποία με ειδικό πίδακα νερού (water jet) και σκούπα κενού αέρος μπορούν να απομακρύνουν πολυκαιρισμένο σκυρόδεμα και να το ανανεώσουν με φρέσκο (Balzan, et al., 2022).

2.8 Τρισδιάστατη Εκτύπωση/Προσθετική Κατασκευή (3D-Printing/Additive Construction)

2.8.1 Εξήγηση της Τρισδιάστατης Εκτύπωσης (3D-Printing) στον κατασκευαστικό τομέα

Η Τρισδιάστατη Εκτύπωση (3D-Printing) είναι μια τεχνολογία που έχει εξελιχθεί πολύ τα τελευταία χρόνια και έχει φέρει την επανάσταση κυρίως στο κομμάτι της μαζικής παραγωγής αντικειμένων, εξαρτημάτων, ιατρικού εξοπλισμού και πολλών άλλων. Πρόσφατα έχει εισέλθει και στον κατασκευαστικό τομέα, στον οποίο θεωρείται από πολλούς ότι θα δώσει μεγάλη αξία. Όπως ορίζεται με βάση τους (Labonnote, et al., 2016), «η Προσθετική Κατασκευή είναι η διαδικασία ένωσης υλικών προς δημιουργία κατασκευών από ένα τρισδιάστατο μοντέλο». Αυτό σημαίνει ότι η παραγωγή, ο σχεδιασμός και η συναρμολόγηση ελέγχονται ως ένα βαθμό ψηφιακά. Η αυτοματοποίηση, ο προγραμματισμός και ο ψηφιακός έλεγχος είναι και οι λόγοι για τους οποίους η Τρισδιάστατη Εκτύπωση (3D-Printing) κατατάσσεται στις τεχνολογίες του Construction 4.0.

Οι δύο όροι, Προσθετική Κατασκευή (Additive Construction) και Τρισδιάστατη Εκτύπωση (3D-Printing) για χρήση στις κατασκευές, μέσα από τη βιβλιογραφία, θεωρείται ότι είναι το ίδιο και το αυτό, οπότε για λόγους ευκολίας και απλότητας της μετάδοσης της πληροφορίας, αναφέρεται μόνο η Τρισδιάστατη Εκτύπωση (3D-Printing) και εννοώντας την τρισδιάστατη εκτύπωση στον κατασκευαστικό τομέα και όχι γενικά.



Εικόνα 2.11: Οι 5 κύριες κατηγορίες Τρισδιάστατης Εκτύπωσης (3D-Printing) (Labonnote, et al., 2016)

Διακρίνονται 5 κύριες κατηγορίες «Τρισδιάστατης Εκτύπωσης» (3D-Printing) στον κατασκευαστικό τομέα (Labonnote, et al., 2016) (όπως απεικονίζονται και στην εικόνα 2.11):

1. Ο «εκτυπωτής ασάλινου σκελετού» (gantry), δηλαδή στην πραγματικότητα ένας τρισδιάστατος εκτυπωτής τεραστίων διατάσεων, με τη διαφορά ότι εκβάλλει σκυρόδεμα αντί για πλαστικό.
2. «Πλατφόρμες αιωρούμενες από συρματόσχοινα» (cable-suspended platforms), που έχει δυνατότητα εκτύπωσης μερών ή ολόκληρων κτισμάτων, σε μεγάλα ύψη.
3. «Η προσέγγιση σμήνους» (swarm approach). Η συγκεκριμένη κατηγορία αφορά μικρά αυτόνομα ρομπότ, τα οποία κινούνται με τροχούς, είτε σε ράγες ή γραπώνοντας στο κτίριο και φέρουν κεφαλή εκτύπωσης. Αυτά είναι χρήσιμα σε περιστάσεις που δεν μπορεί να στηθεί κανονικός εκτυπωτής και κάνουν δουλειά σε δύσβατα σημεία.
4. «Ο ρομποτικός βραχίονας» (robotic arm). Αυτό αποτελεί έναν τρισδιάστατο εκτυπωτή πολλαπλού σκοπού που έχει μεγάλη ελευθερία κίνησης.
5. «Η προσέγγιση του ξεδιπλώματος και της αυτοσυναρμολόγησης» (folding and self-assembly), μια πολύ προηγμένη τεχνολογία που αφορά την εκτύπωση, όχι στρωμάτων υλικού όπως οι παραδοσιακοί εκτυπωτές, αλλά επιφανειών που με τον κατάλληλο καταλύτη θα ξεδιπλώσουν αυτόματα και θα σχηματίσουν μια κανονική δομή.

2.8.2 Εφαρμογές

Προς το παρόν η τεχνολογία της Τρισδιάστατης Εκτύπωσης (3D-Printing) είναι αρκετά περιορισμένη, σε πολλές περιπτώσεις σε πειραματικά στάδια και με μεγαλύτερη εφαρμογή στην Προκατασκευή εκτός Εργοταξίου (Off-site Construction). Υπάρχουν βέβαια εφαρμογές της αλλά σε συγκεκριμένες ειδικές περιπτώσεις και συνθήκες.

Εφαρμογές κατά την φάση της κατασκευής

Εκτύπωση κανονικού τοίχου κτιρίου σε στρώσεις σκυροδέματος (Freire, et al., 2020).

Κάποιες πραγματικές περιπτώσεις χρήσης της Τρισδιάστατης Εκτύπωσης (3D-Printing) φαίνονται στην εικόνα 2.12, ώστε να καταλάβει ο αναγνώστης πιο παραστατικά σε τι είδους έργα αξιοποιείται η τεχνολογία αυτή. Οι περιπτώσεις που φαίνονται στην εικόνα συνδέονται με τις παρακάτω εφαρμογές.

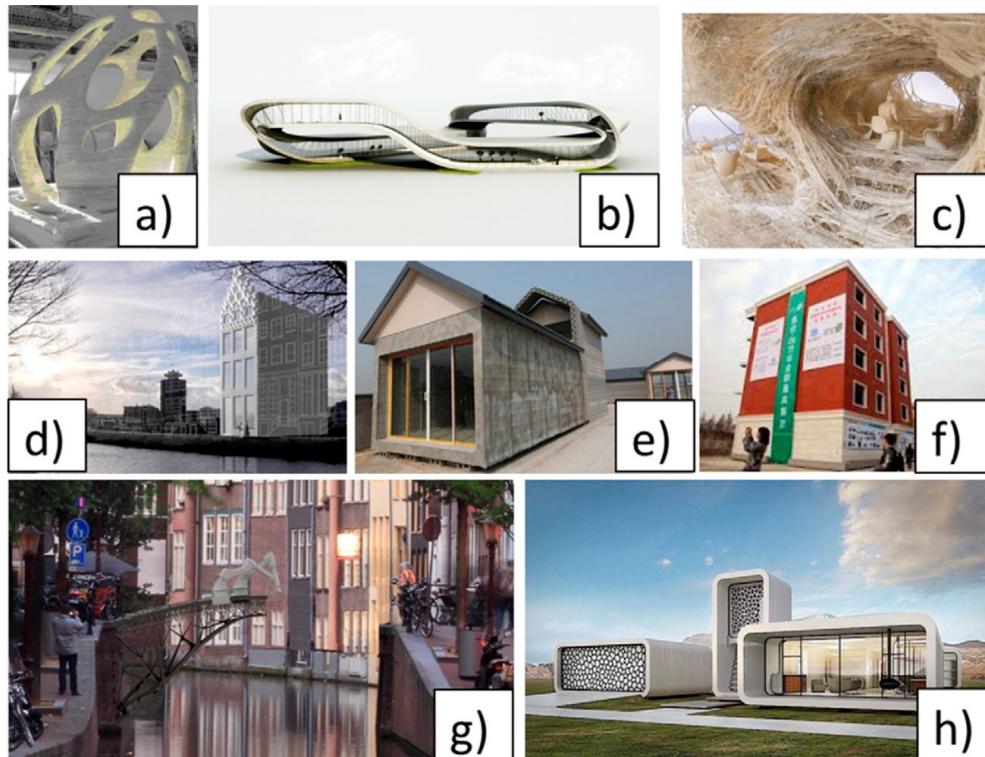
Κατασκευή πρωτοποριακών σχεδιασμών, ελεύθερης μορφής, που δεν θα ήταν δυνατό χωρίς τη χρήση τρισδιάστατων εκτυπωτών (Labonnote, et al., 2016).

Κατασκευή προσόψεων κτιρίων (façade) (Labonnote, et al., 2016).

Κατασκευή και δημιουργία εξατομικευμένων κτιρίων ή/και εξαρτημάτων χωρίς καθόλου περίσσεια υλικού και άρα χωρίς έξτρα κόστη (Labonnote, et al., 2016).

Επίσης, γίνεται δυνατή η βελτιστοποίηση του κτιρίου ενεργειακά και περιβαλλοντικά, καθώς μπορεί να γίνει προσαρμογή του πάχους της εκτύπωσης ανάλογα με τις ανάγκες του κτιρίου (παχύτερο τοίχωμα στο μέρος που δεν βρίσκει ο ήλιος) είτε κατασκευής ελαφρότερων κατασκευών με δημιουργία λεπτότερων σκελετών όπου χρειάζεται (Labonnote, et al., 2016).

Η κατασκευή σε δυσπρόσιτα μέρη (Labonnote, et al., 2016).



Εικόνα 2.12: Πραγματικές περιπτώσεις χρήσης Τρισδιάστατης Εκτύπωσης (3D-Printing) (Labonnote, et al., 2016)

2.9 Μη Επανδρωμένα Σκάφη (Unmanned Aerial Vehicles - UAV/Drones) & Σαρωτές Laser (Laser Scanners)

2.9.1 Μη Επανδρωμένα Σκάφη (UAVs) - Drones

Τα Μη Επανδρωμένα Σκάφη, (Unmanned Aerial Vehicles – UAVs), ή απλώς Drones, είναι ιπτάμενα σκάφη τα οποία αρχικά δημιουργήθηκαν για στρατιωτικούς σκοπούς. Τα σκάφη αυτά μπορούν να πετούν είτε με τηλεχειρισμό, είτε με συνδυασμό τηλεχειρισμού και κάποιων αυτοματοποιήσεων, είτε πλήρως αυτόνομα. Είναι μια ευρέως γνωστή τεχνολογία, αναπτυσσόμενη πολύ τα τελευταία χρόνια σε διάφορους τομείς (Zhou & Gheisari, 2018).

Στον κατασκευαστικό τομέα μπορούν να ανοίξουν την πόρτα για πολλές εφαρμογές, καθώς πέραν του ότι είναι εξοπλισμένα με κάμερες, υπάρχει δυνατότητα εξόπλισής τους με πληθώρα αισθητήρων αλλά και εργαλείων για εξυπηρέτηση των ανάλογων αναγκών. Μπορούν να εξοπλιστούν με GPS, LiDAR αισθητήρες, αισθητήρες θερμοκρασίας, αισθητήρες μαγνητικού πεδίου, αισθητήρες θερμικής απεικόνισης (θερμοκάμερες) και άλλα (Greenwood, et al., 2019).

Υπάρχει επίσης η δυνατότητα συνδυασμού της τεχνολογίας των Drones με αυτή των σαρωτών λέιζερ, όπου γίνεται εξόπλιση του Drone με αισθητήρες λέιζερ για εφαρμογές που έχουν αναλυθεί παρακάτω. Όλοι αυτοί οι αισθητήρες βοηθούν τα drones να συλλέξουν πολλά και πολύ σημαντικά δεδομένα για το εργοτάξιο, τα οποία μπορούν αργότερα να επεξεργαστούν από ειδικά λογισμικά και να αποδώσουν μεγάλης αξίας πληροφορίες και συμπεράσματα για το εργοτάξιο και τη διεύθυνση του έργου. (Siebert & Teizer, 2014).

2.9.2 Σαρωτές Λέιζερ (Laser Scanners)

Οι Σαρωτές Λέιζερ (Laser Scanners), είναι συσκευές που μετρούν αποστάσεις επιφανειών από στο οπτικό εύρος του αισθητήρα, οι οποίες μετά μπορούν να μετατραπούν σε ένα σύνολο σημείων σε τρισδιάστατο χώρο, γνωστό ως «σύννεφο σημείων» (point cloud), με ακρίβεια εκατοστών ή και χιλιοστών αναλόγως την ποιότητα της συσκευής, την απόσταση και τις επιφάνειες που μετρούνται. Για να γίνει μία πλήρης σάρωση (scan) ενός έργου, η συσκευή απαιτείται να τοποθετηθεί σε διάφορα σημεία του εργοταξίου. Ύστερα γίνεται μια επαλληλία των σημείων του σύννεφου με βάση ένα σταθερό σύστημα συντεταγμένων – διαδικασία γνωστή και ως «καταχώρηση» (registration) - και έτσι προκύπτει η τελική ολοκληρωμένη σάρωση (Xiong, et al., 2013).

Το «σύννεφο σημείων» είναι στην πραγματικότητα μια τρισδιάστατη αναπαράσταση του πραγματικού μοντέλου εκείνη τη στιγμή, οπότε γίνεται εύκολα αντιληπτό πόσες δυνατότητες μπορεί να ανοίξει αυτό σε συνεργασία με άλλες τεχνολογίες που έχουν αναλυθεί, όπως το BIM και τα Ψηφιακά Δίδυμα (Digital Twins).

2.9.3 Εφαρμογές των δύο τεχνολογιών στον κατασκευαστικό τομέα

Εφαρμογές κατά την φάση της μελέτης

Τοπογραφική αποτύπωση γης από drone. Τα drones εξοπλισμένα με ειδικές κάμερες μπορούν να συλλέξουν φωτογραφικά δεδομένα ενός κομματιού γης πολύ χρήσιμα για την αξιολόγησή του και την μελέτη πριν την έναρξη της κατασκευής, όπως αναφορές για το έδαφος, το εμβαδόν και άλλες διαστάσεις. Μπορεί να γίνει επίσης χαρτογράφηση και τοπογραφική αποτύπωση. Επίσης είναι δυνατή η αποτύπωση υπάρχοντος έργου (σε οποιαδήποτε σημείο προόδου του) με σκοπό την ανάλυση και επεξεργασία δεδομένων, την διάγνωση σφαλμάτων και την παρακολούθηση προόδου (Siebert & Teizer, 2014).

Μελέτη υπόγειου εδάφους. Πέρα από την απλή τοπογραφική μελέτη υπάρχει και η δυνατότητα εξοπλισμού των drone με ειδικά ραντάρ που διεισδύουν στο έδαφος (GPR- Ground Penetrating Radars) και μπορούν να δώσουν χρήσιμα δεδομένα για το υπέδαφος (Greenwood, et al., 2019).

Εφαρμογές κατά την φάση της κατασκευής

Η αποδοτικότερη παρακολούθηση προόδου του έργου με χρήση Σαρωτών Λέιζερ (Laser Scanners), σε συνδυασμό με το BIM, είναι μια πολύ σημαντική εφαρμογή. Αρχικά γίνεται σάρωση του εργοταξίου με λέιζερ (laser scan) και όπως εξηγήθηκε προκύπτει το σύννεφο σημείων ως ένα τρισδιάστατο μοντέλο του έργου στην συγκεκριμένη χρονική στιγμή (as-built). Αυτό το (as-built) τρισδιάστατο σχέδιο μπορεί μετά να συγκριθεί με το 4D-BIM (δηλαδή το BIM με ενσωματωμένο τον χρονικό προγραμματισμό) της εκάστοτε χρονικής στιγμής και έτσι ο Διευθυντής Έργου (Project Manager) να αποφανθεί για την πρόοδο του έργου. Ταυτόχρονα, μπορεί το σαρωμένο σχέδιο να βοηθήσει στην ενημέρωση του υπάρχοντος BIM και να διορθώσει επικαλύψεις και άλλα λάθη, με αυτόματο τρόπο, αρκεί ο χειριστής να τοποθετηθεί στο σύστημα 3 κοινά σημεία των δύο σχεδίων, ούτως ώστε να γίνει σωστά η παράθεση (Turkan, et al., 2012).

Επιθεώρηση εργοταξίου. Τα drones δίνουν τη δυνατότητα αποδοτικότερης και υψηλότερων προτύπων επιθεώρησης του εργοταξίου. Γίνεται διαχείριση ποιότητας του έργου με αναγνώριση κατασκευαστικών ελαττωμάτων, παραλήψεων, χαμηλής ποιότητας εργασίες, καθυστερήσεων, λάθος υλικών. Επίσης γίνεται χρονική παρακολούθηση του σταδίου του έργου με βιντεοσκόπηση όλων των σημείων του εργοταξίου και από όλες τις οπτικές γωνίες. Όλα αυτά φυσικά, ο Διευθυντής Έργου (Project Manager) τα εκτελεί με παράλληλη χρήση του BIM (Li & Liu, 2018).

Επιθεώρηση ασφάλειας εργοταξίου. Ο Διευθυντής Έργου (Project Manager) μπορεί να διεξάγει ελέγχους τήρησης προτύπων ασφάλειας, σωστού χειρισμού μηχανημάτων σε όλο το εργοτάξιο με τηλεχειριζόμενη πτήση drone. Υπάρχουν και πιο προχωρημένες δυνατότητες, όπως η αυτόματη πτήση του drone, η αναγνώριση φωνής και ατόμων και η επικοινωνία διπλής κατεύθυνσης (Greenwood, et al., 2019).

Αξιολόγηση βλαβών κτιρίων μετά από φυσικές ή άλλες καταστροφές (Zhou & Gheisari, 2018).

Διαχείριση των υλικών και των μεταφορών του εργοταξίου (Construction site logistics Management). Αρχικά υπάρχει η δυνατότητα προμήθειας υλικών μέσω drone και άμεση

παράδοσή τους στο εργοτάξιο. Επίσης είναι δυνατή η παρακολούθηση μεταφοράς εξοπλισμού με χρήση drone με κάμερες, GPS και RFID αισθητήρες (Li & Liu, 2018).

Εφαρμογές κατά τη φάση της λειτουργίας/συντήρησης

Επιθεώρηση και αξιολόγηση κατάστασης έργων, είναι η πιο συχνή εφαρμογή των drones. Γίνεται χρήση των drones εξοπλισμένων με απλές και με θερμικές κάμερες με σκοπό την αξιολόγηση κατάστασης κτιρίων σε δύσβατες περιοχές ή σε δύσκολα προσεγγίσιμα σημεία όπως σε μεγάλες γέφυρες και ψηλά κτίρια. Παράλληλα είναι σημαντική η επιθεώρηση μακρών ηλεκτρικών καλωδιώσεων και δρόμων, κάτι που θα ήταν δύσκολο με άλλα μέσα. Η δουλειά εκτελείται εύκολα, γρήγορα, αποδοτικά, με ασφάλεια και με μικρό κόστος (Zhou & Gheisari, 2018). Οι επιθεωρήσεις αυτές είναι πολύ σημαντικές για αναγνώριση βλαβών και επιδιόρθωση έργων αλλά και διατήρηση της ποιότητάς του σε υψηλά πρότυπα.

Εφαρμογές κατά τη φάση της κατεδάφισης/ανακατασκευής

Η σάρωση προς σχέδιο BIM (scan-to-BIM). Είναι η διαδικασία κατά την οποία το λέιζερ σαρώνει εσωτερικά και εξωτερικά ένα κτίριο και δημιουργεί το νέφος σημείων, δηλαδή ένα πλήρες τρισδιάστατο σχέδιο που περιέχει τοίχους, ταβάνια, παράθυρα, κολόνες. Περιέχει τα περισσότερα δομικά στοιχεία αλλά όχι τα χρώματα, το είδος των επιφανειών, τα υλικά. Αυτά είναι στοιχεία που απαιτούν περαιτέρω εργαλεία όπως όραση υπολογιστών (computer vision) και Μηχανική Μάθηση (Machine Learning) για να περαστούν αυτόματα. Παρότι η σάρωση σε BIM γίνεται από τον σαρωτή αυτόματα, απαιτείται και το φιλτράρισμα από χειριστή διότι το σύστημα δεν είναι αλάνθαστο (Xiong, et al., 2013). Η εφαρμογή σάρωσης προς σχέδιο BIM (scan-to-BIM) μπορεί να αξιοποιηθεί σε ανακαίνιση υπάρχοντος κτιρίου για το οποίο δεν υπάρχουν σχέδια και για συντήρηση/επιδιόρθωση. Επίσης αξιοποιείται και για την ψηφιοποίησή του για λόγους ύπαρξης ιστορικού, για την καλύτερη μετέπειτα λειτουργία/συντήρησή του και πιθανώς μετατροπή του σε έξυπνο κτίριο (smart building).

Διαχείριση κατεδάφισης. Τα drone αξιοποιούνται στη διαχείριση αποβλήτων και στη βιντεοσκόπηση και παρακολούθηση της διαδικασίας κατεδάφισης υψηλών – και όχι μόνο- κτιρίων (Li & Liu, 2018)

2.10 Συμπληρωματικές Τεχνολογίες

2.10.1 Προκατασκευή Εκτός Εργοταξίου (Off-site Construction)

Η Προκατασκευή εκτός Εργοταξίου (Off-site Construction) είναι μια τεχνολογία πολύ σημαντική στη διαδικασία βιομηχανοποίησης και εκσυγχρονισμού του κατασκευαστικού τομέα, που αποτελείται από δύο κύριες περιπτώσεις. Η πρώτη περίπτωση είναι κατασκευή ολόκληρων συναρμολογημένων δομών σε εργοστάσιο (modular), όπως για παράδειγμα μεταλλικών σκελετών και ύστερα εγκατάσταση αυτών στο εργοτάξιο. Η δεύτερη περίπτωση είναι η

προκατασκευή στοιχείων στο εργοστάσιο που ύστερα θα εγκατασταθούν στο εργοτάξιο, όπως παραδείγματος χάριν πάνελ ή στέγες κτιρίων (Salama & Said, 2023).

Μέσα στο πλαίσιο αυτής της τεχνολογίας οι εργασίες απαλάσσονται από το κατασκευαστικό περιβάλλον και τις εκτελούνται σε εργοστασιακό. Έτσι αυξάνεται η ποιότητα, η αξιοπιστία και μειώνονται οι κίνδυνοι στην κατασκευή (Salama & Said, 2023).

Επίσης η τεχνολογία αυτή, καθώς ως βασικά μέσα επιτέλεσης των εργασιών έχει Ρομποτικά Μηχανήματα (Robotics) και άλλα συστήματα αυτοματισμού συγκαταλέγεται ως υποκατηγορία των Ρομποτικών Μηχανημάτων (Robotics). Επομένως ό,τι εφαρμογές έχουν τα Ρομποτικά Μηχανήματα (Robotics) αυτόματα είναι δυνατές και στην Προκατασκευή εκτός Εργοταξίου (Off-site Construction). Τέτοιες είναι η προκατασκευή ολόκληρου πατώματος από σκυρόδεμα, έτοιμου τοίχου ή πάνελ οροφής, με βάση δεδομένα από τρισδιάστατα CAD μοντέλα (Vähä, et al., 2013).

2.10.2 Αναλυτική Μεγάλων Δεδομένων (Big Data Analytics)

Τα Μεγάλα Δεδομένα (Big Data) είναι πολύτιμα για τις επιχειρήσεις. Με τον όρο Μεγάλα Δεδομένα (Big Data) εννοείται η απόκτηση μεγάλου αριθμού δεδομένων για κάποιο συγκεκριμένο τομέα, αναλόγως τους στόχους που θέλει να επιτύχει η κάθε εταιρία. Τα δεδομένα όμως από μόνα τους δεν συνεισφέρουν, μετά την ανάλυσή τους (Data Analytics) όμως μπορούν να προκύψουν ανεκτίμητα συμπεράσματα που υποστηρίζουν την διαδικασία λήψης αποφάσεων σε μια εταιρία (Tien, 2013). Η Αναλυτική Μεγάλων Δεδομένων (Big Data Analytics) έχει πολλές εφαρμογές που σχετίζονται και συνδυάζονται και με την Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence) με σκοπό τη βελτιστοποίηση της λήψης αποφάσεων. Κάποιες εφαρμογές τους στον κατασκευαστικό τομέα αναφέρονται παρακάτω.

Βελτιστοποίηση πόρων και διαχείρισης αποβλήτων, όπου με κατάλληλες αναλύσεις δεδομένων μπορούν να ληφθούν οι βέλτιστες αποφάσεις. Η πρόβλεψη απόδοσης κατασκευών, η οπτικοποίηση ανάλυσης δεδομένων και η βελτιστοποίηση διαχείρισης κατανάλωσης ενέργειας τόσο κατά την κατασκευή όσο και κατά την λειτουργία συντήρηση είναι ακόμη μερικές πολύ ενδιαφέρουσες εφαρμογές (Bilal, et al., 2016).

2.10.3 Υπολογιστικό Σύννεφο (Cloud Computing) και Φορητοί Υπολογιστές (Mobile Computing)

2.10.3.1 Υπολογιστικό Σύννεφο (Cloud Computing)

Το Υπολογιστικό Σύννεφο (Cloud Computing) έχει δημιουργήσει αναρίθμητες δυνατότητες σε διάφορους τομείς. Το υπολογιστικό σύννεφο (cloud computing) δίνει τη δυνατότητα σε πολλούς χρήστες να το αξιοποιήσουν και τους δίνει πρόσβαση μέσω διαδικτύου στις υπηρεσίες του από οπουδήποτε και οποτεδήποτε. Αποτελεί μια βάση διατήρησης και επεξεργασίας δεδομένων, εργαλείο ζωντανής πρόσβασης σε πληροφορίες και πηγές κοινούς μεταξύ των χρηστών, κάτι που είναι πολύτιμο για την επικοινωνία και την προσβασιμότητα για όλα τα

ενδιαφερόμενα μέρη (Bello, et al., 2021). Παρακάτω αναφέρονται μερικές από τις εφαρμογές του στον κατασκευαστικό τομέα.

Εξοικονόμηση πόρων και διαχείριση κατανάλωσής ενέργειας στο εργοτάξιο, διαχείριση και ελαχιστοποίηση αποβλήτων, αύξηση της ασφάλειας στο εργοτάξιο, βελτίωση της εφοδιαστικής αλυσίδας στο εργοτάξιο, όλα αυτά μέσα από την ενσωμάτωση της πληροφορίας και της αυξημένης προσβασιμότητας που προσφέρει το Υπολογιστικό Σύννεφο (Cloud Computing) (Bello, et al., 2021).

Μια ακόμη πολύ σημαντική εφαρμογή είναι τα λογισμικά διοίκησης έργων (Project Management Software) βασισμένα στο Υπολογιστικό Σύννεφο (Cloud-based Systems). Αυτά τα λογισμικά εκμεταλλεύονται τη μεγάλη πρόσβαση και την ευκολία της κοινοποίησης δεδομένων, μέσω του Υπολογιστικού Σύννεφου (Cloud Computing) και προσφέρουν τεράστιες και χρήσιμες δυνατότητες στις κατασκευαστικές εταιρίες και στη διοίκηση έργων (project management). Δίνουν λύσεις στην βελτίωση της επικοινωνίας και ομαλής συνεργασίας μεταξύ των μερών διεκπεραίωσης του έργου, οργάνωση της πληροφορίας σε όλους τους τομείς ολοκλήρωσης του έργου, βοήθησε στη μείωση λαθών, αύξηση αποδοτικότητας και αναβάθμιση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων (Bello, et al., 2021).

2.10.3.2 Φορητοί Υπολογιστές (Mobile Computing)

Μια τεχνολογία που συνδέεται άρρηκτα με το Υπολογιστικό Σύννεφο (Cloud Computing), οι Φορητοί Υπολογιστές (Mobile Computing), συνεισφέρουν σημαντικά στη διαχείριση της πληροφορίας στην κατασκευή και διοίκηση έργων (construction & project management). Τα τρία βασικά στοιχεία αυτής της τεχνολογίας είναι οι φορητοί υπολογιστές (mobile phones, tablet, rocket & wearable computers), η επικοινωνία μέσω του διαδικτύου και οι εφαρμογές τους (mobile applications) (Chen & Kamara, 2008). Οι εφαρμογές τους, προσφέρουν μεγάλη ευκολία στους Διευθυντές Έργων (Project Managers), τους εξοικονομούν πολύ χρόνο και κόστος. Ενδεικτικά αναφέρονται ορισμένες παρακάτω.

Φορητότητα σχεδίων. Μέσα από τους Φορητούς Υπολογιστές (Mobile Computing), μπορεί το προσωπικό να έχει συνεχώς μαζί του στο εργοτάξιο τρισδιάστατα (πχ BIM) και διδιάστατα σχέδια του έργου, αλλά μπορεί και να τα επεξεργαστεί επιτόπου (ad-hoc), δηλαδή να προσθέσει πληροφορίες, να διορθώσει ανακρίβειες, να επισημάνει ότι κρίνει απαραίτητο, συντελώντας σε μια οργανωμένη και συνεργασία με συνοχή, μεταξύ των διαφόρων μερών, όπως με τον Διευθυντή Έργου για παράδειγμα (Chen & Kamara, 2008).

Συλλογή δεδομένων από το εργοτάξιο. Το προσωπικό μπορεί να φωτογραφήσει, ή να λάβει δεδομένα με ειδικούς αισθητήρες (πχ barcode scanners) και να αναβαθμίσει το σχέδιο BIM (Chen & Kamara, 2008).

Δυνατότητες αποδοτικότερης διοίκησης έργου (project management applications). Υπάρχει η δυνατότητα να γίνουν κριτικές (reviews) για διάφορες εργασίες που έχουν γίνει στο εργοτάξιο,

παρακολούθηση πορείας έργου, ενημέρωση κατάστασης, διαχείριση κινδύνων και άλλες δυνατότητες που αναβαθμίζουν τον έλεγχο και τη διοίκηση του έργου (Chen & Kamara, 2008).

2.10.4 Τεχνολογίες Διανεμημένων Λογιστικών Βιβλίων (Distributed Ledger Technologies – DLT) - Blockchain

Οι Τεχνολογίες Διανεμημένων Λογιστικών Βιβλίων (Distributed Ledger Technologies – DLT), είναι πλέον γνωστές με τον όρο «Blockchain», που αυτό αποτελεί την βασική τεχνολογία για την ανάπτυξη των κρυπτονομισμάτων (cryptocurrency) όπως το «Bitcoin». Η τεχνολογία αυτή μπορεί να εξελίξει σημαντικά τον κατασκευαστικό τομέα και να συντελέσει στον ψηφιακό μετασχηματισμό του (Li, et al., 2019).

Έτσι το «Blockchain» σε συνεργασία με το BIM, έχει ανοίξει το δρόμο για ψηφιακά «έξυπνα συμβόλαια» (smart contracts). Αυτό οδηγεί σε μεγάλη εξοικονόμηση κόστους, μέσα από την απλοποίηση διαδικασιών, την αποδοτικότητα αλλά και την αύξηση της εμπιστοσύνης μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών. Επίσης γίνονται πολύ αποδοτικότερα οι πληρωμές γιατί είναι αυτοματοποιημένες, απαλείφονται οι διαμεσολαβήσεις και ο έλεγχος και η ασφάλεια των δεδομένων αναβαθμίζεται (Li, et al., 2019).

2.11 Συγκεντρωτικός Πίνακας Εφαρμογών Κατασκευής 4.0 (Construction 4.0)

Ο πίνακας αυτός που βρίσκεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1, αποτελεί μία σύνοψη όλων των εφαρμογών των 12 τεχνολογιών της Κατασκευής 4.0 (Construction 4.0), που αναγνωρίστηκαν μέσα από τη διεθνή βιβλιογραφία, κατανεμημένες ανά φάση του κύκλου ζωής του έργου. Οι εφαρμογές αυτές αποτελούν την αιχμή της τεχνολογίας στον παγκόσμιο κατασκευαστικό τομέα.

Αναγνωρίστηκαν συνολικά 107 εφαρμογές, εκ των οποίων οι 21 αφορούν τη φάση της μελέτης (σχεδιασμού/προγραμματισμού), οι 60 τη φάση της κατασκευής, οι 18 τη φάση της λειτουργίας/συντήρησης και οι 8 τη φάση κατεδάφισης/ανακατασκευής.

3. Μεθοδολογία της έρευνας

3.1 Στρατηγική έρευνας

3.1.1 Επιλογή μεθόδου

Με σκοπό να γίνει αντιληπτό ποιες είναι οι τεχνολογίες του Construction 4.0 που εφαρμόζονται στην Ελλάδα, κατά πόσο είναι επωφελείς και τι εμπόδια υπάρχουν στην εφαρμογή τους, θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος των συνεντεύξεων.

3.1.2 Λόγοι που επιλέγεται η μέθοδος των συνεντεύξεων

Ο σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας όπως έχει τεθεί στην παράγραφο 1.2.2 είναι ο εξής:

«Αποτύπωση και ποιοτική αξιολόγηση της ενσωμάτωσης των εργαλείων της βιομηχανίας 4.0 στον ελληνικό κατασκευαστικό κλάδο.»

Έχουν τεθεί επίσης οι ερευνητικοί στόχοι στην παράγραφο 1.2.4, αλλά για διευκόλυνση του αναγνώστη θα τους παραθέσουμε κι αυτούς εδώ:

1. Αναγνώριση των εργαλείων τεχνολογίας της Βιομηχανίας 4.0 (Industry 4.0) με χρήση στον παγκόσμιο κατασκευαστικό τομέα.
2. Αναγνώριση πρακτικών εφαρμογών τους στον παγκόσμιο κατασκευαστικό τομέα.
3. Διερεύνηση της υιοθέτησης των εργαλείων της Βιομηχανίας 4.0 (Industry 4.0), στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα.
4. Διερεύνηση του τρόπου αξιοποίησης των εργαλείων Βιομηχανίας 4.0 (Industry 4.0) στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα.
5. Διερεύνηση των παραγόντων που δυσχεραίνουν την εφαρμογή των εργαλείων της Βιομηχανίας 4.0 (Industry 4.0) στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα.
6. Δημιουργία χάρτη ενσωμάτωσης εργαλείων Βιομηχανίας 4.0 (Industry 4.0) στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα.

Οι πρώτοι δύο στόχοι αφορούν την κατάσταση του κατασκευαστικού τομέα και το «state-of-the-art» σε παγκόσμια κλίμακα, επομένως η μόνη πηγή που διατίθεται για διερεύνηση αυτών, είναι η διεθνής βιβλιογραφία.

Από την άλλη, οι στόχοι 2-6 αφορούν την αποτύπωση της κατάστασης στον Ελλαδικό χώρο, κάτι που θα αποτελέσει το βασικό αντικείμενο της έρευνας. Για να επιτευχθούν οι συγκεκριμένοι στόχοι απαιτείται με κάποιο τρόπο η επαφή με τον κατασκευαστικό τομέα στην Ελλάδα, δηλαδή τις κατασκευαστικές εταιρίες. Ύστερα θα πρέπει να γίνει κάποια άντληση δεδομένων, με ποιοτικό χαρακτήρα καθώς ο σκοπός της εργασίας είναι η ποιοτική ανάλυση της κατάστασης. Επομένως γίνεται άμεσα κατανοητός ο λόγος που επιλέχθηκαν οι συνεντεύξεις ως μέθοδος άντλησης δεδομένων από τον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα.

Παράλληλα όμως εξετάσθηκε η εναλλακτική λύση των ερωτηματολογίων. Γενικά, τα ερωτηματολόγια, τα οποία θα απευθύνονταν σε αριθμό ατόμων της τάξης των 50, θα είχαν ποσοτικό χαρακτήρα, θα μπορούσαν να δώσουν μια καλύτερη ολιστική εκτίμηση της κατάστασης και θα μπορούσαν να έχουν και σε ένα βαθμό ποιοτικό χαρακτήρα. Όμως τα ποιοτικά αποτελέσματα που θα έδιναν θα ήταν πολύ φτωχά σε σχέση με τα αποτελέσματα και το πλούσιο υλικό που θα παράξουν οι συνεντεύξεις, ειδικά αν αναλογιστεί κανείς το επίπεδο των στελεχών που πρόκειται να εξετάσουμε.

Η μέθοδος των συνεντεύξεων, τέλος, θεωρείται ένας πιο αξιόπιστος τρόπος άντλησης δεδομένων για την συγκεκριμένη περίπτωση, λαμβάνοντας υπόψιν και τους παρακάτω παράγοντες:

- Οι συνεντεύξεις παρέχουν υψηλής ποιότητας περιεχόμενο, καθώς μπορεί να γίνει συζήτηση, διάλογος και εις βάθος ανάλυση του εκάστοτε θέματος με σκοπό την εύρεση της αλήθειας (κάτι που εξαρτάται βέβαια και από την προθυμία του κάθε συνεντευξιζόμενου).
- Μέσω των συνεντεύξεων υπάρχει μεγαλύτερη ευελιξία:
 - i. Γίνεται καλύτερη ανάλυση των δεδομένων καθώς είναι γνωστό το υπόβαθρο του κάθε συνεντευξιζόμενου, οπότε ο συνεντευκτής μπορεί να προσαρμόσει και να κατευθύνει σωστότερα τη συζήτηση.
 - ii. Γίνεται για τον ίδιο λόγο προσαρμογή των ερωτήσεων και ο συνεντευκτής μπορεί να πάρει πρωτοβουλίες για πιθανές διαφοροποιήσεις αναλόγως την περίπτωση.
 - iii. Είναι άμεση και εύκολη η επεξήγηση ανακρίβειών ή παρεξηγήσεων των ερωτήσεων (σε αντίθεση με τα ερωτηματολόγια) οπότε ελαχιστοποιείται ο παράγοντας του λάθους και η στρέβλωση του αποτελέσματος της έρευνας.
- Οι ερωτήσεις μπορούν να είναι ανοιχτού τύπου ώστε να οδηγηθεί η συνέντευξη σε συζήτηση και έτσι είναι πιθανό ο συνεντευξιζόμενος να προχωρήσει σε παράθεση προσωπικών του εμπειριών, μέσα από τις οποίες μπορούν να προκύψουν πολλά χρήσιμα δεδομένα.

3.1.3 Κριτήρια επιλογής

Αφού λοιπόν επιλέχθηκε ο τρόπος διεξαγωγής της έρευνας, τώρα θα πρέπει να οριστούν τα κριτήρια με τα οποία θα επιλεγούν οι φορείς και τα πρόσωπα προς συνέντευξη.

Επιλογή φορέων

Αρχικά λαμβάνεται η απόφαση να τεθούν ως εταιρίες-στόχοι, με βάση το θέμα το σκοπό της εργασίας, κατασκευαστικές ή μελετητικές εταιρίες που δραστηριοποιούνται στην Ελλάδα.

Πρώτη και εύκολη σκέψη είναι η συνεργασία με μικρές κατασκευαστικές ή μελετητικές εταιρίες. Σε αυτές θα ήταν πιο εύκολη η πρόσβαση αλλά και η διάθεση χρόνου από τα στελέχη

προς τη διεκπεραίωση μιας συνέντευξης. Επίσης θα ήταν πιο άμεσο και εύκολο να προσεγγιστούν τέτοιου είδους μικρές εταιρίες, επομένως θα υπήρχε η δυνατότητα για μεγαλύτερο αριθμό συνεντευξιαζόμενων. Υπάρχει όμως το εξής ζήτημα: Η Κατασκευή 4.0 (Construction 4.0) είναι μια τεχνολογική επανάσταση που βρίσκεται σε νεαρά στάδια ακόμα και στο εξωτερικό, με βάση τη βιβλιογραφία. Επομένως είναι δύσκολο έως απίθανο κατασκευαστικές ή μελετητικές εταιρίες που αναλαμβάνουν σπίτια, μικρές πολυκατοικίες και γενικότερα έργα χαμηλού προϋπολογισμού, να χρησιμοποιούν τόσο προηγμένα εργαλεία. Αυτό μετά από μια μικρή έρευνα σε ένα κύκλο διασυνδέσεων, φάνηκε να αληθεύει, δηλαδή οι μικρότερες εταιρίες να μην έχουν επαφή με τέτοιες τεχνολογίες, εκτός από ορισμένες σε πολύ εξειδικευμένο αντικείμενο. Μη συσχέτιση των εταιριών με τις τεχνολογίες της Κατασκευής 4.0 (Construction 4.0) δε θα παρείχε περιεχόμενο για τη χρήση και τις εφαρμογές τους στην Ελλάδα. Δεύτερον, θα έδινε στρεβλή εικόνα, ότι δηλαδή δεν γίνεται καθόλου χρήση των τεχνολογιών αυτών στην Ελλάδα, ενώ όπως θα δούμε στη συνέχεια κάτι τέτοιο δεν ισχύει. Αυτό λοιπόν αποτρέπει την προσπάθεια συνεργασίας με τέτοιου είδους εταιρίες.

Επομένως το ενδιαφέρον στρέφεται σε εταιρίες μεγαλύτερου τζίρου που αναλαμβάνουν έργα μεγάλου προϋπολογισμού και το πιθανότερο είναι να χρησιμοποιούν τέτοιες τεχνολογίες. Γιατί αν δεν χρησιμοποιούν και αυτές, τότε θα υπάρξει απευθείας το συμπέρασμα ότι στην Ελλάδα δεν χρησιμοποιούνται τέτοιες τεχνολογίες. Οι εταιρίες-στόχοι λοιπόν έγιναν οι μεγαλύτερες και πιο ξακουστές κατασκευαστικές ή μελετητικές εταιρίες στην Ελλάδα, δηλαδή εταιρίες 6^{ης} και 7^{ης} τάξης.

Πριν όμως γίνει η μετάβαση στη φάση της επικοινωνίας με στελέχη των μεγαλύτερων εταιριών ώστε να γίνει απόπειρα οργάνωσης συνέντευξης με κάποιο από τα στελέχη τους, πρέπει πρώτα να οριστούν τα κριτήρια των στελεχών που αναζητούνται.

Επιλογή Στελεχών

Όσον αφορά την επιλογή των στελεχών, επιθυμείται για το βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα και μεγαλύτερη πιθανότητα για πιο αξιόλογο επίπεδο των αποτελεσμάτων να ισχύουν τα επόμενα κριτήρια για τους συνεντευξιαζόμενους:

- Προφανώς να είναι υψηλόβαθμα στελέχη επιπέδου Διευθυντή Έργων, ώστε να έχουν υπόψιν τους εργαλεία διοίκησης έργων μέσα από την εμπειρία ετών στον κατασκευαστικό τομέα.
- Πιθανόν να φανεί παράξενο, αλλά δεν επιδιώκονται «πολύ» υψηλόβαθμα στελέχη. Δηλαδή, προτιμάται να είναι περίπου στο επίπεδο Διευθυντή Έργου ή και διευθυντή κάποιου τομέα της εταιρίας όσον αφορά τις κατασκευές, αλλά όχι για παράδειγμα CEO εταιριών. Αυτό διότι - ενώ είναι πολύτιμη η εμπειρία και απαραίτητο το να είναι ο συνεντευξιαζόμενος σε θέση ευθύνης – είναι επιθυμητό και να έχει μια «hands-on» εμπειρία στο αντικείμενο έως ένα βαθμό. Έτσι, θα υπάρχει πολύπλευρη πληροφόρηση για το αντικείμενο τόσο από διεύθυνση του έργου όσο και πρακτικά στο εργοτάξιο.

- Προφανώς ο συνεντευξιαζόμενος απαιτείται να σχετίζεται είτε με τον κατασκευαστικό τομέα, είτε να είναι άνθρωπος σε θέση ευθύνης εμπλεκόμενη με πληροφορική (IT - Information Technology Manager) της εταιρίας, καθώς το αντικείμενο προς εξέταση σχετίζεται άμεσα με τον ψηφιακό μετασχηματισμό των εταιριών.

3.1.4 Σύνταξη Πρωτοκόλλου Έρευνας

Η σύνταξη του Πρωτοκόλλου έρευνας είναι μια απαραίτητη διαδικασία που πρέπει να γίνει για την διασφάλιση των δικαιωμάτων των συνεντευξιαζόμενων αλλά και για την προστασία του συνεντευκτή.

Το Πρωτόκολλο της συνέντευξης περιέχει όλα τα στοιχεία από την επίσημη φόρμα του ΕΜΠ, αναφορικά με την προστασία προσωπικών δεδομένων και την ανωνυμία των συνεντευξιαζόμενων, που θα εξηγηθεί στην παράγραφο 3.3.2 το πώς επετεύχθη.

Όπως μπορεί να διαπιστώσει κανείς (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2) πέρα από τα στοιχεία επικοινωνίας με τον συντάκτη και τον τίτλο «Το Industry 4.0 στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα», έγιναν και οι ακόλουθες τροποποιήσεις:

- Ορίστηκε ο Σκοπός: «Διερεύνηση του βαθμού υιοθέτησης προηγμένων τεχνολογιών (όπως BIM, Digital Twins, Artificial Intelligence, Augmented & Virtual Reality, Internet of Things κ.α.) στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα.»
- Μέθοδος: Παραχώρηση συνέντευξης
- Εκτιμώμενος Χρόνος: 45 λεπτά
- Προστέθηκε στους όρους πως «για τη διευκόλυνση της ανάλυσης δεδομένων, εφόσον έχουμε τη συναίνεσή σας, η συνέντευξη θα ηχογραφηθεί.»

Όσον αφορά τον Σκοπό του Πρωτοκόλλου, παραχωρήθηκε ώστε να προιδεάσει τους συνεντευξιαζόμενους αναφορικά με το θέμα. Κυρίως όμως για να μπορέσει να δώσει μια πρώτη εικόνα στους ανθρώπους που θα συνδέσουν το συνεντευκτή με τους συνεντευξιαζόμενους, για το θέμα και τα άτομα που αναζητούνται.

Όσον αφορά τον εκτιμώμενο χρόνο, θα ήταν επιθυμητό όσο το δυνατόν περισσότερο, ακόμα και πάνω από μία ώρα, αλλά επειδή η έκκληση γίνεται σε ανθρώπους με πιεσμένο πρόγραμμα, θα ήταν αποθαρρυντικό να ζητηθεί μία ολόκληρη ώρα. Έτσι, ζητήθηκαν 45 λεπτά ώστε να διατεθεί στην πραγματικότητα τουλάχιστον μισή ώρα (και όχι 15 λεπτά παραδείγματος χάριν).

Τέλος, όσον αφορά την ηχογράφηση της συνέντευξης. Τα δεδομένα που θα ληφθούν θα είναι σε μορφή παράλληλων σημειώσεων. Όμως θα ήταν πολύ προτιμότερο αν υπήρχε η δυνατότητα ηχογράφησης της συνέντευξης, ώστε σε δεύτερο χρόνο να γίνει με ηρεμία και περισσότερη λεπτομέρεια η αποδελτίωση των πληροφοριών. Όμως αυτό δεν θεωρείται δεδομένο, καθώς υπάρχει πιθανότητα κάποιος συνεντευξιαζόμενος να μην συμφωνεί, οπότε τέθηκε ο όρος

ηχογράφησης εφόσον δώσει τη συγκατάθεσή του, ώστε να είναι καλυμμένες και οι δύο πλευρές.

Σημειωτέον, ότι το Πρωτόκολλο θα συνοδεύει το ηλεκτρονικό μήνυμα (email) της πρώτης επαφής που θα αποσταλεί για να γίνει η έναρξη της διαδικασίας εύρεσης των κατάλληλων ανθρώπων. Το κείμενο στο ηλεκτρονικό μήνυμα (email) αυτό, θα γραφτεί ώστε να γίνει μια ευγενική πρώτη επαφή αλλά και να δοθεί το κίνητρο των στελεχών να συμμετέχουν (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4).

Οι συνεντεύξεις μπορούν να γίνουν είτε δια ζώσης, είτε διαδικτυακά. Και στις δύο περιπτώσεις η ποιότητα θα παραμείνει στο ίδιο επίπεδο, οπότε δεν υπάρχει προτίμηση.

3.1.5 Σύνταξη Οδηγού Συνέντευξης

Ο οδηγός συνέντευξης αποτελεί ένα πλάνο που θα έχει μαζί του ο συνεντευκτής κατά την διάρκεια των συνεντεύξεων και θα του δίνει μια κατεύθυνση για το πως να κινηθεί. Τώρα είναι πιθανό, να μην ακολουθηθεί κατά γράμμα η διαδικασία που θα αναλυθεί παρακάτω, διότι μπορεί να προκύψει συζήτηση, αρκεί η πορεία της συνέντευξης να μην αποκλίνει από το σκοπό της.

Όπως θα εξηγηθεί παρακάτω, ο οδηγός αποτελείται από 2 σελίδες. Η πρώτη περιλαμβάνει τη λογική σειρά που θα ακολουθηθεί και τις ερωτήσεις και η δεύτερη την εικόνα – χάρτη των τεχνολογιών της Κατασκευής 4.0 (Construction 4.0). (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3)

Τώρα, η κατάστρωση των ερωτήσεων, θα γίνει με γνώμονα τις ερωτήσεις που πρέπει να απαντηθούν στη συγκεκριμένη εργασία, δηλαδή τους ερευνητικούς στόχους και ερωτήσεις.

Αρχικά θα ληφθεί μια λογική «ανοιχτού τύπου» για την πρώτη ερώτηση, καθώς είναι επιθυμητή η προσωπική άποψη του συνεντευξιζόμενου αλλά και η δημιουργία κουβέντας αναφορικά με το αντικείμενο της Κατασκευής 4.0 (Construction 4.0). Στη συνέχεια θα επιλεγούν ερωτήσεις, πιο περιορισμένες αλλά που και πάλι επιτρέπουν στην προσωπική εμπειρία των συνεντευξιζόμενων να αναδυθεί. Συγκεκριμένα, οι ερωτήσεις 1 και 2 διαμορφώθηκαν ως εξής:

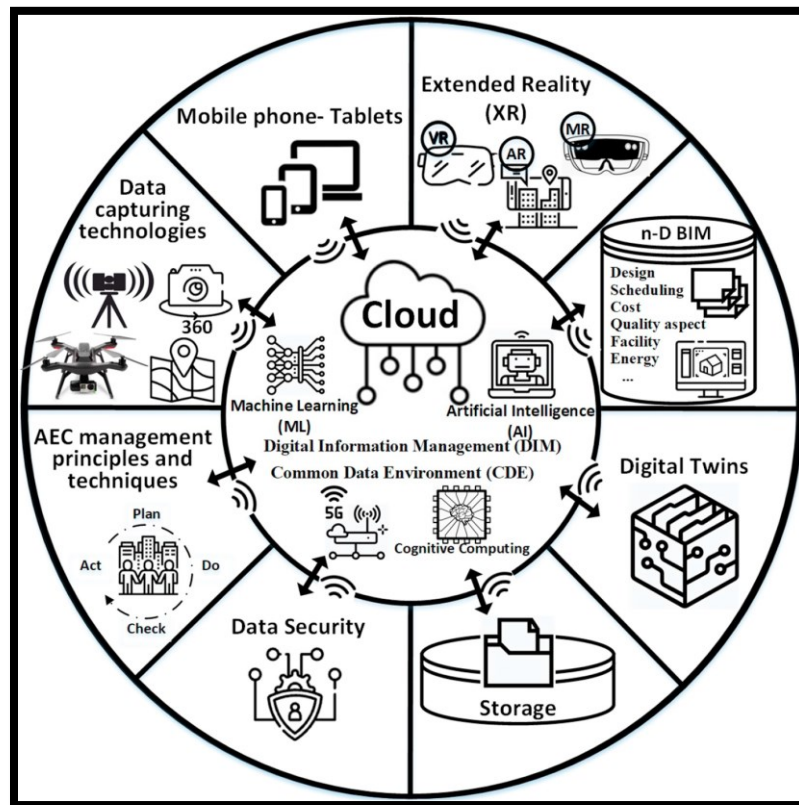
Ερώτηση 1: «Τα τελευταία χρόνια, ποια είναι η τεχνολογία αυτή που σας εντυπωσίασε περισσότερο και τη θεωρείτε ως την πιο επαναστατική στη Διοίκηση Έργων;» (Φυσικά είχε γίνει ήδη αναφορά ότι η συζήτηση είναι σχετική με τον κατασκευαστικό τομέα)

Ερώτηση 2: «Ποιες είναι οι εφαρμογές και τα οφέλη που πιστεύετε ότι είχε η χρήση αυτής της τεχνολογίας, τόσο στην εταιρία όσο και στους εργαζομένους;»

Από αυτές τις ερωτήσεις λήφθηκαν σημαντικές πληροφορίες για την προσωπική εμπειρία συμπεριλαμβανομένης της άποψης των συνεντευξιζόμενων.

Τώρα για να αντληθεί και μια καλύτερη εικόνα όσον αφορά την αποτύπωση της χρήσης των τεχνολογιών, θα δίνεται η ερώτηση 3 μαζί με την παρακάτω εικόνα. Η εικόνα αυτή είναι ένας χάρτης των βασικών τεχνολογιών της Κατασκευής 4.0 (Construction 4.0). Ακολουθείται η τακτική αυτή, ώστε να ληφθούν όσο το δυνατόν πληρέστερα οι γνώσεις του συνεντευξιζόμενου πάνω στο αντικείμενο. Παραδείγματος χάριν, αν ο συνεντευξιζόμενος γνωρίζει κάποια τεχνολογία αλλά δεν τη θυμηθεί εκείνη τη στιγμή, ο χάρτης αυτός θα τον βοηθήσει. Επειδή η εικόνα δεν περιλαμβάνει όλες τις τεχνολογίες που εξετάζαμε, γινόταν και προφορική ερώτηση σε περίπτωση γνώσης κάποιων συμπληρωματικών τεχνολογιών που φαίνονται στον οδηγό.

Ερώτηση 3: «Υπάρχουν κάποια άλλα εργαλεία που έχετε χρησιμοποιήσει ή έχετε ακουστά; Ποια είναι αυτά;» (υπόδειξη εικόνας 3.1)



Εικόνα 3.1 Χάρτης των τεχνολογιών της Κατασκευής 4.0 (Construction 4.0) (Alizadehsalehi, et al., 2020)

Τέλος, οι ερωτήσεις 4 και 5 αφορούν τα ερευνητικά ερωτήματα 4, 5 και μια ερώτηση για το μέλλον αντίστοιχα:

Ερώτηση 4: «Τι πιστεύετε ότι δυσχεραίνει την περαιτέρω υιοθέτηση τέτοιων τεχνολογιών σε εταιρίες σαν τη δικιά σας αλλά και σε μικρότερες, στην Ελλάδα;

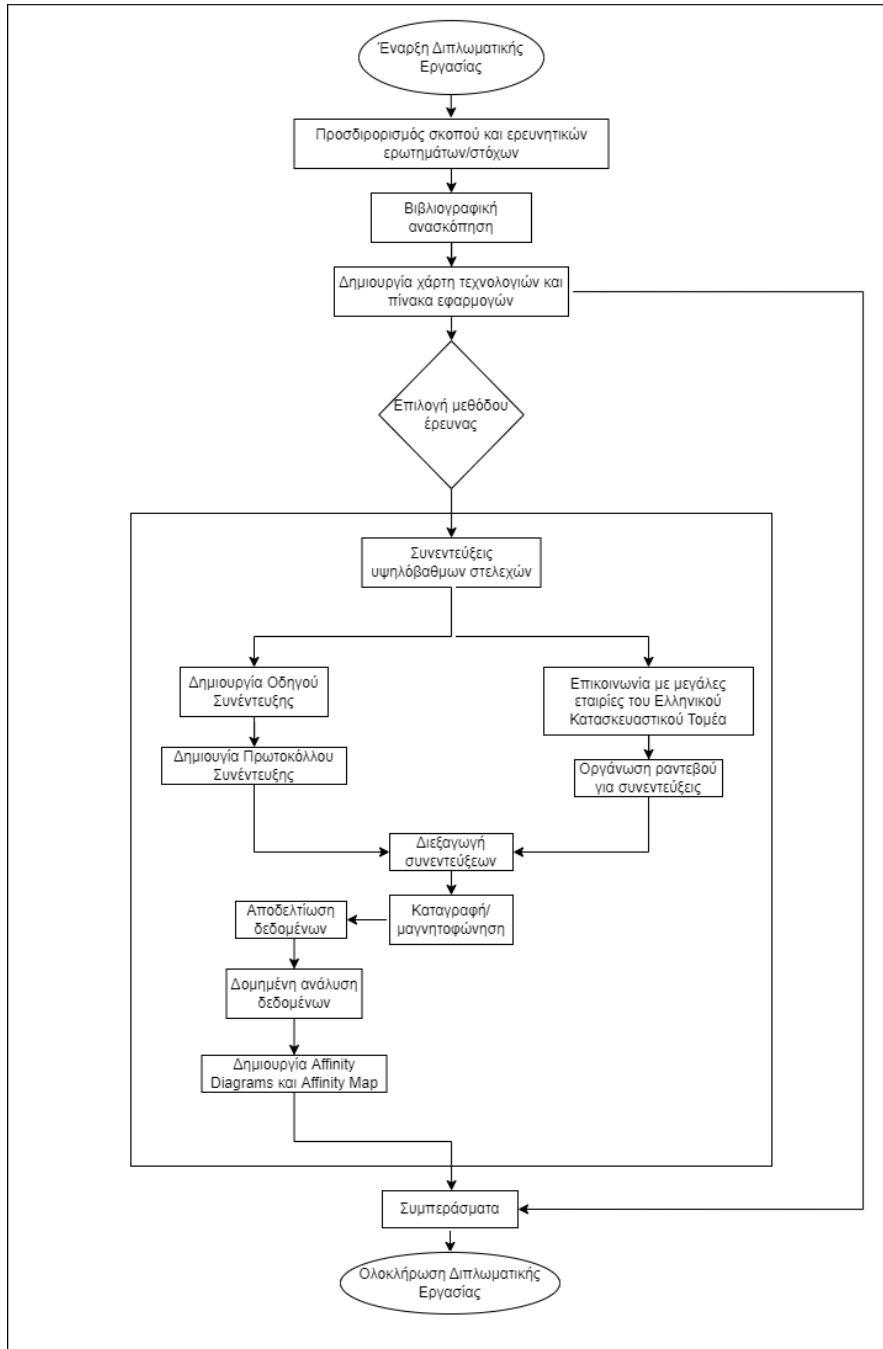
Ερώτηση 5: «Τι βλέπετε να έρχεται δυναμικά στο μέλλον; Υπάρχει κάτι που πιστεύετε ότι θα παίξει σημαντικό ρόλο στον κατασκευαστικό τομέα ή/και στη Διοίκηση Έργων;»

Να αναφερθεί ότι πριν από όλα θα γίνει ερώτηση όσον αφορά μια σύντομη περιγραφή της θέσης του συνεντευξιαζόμενου, των αρμοδιοτήτων του, της εμπειρίας του και της φύσης των έργων που έχει αναλάβει και αναλαμβάνει (κατηγορία και προϋπολογισμός).

3.2 Πορεία της έρευνας και αποτελέσματα

3.2.1 Διάγραμμα πορείας της έρευνας

Η πορεία της έρευνας που ακολουθήθηκε φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα ροής.



Εικόνα 3.2: Διάγραμμα πορείας έρευνας και διαδικασίας διεκπεραίωσης συνεντεύξεων

3.2.2 Διαδικασία διεκπεραίωσης συνεντεύξεων

Έγινε λοιπόν όλη η οργάνωση για την προετοιμασία των συνεντεύξεων και η επικοινωνία με συγκεκριμένα άτομα εντός των μεγαλύτερων κατασκευαστικών και μελετητικών εταιριών στην Ελλάδα, που είχαν τη δυνατότητα να μας συνδέσουν με τα κατάλληλα πρόσωπα.

Αφού αποστάλθηκε το Πρωτόκολλο Συνέντευξης σε αυτά τα άτομα σε διάφορες εταιρίες, μετά από κάθε θετική απόκριση συντονιζόταν και η κάθε συνέντευξη.

Ειδικότερα οι λεπτομέρειες όσον αφορά τις ημερομηνίες, τη σειρά, τη δια ζώσης ή διαδικτυακή συνάντηση για τις συνεντεύξεις, βρίσκονται στον πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1: Λεπτομέρειες συνεντεύξεων

# Αριθμός Συνέντευξης	Ημερομηνία	Συμμετέχοντες (Αριθμοί Συνεντευξιζόμενων)	Είδος Εταιρίας	Ηχογράφιση	Τρόπος Διεξαγωγής	Διάρκεια (Λεπτά)
#1	27/06/2023	#1	Κατασκευαστική	Όχι	Διαδικτυακά	30
#2	28/06/2023	#2	Κατασκευαστική	Όχι	Δια Ζώσης	30
#3	29/06/2023	#3,#4	Κατασκευαστική	Ναι	Δια Ζώσης	90
#4	04/07/2023	#5	Μελετητική	Ναι	Δια Ζώσης	60
#5	03/07/2023	#6	Κατασκευαστική	Όχι	Διαδικτυακά	20
#6	17/07/2023	#7	Κατασκευαστική	Όχι	Διαδικτυακά	20
#7	28/07/2023	#8,#9,#10	Κατασκευαστική	Όχι	Διαδικτυακά	45
#8	01/08/2023	#11	Μελετητική	Όχι	Διαδικτυακά	30
#9	25/07/2023	#12	Μελετητική	Όχι	Διαδικτυακά	20

#10	25/07/2023	#13	Κατασκευαστική	Όχι	Διαδικτυακά	20
-----	------------	-----	----------------	-----	-------------	----

3.2.3 Προφίλ συνεντευξιαζόμενων

Οι συνεντεύξεις έγιναν με 13 ανθρώπους από τις 6 μεγάλες κατασκευαστικές και μελετητικές εταιρίες στην Ελλάδα. Οι λεπτομέρειες των συμμετεχόντων (όσες μπορούν να αναφερθούν με βάση τη διατήρηση της ανωνυμίας τους και της εμπιστευτικότητας των δεδομένων) φαίνονται στον πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.2: Προφίλ συνεντευξιαζόμενων

Αριθμός Συνεντευξιαζόμενου	Συνέντευξη που έλαβε μέρος	Θέση στην εταιρία	Τομέας Δραστηριοποίησης	Έργα που έχει αναλάβει	Χρόνια Εμπειρίας
#1	#1	Υπεύθυνος τμήματος προσφορών	Κατασκευαστικός	Οικοδομικά έργα, έργα οδοποιίας	20
#2	#2	Υπεύθυνος Κτιριακών Υποδομών	Κατασκευαστικός	Γέφυρες	25
#3	#3	Ανώτερος Διευθυντής Έργων	Κατασκευαστικός	Εγκαταστάσεις αγωγών, κτιριακά έργα, ουρανοξύστες	30
#4	#3	Διευθυντής Έργων	Κατασκευαστικός	Κατασκευές, Κτιριακές εγκαταστάσεις, ουρανοξύστες	25
#5	#4	Ανώτερος Διευθυντής Έργων	Μελετητικός	Πολύπλοκα κτιριακά έργα, σχολεία, ουρανοξύστες	25

#6	#5	Υπεύθυνος Κατασκευών	Κατασκευαστικός	Έργα υποδομής, σιδηροδρομικά, οδικά, κτιριακά, δημόσια έργα	20
#7	#6	Διευθυντής Προγραμματισμού και Ελέγχου	Κατασκευαστικός	Κτιριακά έργα	20
#8	#7	Υπεύθυνος λειτουργίας ΑΠΕ και αιολικών πάρκων	Κατασκευαστικός	ΑΠΕ, αιολικά πάρκα	15
#9	#7	Υπεύθυνος Πληροφορικής (IT)	Πληροφορικής	-	15
#10	#7	Υπεύθυνος εγκαταστάσεων αιολικών, φωτοβολταϊκών	Κατασκευαστικός	Εγκαταστάσεις αιολικών, φωτοβολταϊκών, μπαταριών	15
#11	#8	Διευθυντής Τεχνολογίας	Πληροφορικής	-	20
#12	#9	Διευθυντής Έργων Υποδομής	Κατασκευαστικός	Τούνελ, ρεύματα νερού, υποδομές, λιμενικά	20
#13	#10	Διευθυντής Έργων	Κατασκευαστικός	Διανομή/μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας	10

3.2.4 Ολοκλήρωση έρευνας

Η έρευνα είχε προγραμματιστεί να ολοκληρωθεί περί τα τέλη Ιουλίου όπου και θα είχε μαζευτεί υλικό. Τελικά ολοκληρώθηκε στις αρχές Αυγούστου έχοντας πραγματοποιήσει 10 συνεντεύξεις. Αξίζει να αναφερθεί ότι οι δύο από τις συναντήσεις δεν ήταν συνεντεύξεις ένας-με-έναν, αλλά ομάδες εστίασης (focus groups). Στις δύο αυτές περιπτώσεις συνεντεύξεων (#3 & #7) έγινε συζήτηση με 2 και 3 ανθρώπους αντίστοιχα, διαδικασία που συντέλεσε στην ακόμα μεγαλύτερη επιβεβαίωση και ενίσχυση των αποτελεσμάτων. Επειδή μέσα από τη συζήτηση προέκυψε διάλογος, τα αποτελέσματα της κουβέντας ήταν ακόμα πιο επικοινωνιακά και ισχυρά.

Έτσι, έχοντας επιβεβαιώσει από πολλές πλευρές τα αποτελέσματα, όταν άρχισαν να γίνονται επανειλημμένες αναφορές στις ίδιες τεχνολογίες και δεν προέκυπτε νέα γνώση, λήφθηκε η απόφαση για τερματισμό της φάσης των συνεντεύξεων.

3.3 Μέθοδος αποδελτίωσης δεδομένων – τεχνική Διαγραμμάτων Συνάφειας (Affinity Diagram technique)

Τα δεδομένα που λήφθηκαν από τις συνεντεύξεις, είτε σε μορφή σημειώσεων, είτε από αποδελτίωση των ηχογραφήσεων, έμελλαν επεξεργασίας.

Το πρώτο βήμα που έγινε ήταν μια αρχική κατηγοριοποίηση και οργάνωση των δεδομένων. Έτσι έγινε πιο εύκολη η ανάλυση της πληροφορίας και η εξαγωγή συμπερασμάτων.

3.3.1 Εξήγηση της τεχνικής Διαγραμμάτων Συνάφειας (Affinity Diagram technique)

Η ανάλυση δεδομένων έγινε με χρήση της τεχνικής Διαγραμμάτων Συνάφειας (Affinity Diagram technique) (Μαντέλλου, 2023).

Η τεχνική αυτή σύμφωνα με τους (Blixt & Kiriγtopoulos, 2017), είναι η διαδικασία ομαδοποίησης νοημάτων με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων και την κατασκευή ενός Χάρτη Συνάφειας (Affinity Map) που συνδέει αυτά τα συμπεράσματα.

Είναι η διαδικασία διαχωρισμού φράσεων κλειδιών με ξεχωριστό νόημα σε «κίτρινα χαρτάκια» (τύπου post-it), στη συνέχεια ομαδοποίηση των «κίτρινων χαρτιών» με παρόμοια νοήματα που οδηγούν σε ένα συμπέρασμα και καταγραφή αυτού σε ένα ανώτερο «χαρτάκι». Τέλος ομαδοποίηση και άλλων ανώτερων «κίτρινων χαρτιών» και εξαγωγή ανώτατου συμπεράσματος.

Τελικά, η κατάστρωση του Χάρτη Συνάφειας (Affinity Map) γίνεται με συσχέτιση ρών πληροφορίας και αλληλοσυνδέσεων μεταξύ των «χαρτιών» ανώτατου συμπεράσματος.

3.3.2 Διαδικασία που ακολουθήθηκε στη συγκεκριμένη εργασία

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε στη συγκεκριμένη εργασία ήταν παρόμοια με αυτή του (Blixt & Kirytoroulos, 2017), αλλά ελαφρώς τροποποιημένη. Επειδή στην περίπτωση της τρέχουσας εργασίας υπάρχει ο σκοπός της αποτύπωσης, τότε κάθε φράση που επαναλαμβάνονταν, συμπληρωνόταν με τον αριθμό πολλαπλότητας στο διάγραμμα συνάφειας και λαμβανόταν υπόψιν υπό διαφορετική βαρύτητα. Αυτή η βαρύτητα αναφερόταν στο διάγραμμα συνάφειας, για πληροφόρηση σχετικά με τη συχνότητα χρήσης κάποιων τεχνολογιών για παράδειγμα.

Οπότε η διαδικασία μετά την αρχική δόμηση των δεδομένων είχε ως εξής:

Τα αρχικά δεδομένα που οργανώθηκαν περιείχαν τόσο αυτούσιες φράσεις των συνεντευξιαζόμενων, όσο και σχόλια/συμπεράσματα που προέκυπταν από τον συνεντευκτή κατά τη διάρκεια της συνέντευξης και συμπλήρωναν το περιεχόμενο. Τα σχόλια/συμπεράσματα χρησιμοποιήθηκαν για την περαιτέρω επεξήγηση του κάθε διαγράμματος συνάφειας.

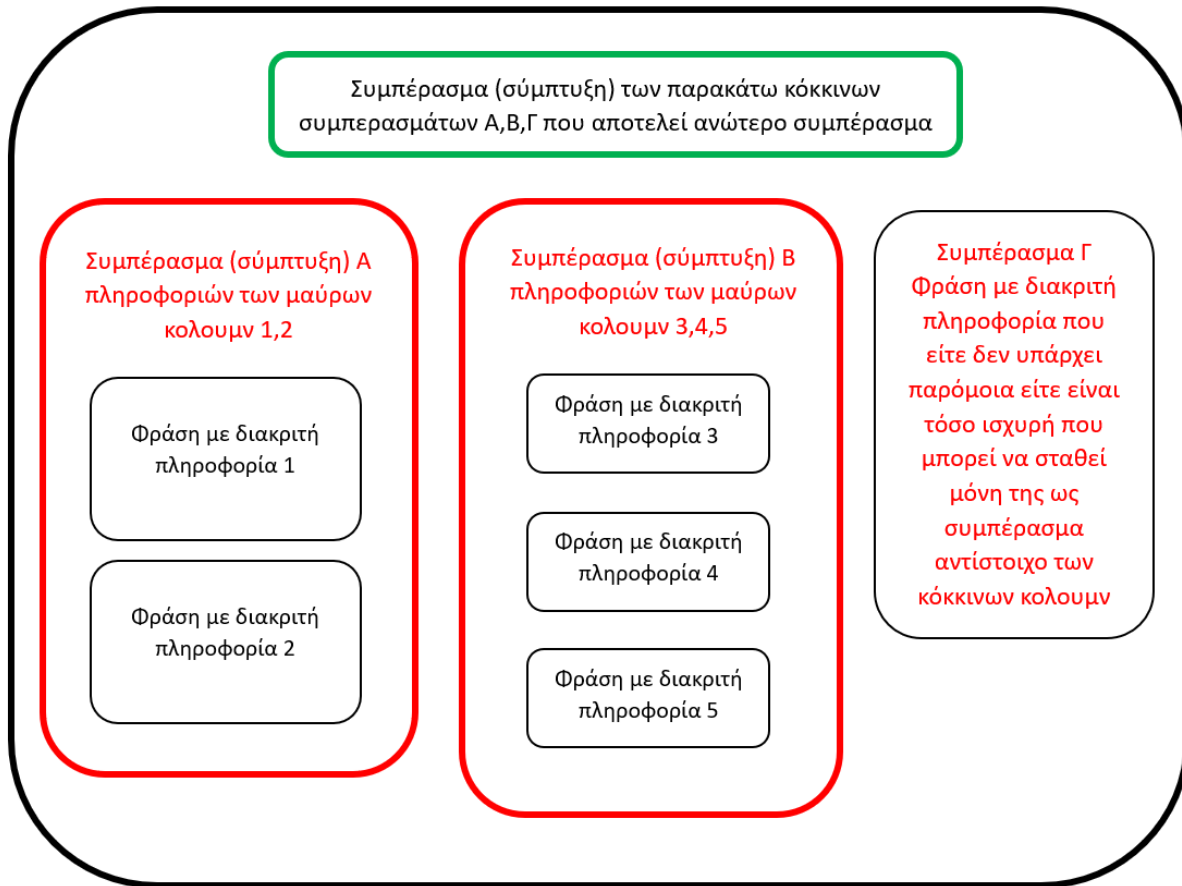
Οι αυτούσιες φράσεις χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία των μικρών μαύρων κολουμν. Αυτά περιέχουν την κάθε φράση με διακριτή πληροφορία. Τα μαύρα αυτά κολουμν ομαδοποιήθηκαν με βάση τη συσχέτιση των νοημάτων τους. Στη φάση αυτή εξασφαλίστηκε και η ανωνυμία των συνεντευξιαζόμενων. Όταν οι φράσεις τοποθετήθηκαν σε κολουμν, αποσυνδέθηκαν από την αρχική ταξινόμησή τους με βάση τον αριθμό συνέντευξης και έτσι δεν υπάρχει δυνατότητα ταυτοποίησης από τον αναγνώστη. Μόνο ο συντάκτης με χρήση του αρχικού αρχείου έχει τη δυνατότητα να ιχνηλατήσει την προέλευσή της κάθε φράσης.

Αφού καταστρώθηκαν τα Διαγράμματα Συνάφειας (Affinity Diagrams), με το καθένα να έχει ένα ανώτερο νόημα, κατασκευάστηκε ο Χάρτης Συνάφειας (Affinity Map) που αποτελεί τον χάρτη ροής πληροφορίας αλλά και ως ένα βαθμό χάρτη βαθμού αποτύπωσης της κατάστασης, ποιοτικού χαρακτήρα. Ο χάρτης αυτός βρίσκεται στην παράγραφο 4.2.

Οι διεργασίες αυτές απαιτήσαν μεγάλη συγκέντρωση, βαθιά κατανόηση και σκέψη, ώστε να γίνει σωστά και λογικά η σύνδεση των νοημάτων και η εξαγωγή έγκυρων συμπερασμάτων χωρίς προκαταλήψεις.

3.3.3 Πρότυπο Διάγραμμα Συνάφειας

Παρακάτω φαίνεται το πρότυπο Διάγραμμα Συνάφειας (Affinity Diagram template), που αποτελεί οδηγό για το επόμενο κεφάλαιο και θα βοηθήσει τον αναγνώστη να κατανοήσει σωστότερα αυτά που διαβάζει. Με βάση τους κανόνες αυτού του διαγράμματος κατασκευάστηκαν τα 16 διαγράμματα συνάφειας του επόμενου κεφαλαίου.



Εικόνα 3.3: Πρότυπο Διάγραμμα Συνάφειας (Affinity Diagram Template)

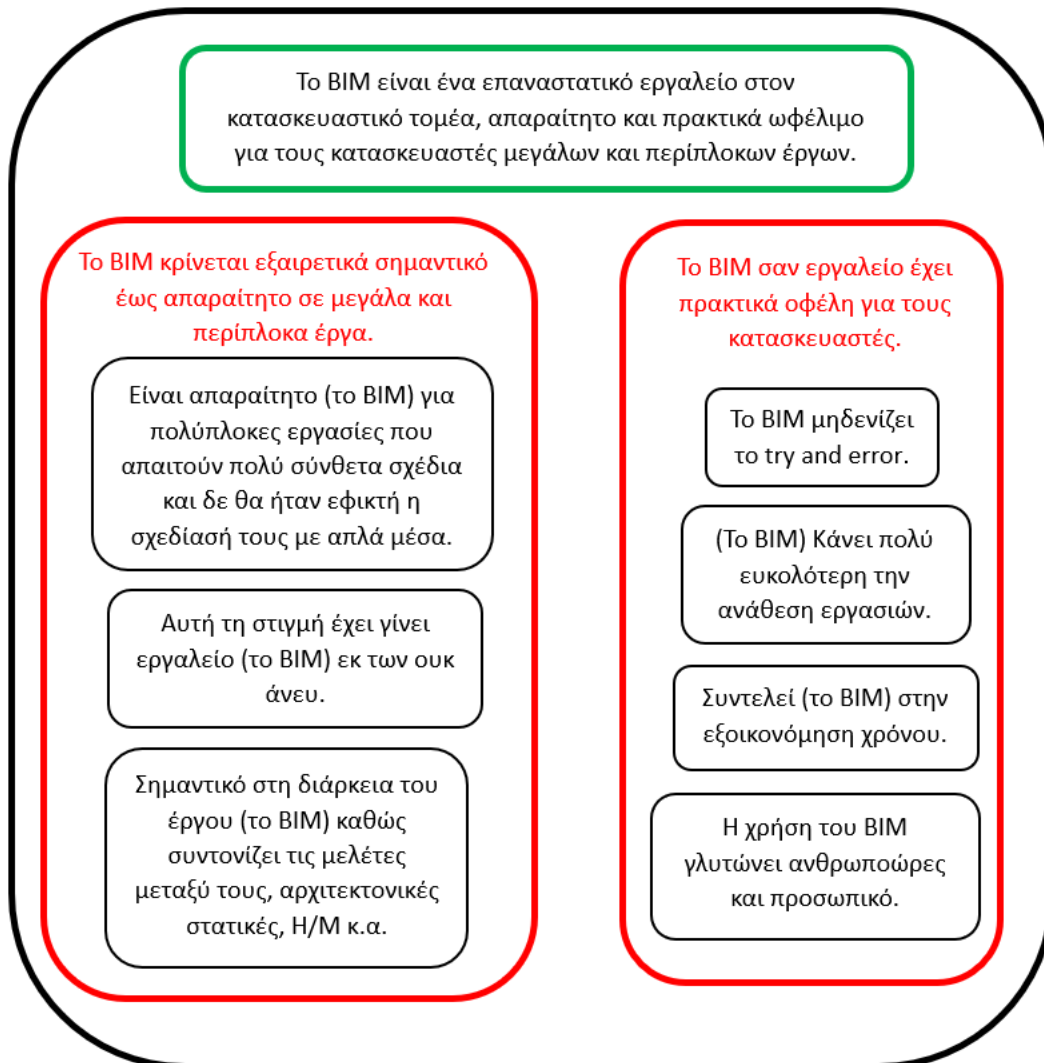
Επεξήγηση - Κανόνες:

- **Κόκκινο κολουμν:** περιλαμβάνει όλες τις μαύρες φράσεις και το συμπέρασμα τους (με κόκκινα γράμματα).
- **Μαύρο μεγάλο κολουμν:** περιλαμβάνει όλη την πληροφορία ενός Διαγράμματος Συνάφειας.
- **Πράσινο κολουμν:** περιλαμβάνει το ανώτερο συμπέρασμα (με μαύρα γράμματα). Τα πράσινα αυτά κολουμν συνθέτουν και τον τελικό Χάρτη Συνάφειας (Affinity Map).
- **Πράσινο κολουμν με κόκκινα γράμματα:** είναι ανώτερο συμπέρασμα που θα λάβει μέρος στον τελικό Χάρτη Συνάφειας, με ρόλο αντίστοιχο των πράσινων κολουμν. Δεν έχει όμως την ισχύ των πράσινων κολουμν, αλλά μπαίνει στον χάρτη διότι συντελεί στην καλύτερη κατανόηση του θέματος, παρότι δεν έχει τόσο στιβαρό υπόβαθρο.

4. Αποτελέσματα Έρευνας – Η κατάσταση του Ελληνικού Κατασκευαστικού Τομέα

4.1 Διαγράμματα Συνάφειας (Affinity Diagrams)

4.1.1 BIM



Εικόνα 4.1 Διάγραμμα Συνάφειας Δ1: BIM - Η επανάσταση στον Κατασκευαστικό Τομέα

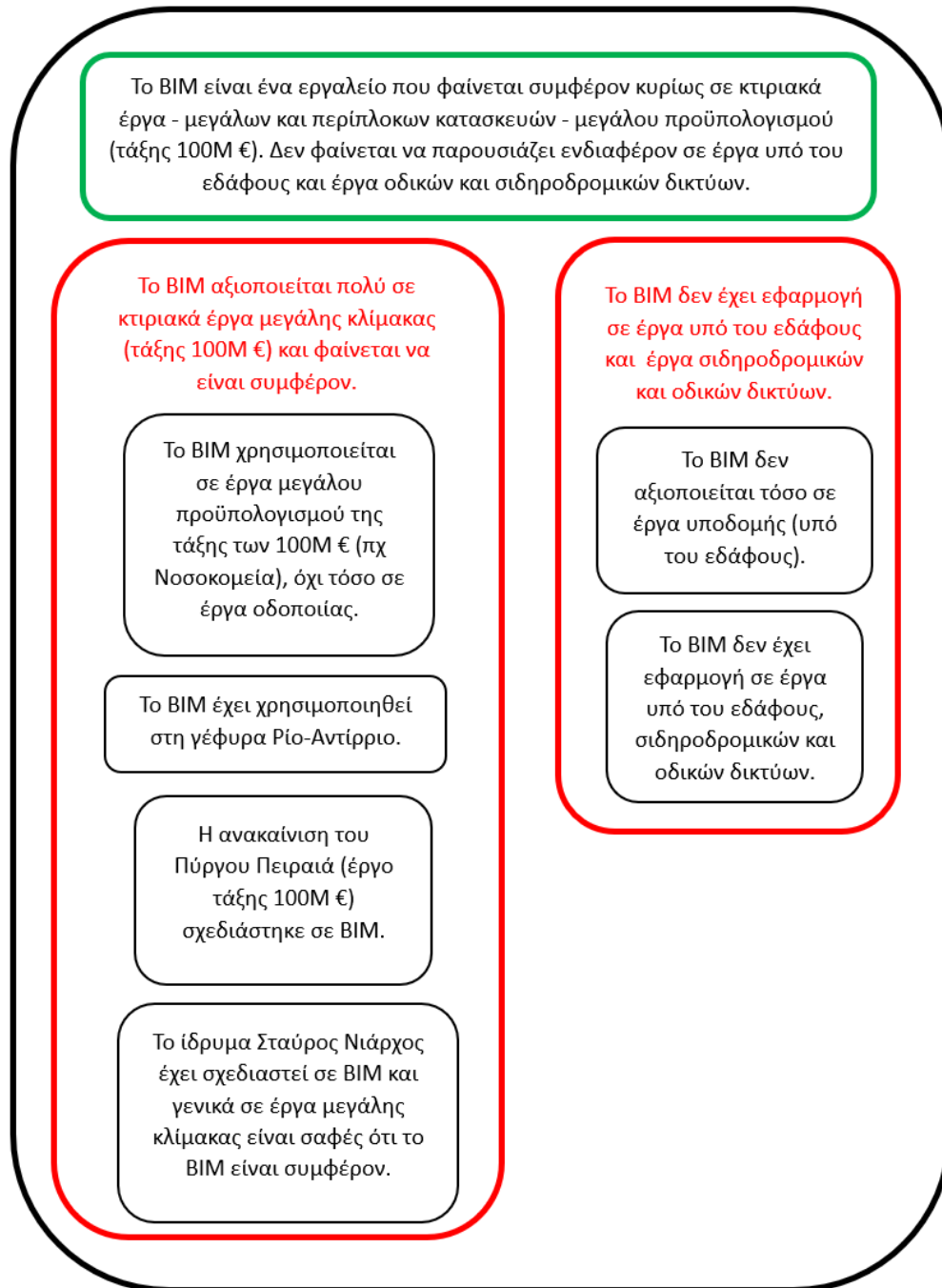
Όταν οι συνεντευξιζόμενοι ερωτήθηκαν ποια είναι η τεχνολογία αυτή που τους εντυπωσίασε περισσότερο τα τελευταία χρόνια, η πλειονότητα των απαντήσεων αφορούσε το BIM. Όλοι σχολίασαν ότι το BIM είναι το εργαλείο αυτό που έχει ανατρέψει τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί ο Κατασκευαστικός Τομέας μέχρι σήμερα.

Το BIM αποτελεί, όπως έχει ήδη αναλυθεί στο πρώτο κομμάτι της μελέτης, ένα εργαλείο σχεδίασης που έχει πολλά πλεονεκτήματα, μερικά από τα οποία προέκυψαν από τη συζήτηση κατά την συνέντευξη #3 και εξηγούνται παρακάτω.

Μεγάλο πλεονέκτημα λοιπόν του BIM είναι ότι δεν είναι απλά ένα τρισδιάστατο σχέδιο αλλά είναι ένα σχέδιο που περιέχει το κάθε στοιχείο του κτιρίου με κωδικοποίηση, επομένως

- Καταλαβαίνει το λογισμικό ότι πρόκειται για πραγματικά εξαρτήματα και όχι απλά γραμμές.
- Παρέχει πληθώρα πληροφοριών (αριθμός τεμαχίων, ποσότητες υλικού).
- Αναγνωρίζει αντίκρουση με άλλο αντικείμενο και εμφανίζει ότι υπάρχει πρόβλημα στο σχεδιασμό.
- Προτείνει νέες λύσεις.
- Υπάρχει δυνατότητα να φορτωθούν στο BIM στοιχεία λειτουργίας (πχ κλιματιστικά, φωτιστικά, αισθητήρες) αυξάνοντας το LOD (Level of Development). Έτσι το BIM μετατρέπεται σε ένα εργαλείο διαχείρισης λειτουργίας, πολύ χρήσιμο για τον πελάτη (σημαντικό και για τη συντήρηση του έργου).

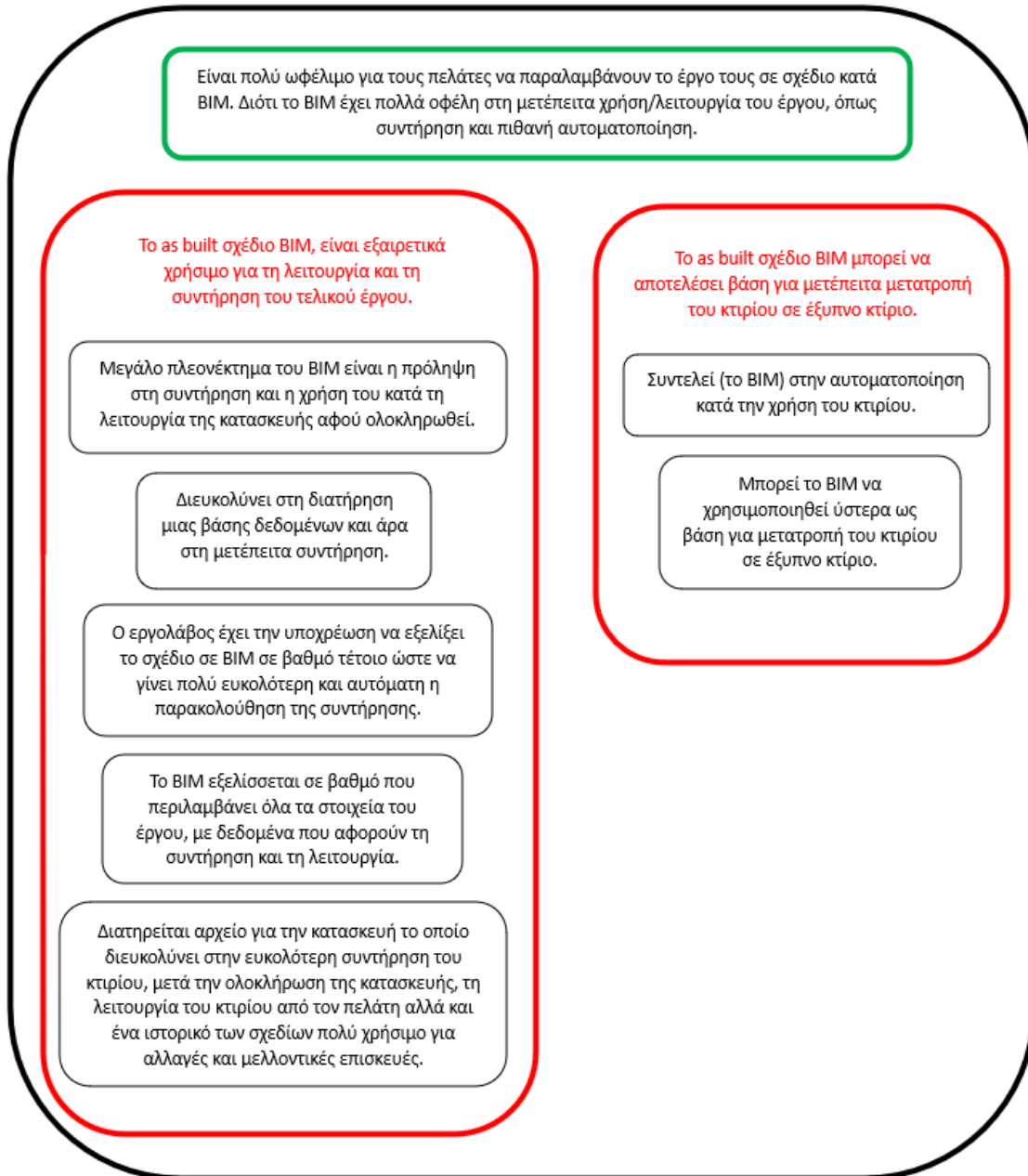
Επίσης το BIM διευκολύνει την διαχείριση πληροφορίας, που όπως εξηγείται και παρακάτω, είναι κάτι πολύ σημαντικό για μια κατασκευαστική εταιρία. Με την ευκολότερη ανάθεση εργασιών, την οργάνωση και την αποτύπωση της προόδου του έργου με ευανάγνωστο τρόπο, εξοικονομείται χρόνος, άρα και χρήματα και μειώνονται τα λάθη. Γίνεται λοιπόν σαφές ότι το BIM δεν είναι ένα απλό εργαλείο σχεδίασης, αλλά ένα απαραίτητο εργαλείο διαχείρισης εργοταξίου (facility management), χρήσιμο τόσο για την κατασκευαστική ή/και τη μελετητική εταιρία, όσο και για τον πελάτη.



Εικόνα 4.2 Διάγραμμα Συνάφειας Δ2: Το BIM και ο κύριος τομέας εφαρμογής του

Οι εταιρίες στις οποίες απευθυνθήκαμε, όπως έχει αναφερθεί, είναι εταιρίες κολοσσοί στις κατασκευές στην Ελλάδα, οπότε αναλαμβάνουν μεγάλα έργα. Σύμφωνα με τους συνεντευξιαζόμενους, τα έργα στα οποία χρησιμοποιείται το BIM, αφορούν έργα της τάξης των 100 εκατομμυρίων ευρώ, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα συνάφειας Δ2. Τα έργα αυτά είναι

κυρίως περίπλοκα, βρίσκονται πάνω από το έδαφος και τις περισσότερες φορές είναι πολύ μεγάλου ύψους. Σε έργα υπόγειων σωληνώσεων, σηράγγων και αγωγών και σε άλλα υπόγεια έργα δεν υπήρξε κάποια αναφορά για χρήση του BIM. Μάλιστα, ο συνεντευξιαζόμενος #12 που έχει εξειδίκευση σε έργα υπό του εδάφους, μας πληροφόρησε ότι εκεί το BIM δεν έχει χρήση, προς το παρόν.



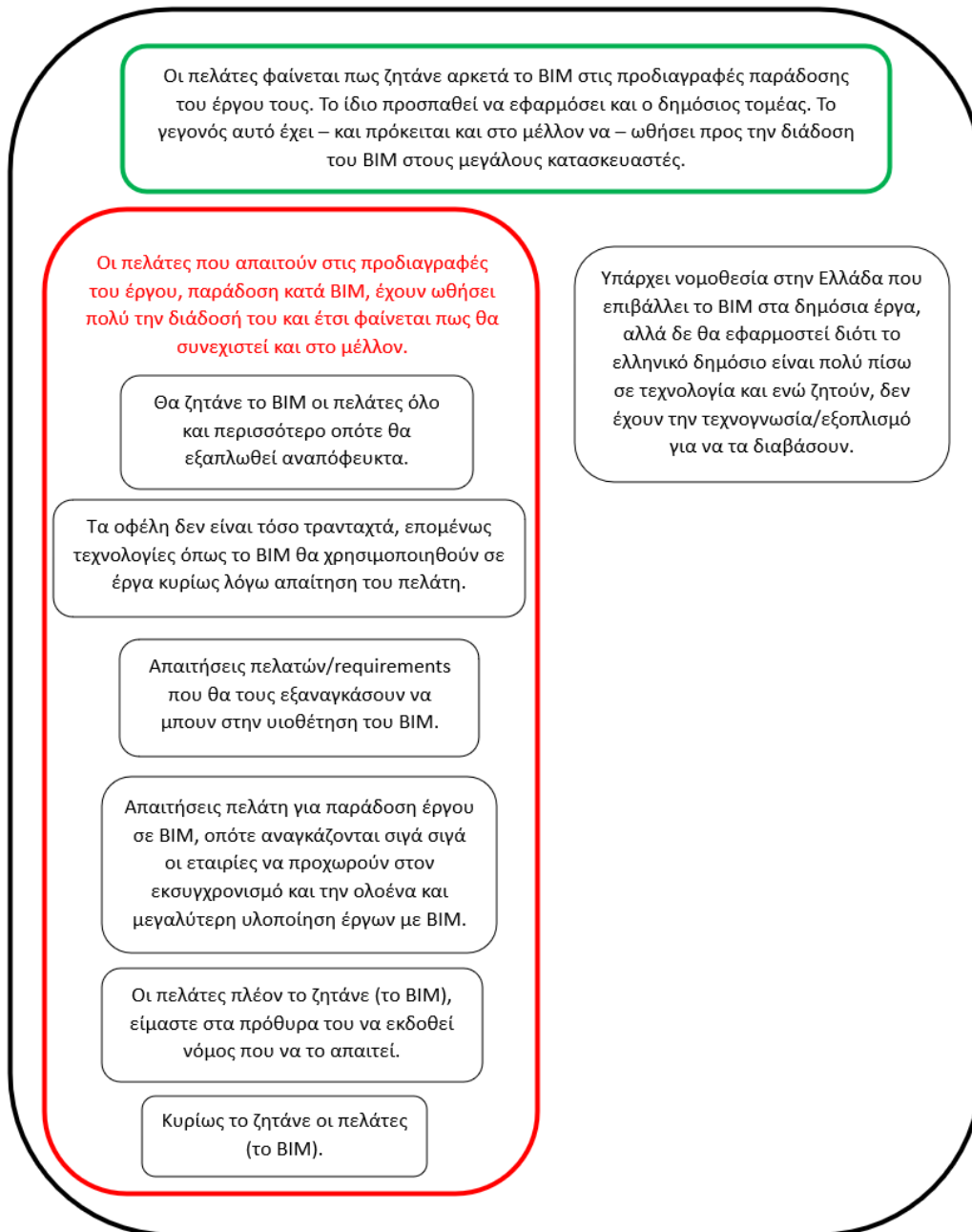
Εικόνα 4.3 Διάγραμμα Συνάφειας Δ3: Εφαρμογές του BIM - Πρακτικά οφέλη για τους πελάτες

Οι πελάτες έχουν αρχίσει και αντιλαμβάνονται την μεγάλη αξία του BIM, τόσο κατά την φάση της κατασκευής όσο και μετά την ολοκλήρωσή της.

Αυτό διότι μέσω του BIM οι πελάτες έχουν τη δυνατότητα να παρακολουθούν την εξέλιξη του έργου τους ζωντανά και διαδραστικά, κάνοντας έτσι πιο διαφανή τη δουλειά του κατασκευαστή. Όπως μας πληροφόρησε ο συνεντευξιαζόμενος #4, σε ένα έργο που είχε αναλάβει, έγινε συνδυασμός χρονοδιαγράμματος με το τρισδιάστατο μοντέλο BIM και των ποσοτήτων (υλικά, κόστη, εξαρτήματα κτλ.) με σκοπό την δημιουργία 3D βίντεο το οποίο παρουσίαζε την εξέλιξη του έργου σε συνάρτηση με τον χρόνο (4D-BIM). Μέσω αυτού γινόταν ζωντανή παρακολούθηση της προόδου των εργασιών, των χρηματικών ροών και προβολή πιθανολογούμενων καθυστερήσεων. Το BIM παρέχει λοιπόν τη δυνατότητα χειροπιαστής παρουσίασης της εξέλιξης του έργου στον πελάτη. Αυτό είναι κάτι σημαντικό για τον πελάτη καθώς έτσι είναι με σαφήνεια ενήμερος για την πορεία του έργου και έχει επίγνωση της κατάστασης.

Επιπρόσθετα το παραδοτέο BIM (as built ή LOD500) που συνοδεύει το ολοκληρωμένο έργο, αποτελεί ένα πολύτιμο αρχείο για τον πελάτη αλλά και για το ίδιο το έργο. Σύμφωνα με τον συνεντευξιαζόμενο #1, το BIM λειτουργεί ως ιστορικό αρχείο για το έργο, που περιέχει όλες τις προδιαγραφές του και τα στοιχεία που έχουν χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή του, επομένως σε δεύτερο χρόνο γίνεται πολύ πιο απλή η επισκευή. Το κατάλληλο ανταλλακτικό θα βρεθεί πάρα πολύ άμεσα, η πηγή κάποιου ζητήματος θα βρεθεί πολύ γρηγορότερα, μια ανακαίνιση ή επισκευή θα γίνει πολύ ευκολότερα, με μεγαλύτερη ασφάλεια και σιγουριά.

Τέλος, όπως αναφέρει ο συνεντευξιαζόμενος #5 το BIM αποτελεί τη βάση για τη μετατροπή του κτιρίου σε «έξυπνο κτίριο». Δηλαδή, μπορεί ο φορέας που αξιοποιεί το κτίριο να το εξοπλίσει με αισθητήρες και εργαλεία Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things), μετατρέποντας το BIM σε ένα Ψηφιακό Δίδυμο (Digital Twin) του κτιρίου. Έτσι υπάρχει η δυνατότητα να γίνεται, παραδείγματος χάριν, παρακολούθηση των καταναλώσεων, αλλά και έλεγχος και αυτοματοποίηση σε ζωντανό χρόνο. Συγκεκριμένη εφαρμογή είναι η απενεργοποίηση του κλιματισμού όταν ο άνθρωπος φύγει από τον χώρο (παραδείγμα συνέντευξης #3).



Εικόνα 4.4 Διάγραμμα Συνάφειας Δ4: Το BIM πλέον ως προδιαγραφή παράδοσης έργων

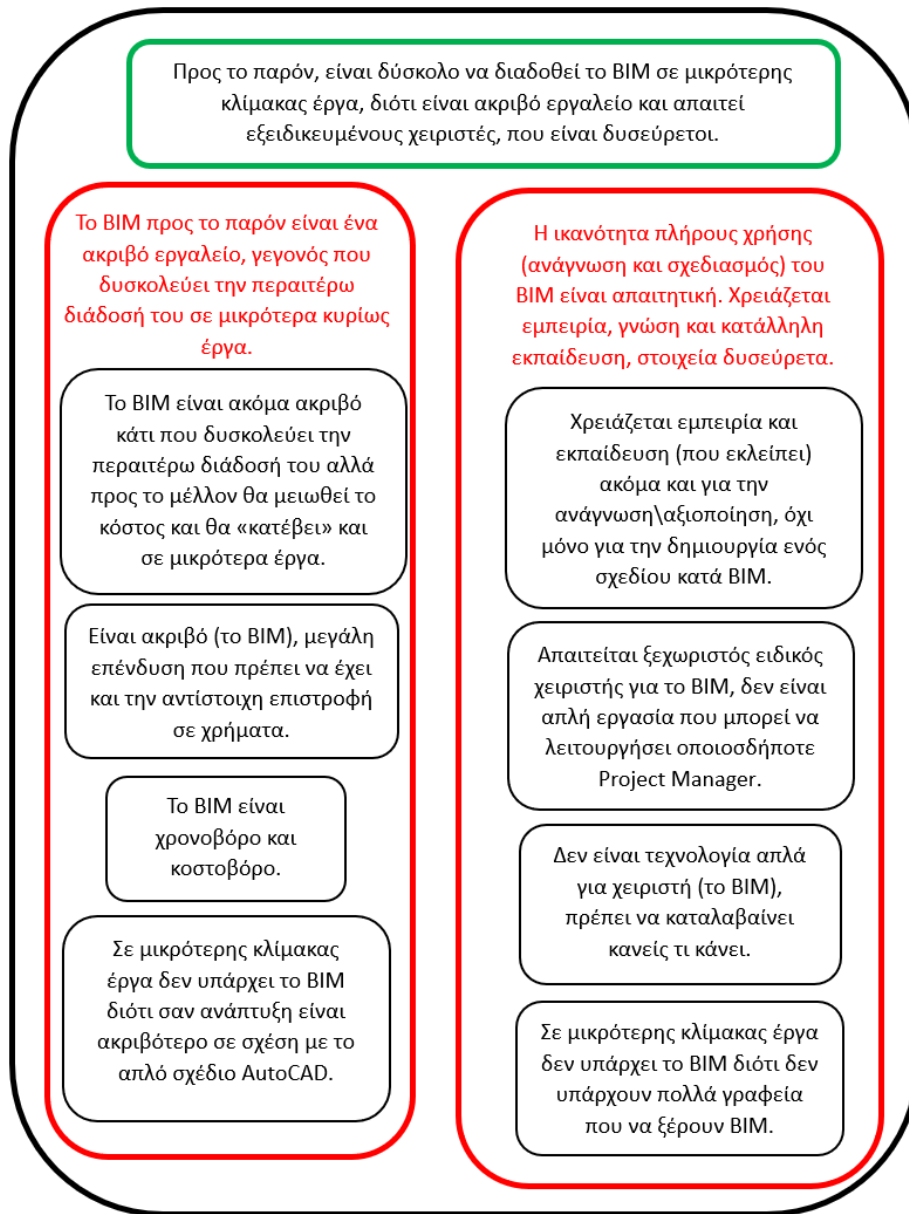
Οι πελάτες λοιπόν έχοντας διαπιστώσει τα πολλαπλά οφέλη του BIM, ζητούν ολοένα και περισσότερο την παράδοση του έργου τους κατά BIM. Στα μεγάλα έργα είναι πλέον σχεδόν αδύνατο να μην ζητήσει ο πελάτης παράδοση κατά BIM, κάτι που σημαίνει ότι όποια κατασκευαστική/μελετητική εταιρία θέλει να παραμείνει ενεργή στην αγορά, δεν έχει επιλογή παρά να υιοθετήσει τη χρήση του BIM. Και δεν είναι απαραίτητο να μάθουν τα ίδια τα στελέχη

της εταιρίας BIM, αλλά να απευθυνθούν σε εξειδικευμένα γραφεία που είναι υπεύθυνα για σχεδιασμό κατά BIM. Αρκεί βέβαια να υπάρχει μια στοιχειώδης γνώση για έστω την ανάγνωση και κατανόηση ενός BIM σχεδίου από ένα στέλεχος, κυρίως από τον Διευθυντή Έργων (Project Manager).

Με τον ίδιο τρόπο κινείται και ο δημόσιος τομέας, που παρότι εξελίσσεται με πιο αργούς ρυθμούς απαιτεί και αυτός στις προδιαγραφές δημόσιων έργων την παράδοση κατά BIM. Αυτό το εγχείρημα, παρόλο που σύμφωνα με τον συνεντευξιαζόμενο #5 έχει πολλά εμπόδια σχετικά με το βαθμό εκσυγχρονισμού του δημοσίου που είναι χαμηλός, αποτελεί μια σημαντική πρόοδο.

Μάλιστα, σύμφωνα με την ιστοσελίδα «yrodomes.com», στο προσεχές διάστημα αναμένεται να αναρτηθεί σε Διαβούλευση το Εθνικό Στρατηγικό Σχέδιο και ο Οδικός Χάρτης για την Εφαρμογή του BIM στην Ελλάδα. Το Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών έχει ξεκινήσει ενεργά την ψηφιακή μετάβαση του Ελληνικού Κατασκευαστικού Τομέα. Ο Υπουργός Υποδομών και Μεταφορών τόνισε τη σημασία της μοντελοποίησης στον σχεδιασμό, τη μελέτη, την κατασκευή και τη συντήρηση των έργων, αλλά και στη διασφάλιση της ανθεκτικότητάς τους (yrodomes.com, 2023).

Οι απαιτήσεις λοιπόν των πελατών και του δημοσίου έχουν «αναγκάσει» τις εταιρείες στην εντονότερη χρήση του BIM, επομένως στην διάδοσή του στην Ελληνική αγορά και κατά συνέπεια στον εκσυγχρονισμό όλων των μερών.

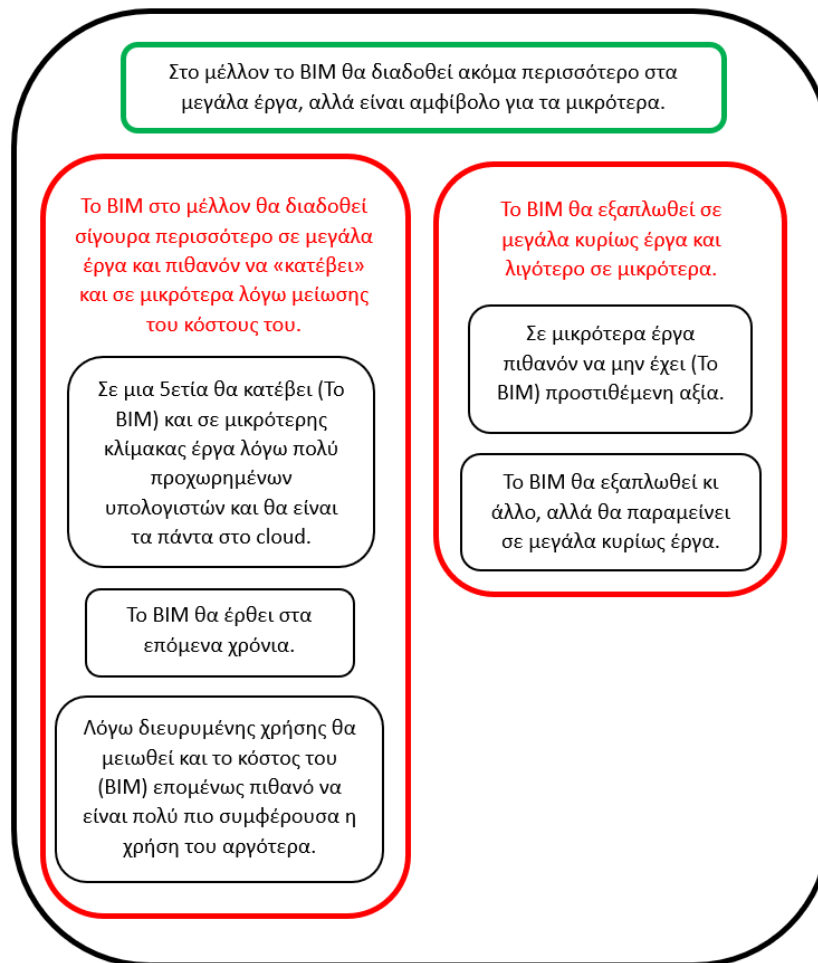


Εικόνα 4.5 Διάγραμμα Συνάφειας Δ5: Μειονεκτήματα του BIM

Το BIM παρόλο που βλέπουμε ότι είναι ένα εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο, έχει και μειονεκτήματα. Πρόκειται για ένα πολύ σύνθετο και ακριβό πρόγραμμα, σύμφωνα και με τον συνεντευξιαζόμενο #13. Το BIM λοιπόν απαιτεί μεγάλη επένδυση από μια εταιρία ώστε να το χρησιμοποιήσει. Πέρα από την αξία του ίδιου του προγράμματος, είναι μεγάλο και το κόστος εύρεσης κατάλληλα εκπαιδευμένων ατόμων να το «χτίσουν» σωστά αλλά και άτομα στην εταιρία να γνωρίζουν πώς να το διαβάσουν. Απαιτεί μεγάλη εμπειρία από ένα στέλεχος για να ξέρει να χειριστεί σωστά το BIM.

Γι' αυτό οι εταιρίες στρέφονται σε εξειδικευμένα γραφεία υπεύθυνα για τη ανάπτυξη του σχεδίου κατά BIM, κάτι που φυσικά δεν έρχεται με ένα αμελητέο κόστος. Απαιτείται επίσης και αρκετός χρόνος για την ανάπτυξη ενός σύνθετου έργου σε BIM, δεν είναι τόσο απλό όσο ένα διδιάστατο σχέδιο (πχ AutoCAD).

Ωστόσο δεν φαίνεται πως αυτοί οι παράγοντες είναι αρκετοί για να σταματήσουν την ανάπτυξη και επέκταση του BIM στο μέλλον, ίσως όμως υπάρξει δυσκολία για τα μικρότερα έργα.

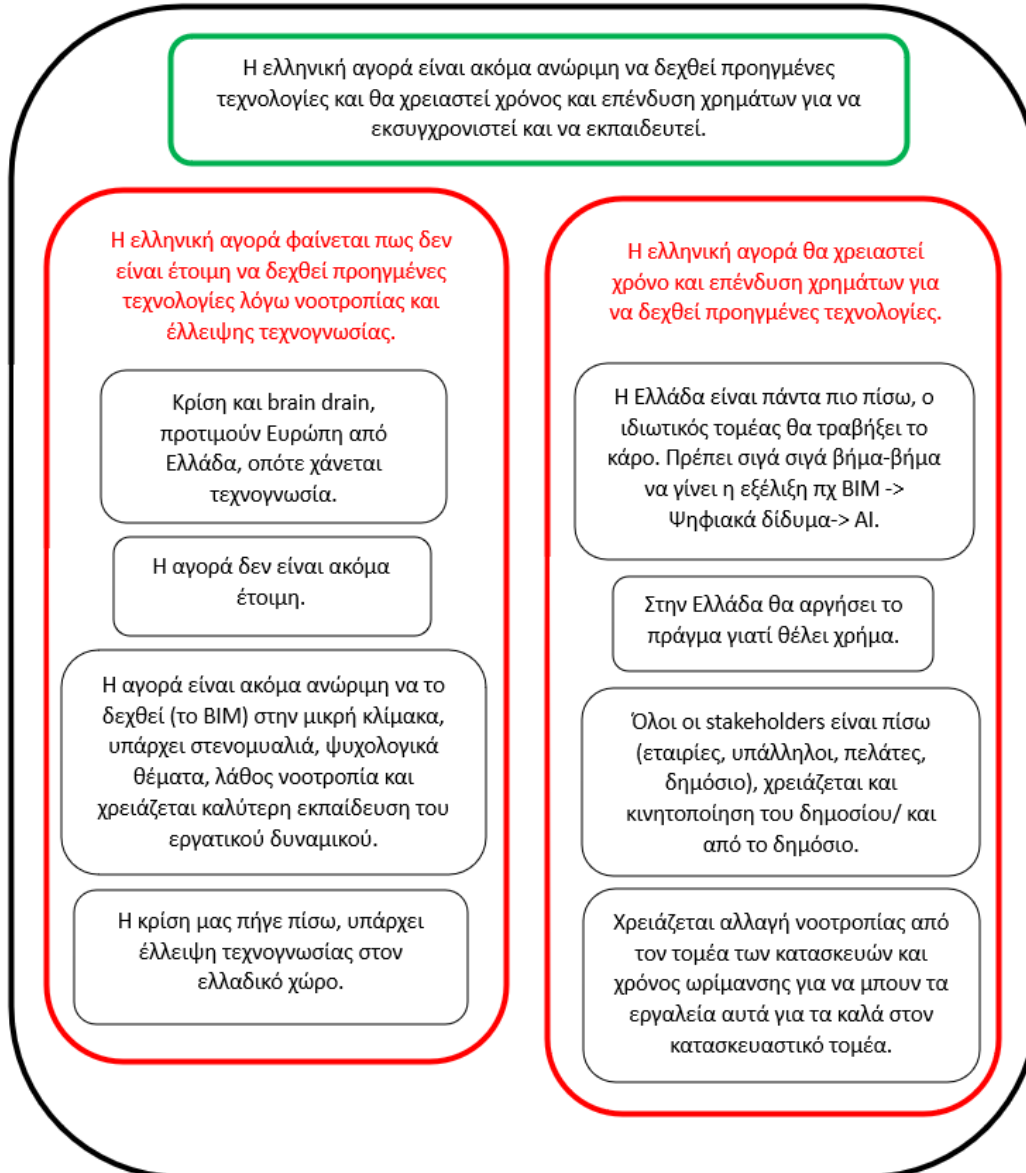


Εικόνα 4.6 Διάγραμμα Συνάφειας Δ6: Το μέλλον του BIM

Το BIM στο μέλλον φαίνεται να έχει ακόμα υψηλότερη απήχηση στα μεγάλα έργα, αλλά οι συνεντευξιαζόμενοι είναι επιφυλακτικοί όσον αφορά τα μικρότερα. Γενικά συμφωνούν όλοι στο ότι το BIM στο μέλλον θα «μεγαλώσει» και άλλο και θα επεκταθεί στην αγορά ακόμη περισσότερο και σε περισσότερα έργα. Αυτό είναι κάτι αποδεκτό και λογικό, αν αναλογιστεί κανείς τα οφέλη που αναλυθήκαν παραπάνω και την βαρύτητά τους σε σχέση με τα μειονεκτήματα του BIM.

Το ζήτημα τίθεται στο αν το BIM θα διαδοθεί σε μικρότερα έργα και θα υιοθετηθεί από μικρότερους κατασκευαστές. Αυτό είναι αμφίβολο, διότι πιθανώς να μην έχει τόσα, σημαντικά οφέλη σε ένα μικρότερο έργο, για παράδειγμα σε μια απλή πολυκατοικία. Μπορεί επίσης, όπως λένε και οι συνεντευξιαζόμενοι να μειωθεί η τιμή του BIM στα επόμενα χρόνια, λόγω της μεγάλης διάδοσής του και να γίνει προσιτό, αλλά πιθανόν να μην αξίζει η επένδυση σε αυτό, κάτι που εξαρτάται κυρίως από τα χρηματικά οφέλη που θα επιφέρει.

4.1.2 Ετοιμότητα Ελληνικής αγοράς να δεχθεί προηγμένες τεχνολογίες



Εικόνα 4.7 Διάγραμμα Συνάφειας Δ7: Δυσκολία της Ελληνικής αγοράς να δεχθεί προηγμένες τεχνολογίες

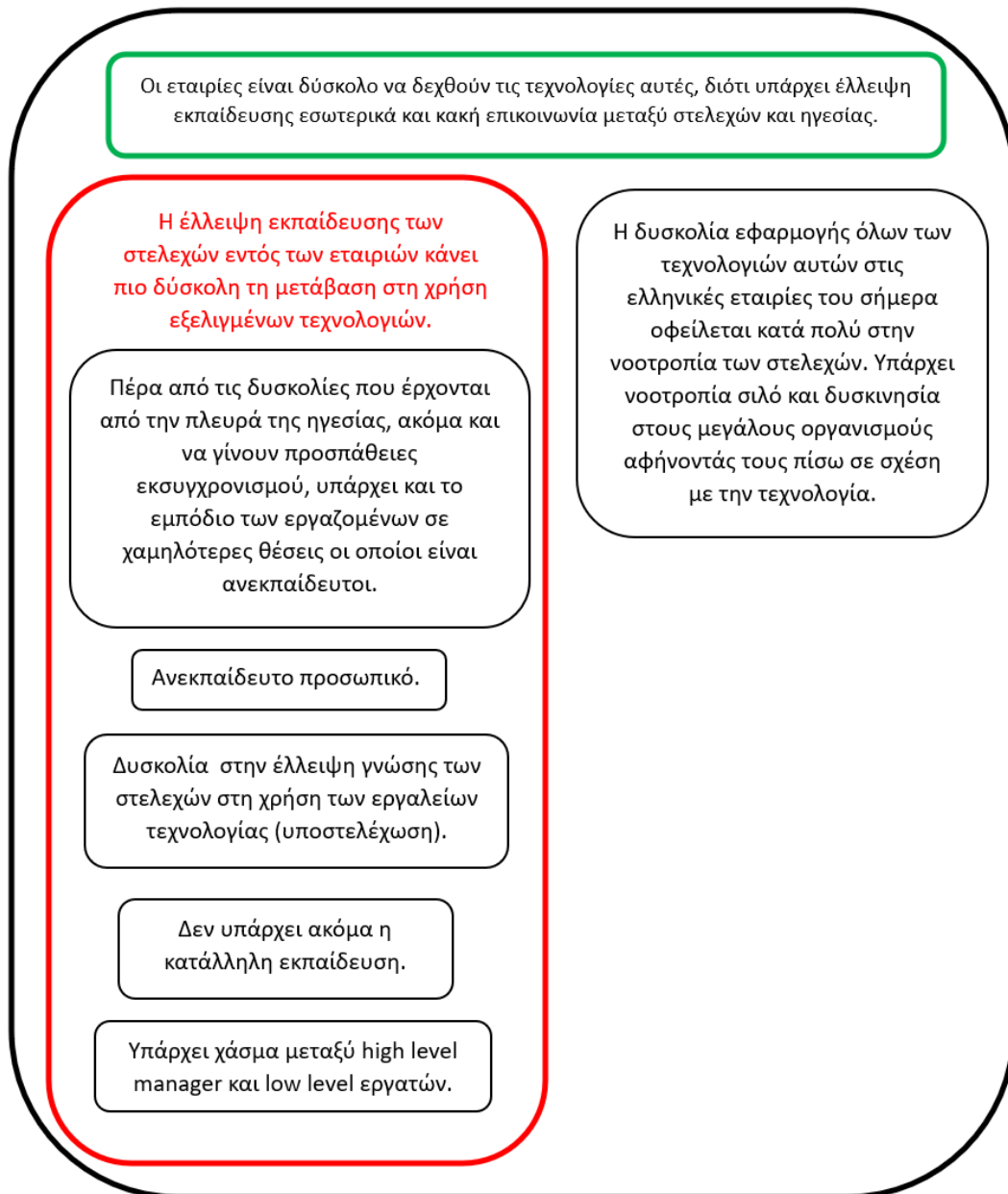
Όταν γίνεται λόγος για Ελληνική αγορά, θεωρείται ότι αυτή περιλαμβάνει τις κατασκευαστικές και μελετητικές εταιρίες, τα γραφεία και τους εργολάβους, τους πελάτες και τους δημόσιους φορείς σχετικούς με τις κατασκευές.

Στο συγκεκριμένο διάγραμμα παρουσιάζεται η ανωριμότητα της αγοράς, η γενικότερη στάση και νοοτροπία. Όπως αναφέρεται, υπάρχει μια αδράνεια, ένα «σκαλοπάτι» στα μάτια των ενδιαφερόμενων μερών στο να κάνουν το άλμα και να μπουν δυναμικά στον ψηφιακό μετασχηματισμό. Οι περισσότεροι έχουν υιοθετήσει το BIM και τα λογισμικά βασισμένα στο Υπολογιστικό Σύννεφο (Cloud-based systems), που ήδη τους ήταν δύσκολο και τώρα βρίσκονται μπροστά σε αρκετά προηγμένες τεχνολογίες και στα επόμενα χρόνια αντιμέτωποι με την Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence). Ο ψυχολογικός παράγοντας, η δεδομένη «βλοεμένη» κατάσταση και η το χαμηλό επίπεδο τεχνογνωσίας, συγκρατεί τα ενδιαφερόμενα μέρη από το να επενδύσουν στον ψηφιακό τους μετασχηματισμό, στο κομμάτι των κατασκευών.

Και η επένδυση που απαιτείται όπως φαίνεται είναι μεγάλη, κυρίως για την απόκτηση προηγμένων λογισμικών και εργαλείων, αλλά και για την εκπαίδευση σε αυτά. Θα χρειαστεί παράλληλα και χρόνος ώστε να αποδώσει η επένδυση, η Ελληνική αγορά να προχωρήσει, να εκπαιδευτεί σε βαθμό που θα είναι εφικτή η χρήση των εργαλείων αυτών και θα είναι πλέον οι περισσότεροι εξοικειωμένοι με τα περισσότερα από αυτά. Για να ωριμάσει η Ελληνική αγορά λοιπόν απαιτείται χρόνος αλλά και προσπάθεια σε μορφή επένδυσης χρημάτων.

Γίνεται λόγος για την Ελληνική αγορά συνολικά διότι χρειάζεται μια παράλληλη πρόοδος όλων των ενδιαφερομένων μερών. Δεν γίνεται για παράδειγμα μια εταιρία να ξεκινήσει την υιοθέτηση της τεχνολογίας του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things) και την εγκατάσταση αισθητήρων, αλλά ένας εργολάβος να μην γνωρίζει καθόλου την τεχνολογία των αισθητήρων RFID (Αναγνώριση μέσω ραδιοσυχνότητας (Radio Frequency Identification)). Δεν νοείται να ζητάει το δημόσιο παράδοση έργων κατά BIM αλλά να μην διαθέτει τους υπολογιστές που μπορούν να αναπαραγάγουν το BIM ή να μην έχει υπαλλήλους ειδικούς στο BIM.

Γίνεται λοιπόν προφανές πως ο ψηφιακός μετασχηματισμός είναι ένα εγχείρημα που απαιτεί κινητοποίηση από όλα τα μέρη ταυτόχρονα και είναι σίγουρο πως θα χρειαστεί χρόνος και μεγάλη χρηματική επένδυση.

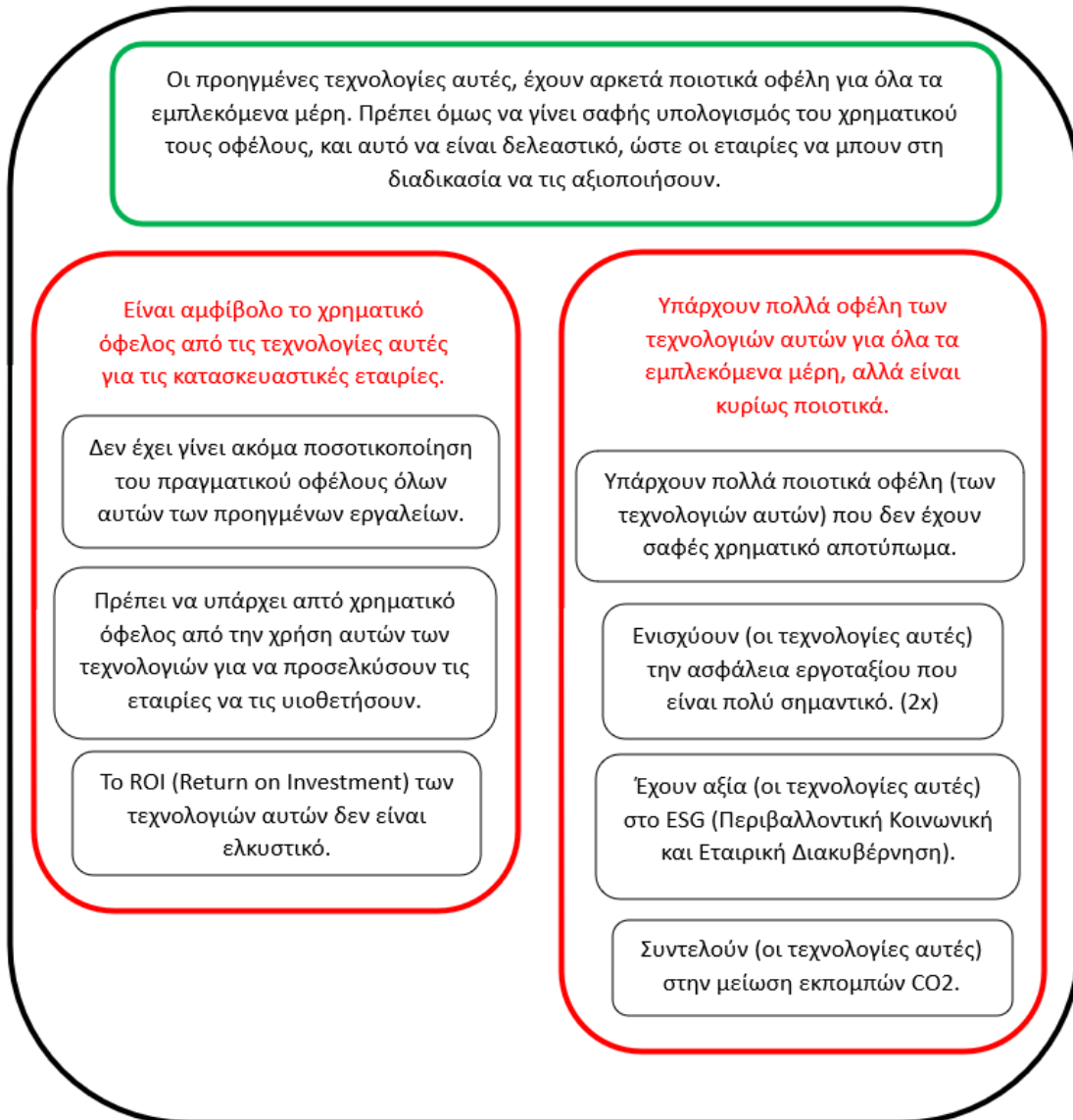


Εικόνα 4.8 Διάγραμμα Συνάφειας Δ8: Δυσκολία από την πλευρά των εταιριών να δεχθούν προηγμένες τεχνολογίες

Τώρα εσωτερικά στις εταιρίες υπάρχουν και άλλα ζητήματα.

Μέσα από το διάγραμμα Δ8 εμφανίζεται και πάλι το θέμα της εκπαίδευσης. Τα ίδια τα στελέχη με τα οποία μιλήσαμε έχουν παράπονα για έλλειψη τεχνογνωσίας εντός των εταιριών και χαμηλό επίπεδο γνώσεων. Υπάρχει όπως λέει και ο συνεντευξιαζόμενος #13, υποστελέχωση. Υπάρχει χάσμα μεταξύ των υψηλόβαθμων στελεχών και των χαμηλότερων.

Εδώ εμφανίζεται και το δεύτερο ζήτημα που είναι η νοοτροπία σιλό στις επιχειρήσεις. Η ηγεσία έχει χάσμα με τα στελέχη. Οι Διευθυντές Έργων (Project Managers) για παράδειγμα γνωρίζουν πολύ καλά το πεδίο τους, συμμετέχουν στην πρακτική εξέλιξη των έργων, αφουγκράζονται τις ανάγκες της ομάδας τους και του έργου. Έτσι έχουν καθαρή επίγνωση του τι εργαλεία θα προσέφεραν πραγματικά στην διαχείριση του έργου. Όταν όμως η ηγεσία δεν προσαρμόζεται και δεν «ακούει» τα αιτήματα των στελεχών γίνεται πολύ δύσκολη η εξέλιξη. Ειδικά οι μεγάλες ελληνικές εταιρίες που είναι πιο δυσκίνητες και λιγότερο ευέλικτες σε αλλαγές, με τη νοοτροπία σιλό θα είναι εξαιρετικά δύσκολο να μην μείνουν πίσω.



Εικόνα 4.9 Διάγραμμα Συνάφειας Δ9: Χρηματική απόδοση (ROI) των προηγμένων τεχνολογιών

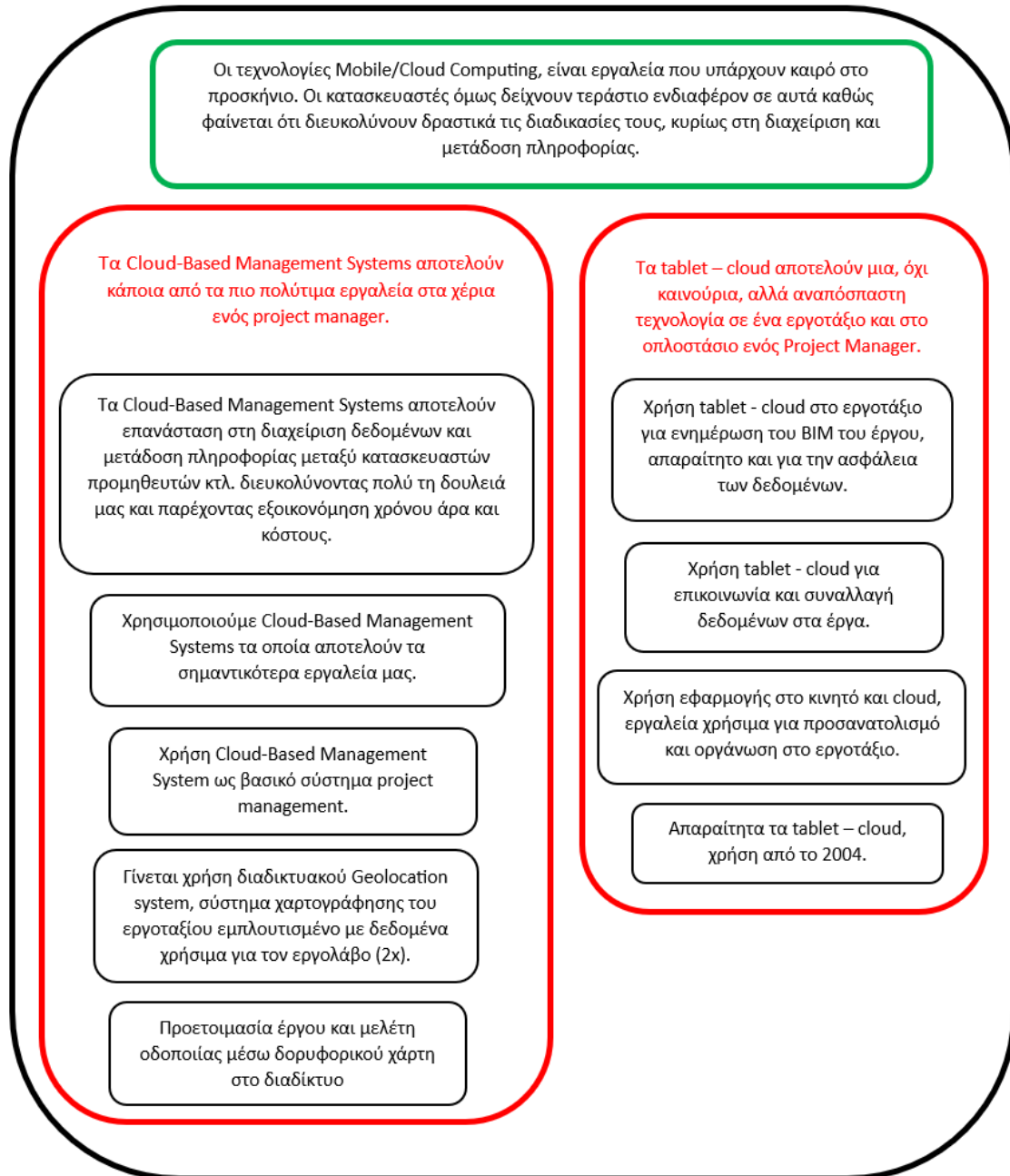
Όλη η συζήτηση που έχει γίνει παραπάνω, καταλήγει στην παρακάτω ερώτηση: Έχει αξία για τις εταιρίες να επενδύσουν χρόνο και χρήματα και να ρισκάρουν σε μια πλεύση εκσυγχρονισμού και τεχνολογικής εξέλιξης; Θα υπάρξει η αντίστοιχη απόδοση της επένδυσης;

Εδώ προκύπτει και το ζήτημα κινήτρου που θα ωθήσει τις εταιρίες να μπουν δυναμικά στον ψηφιακό μετασχηματισμό. Τα προηγμένα εργαλεία αυτά βλέπουμε πως έχουν πολλά ποιοτικά οφέλη. Βοηθούν τις λειτουργίες μιας εταιρίας και παράλληλα συμβάλλουν στην διαμόρφωση μιας θετικής εικόνας. Παραδείγματος χάριν, όπως αναφέρεται στην συνέντευξη #7, οι τεχνολογίες αυτές έχουν αξία στην Περιβαλλοντική, Κοινωνική και Εταιρική Διακυβέρνηση (ESG).

Ωστόσο, το σημαντικότερο είναι η απόδοσης της επένδυσης (ROI – Return on investment). Η απόδοση αυτή κατά την άποψη κάποιων συνεντευξιαζόμενων δεν είναι αρκετή, ενώ κάποιοι δεν γνωρίζουν ποσοτικά πόσο είναι.

Επομένως θα είναι αρκετά σημαντικό για την εξέλιξη του Ελληνικού Κατασκευαστικού Τομέα το να γίνει ένας σαφής χρηματικός υπολογισμός του κέρδους που θα έχει μια επιχείρηση αν υιοθετήσει την κάθε τεχνολογία.

4.1.3 Προηγμένες τεχνολογίες



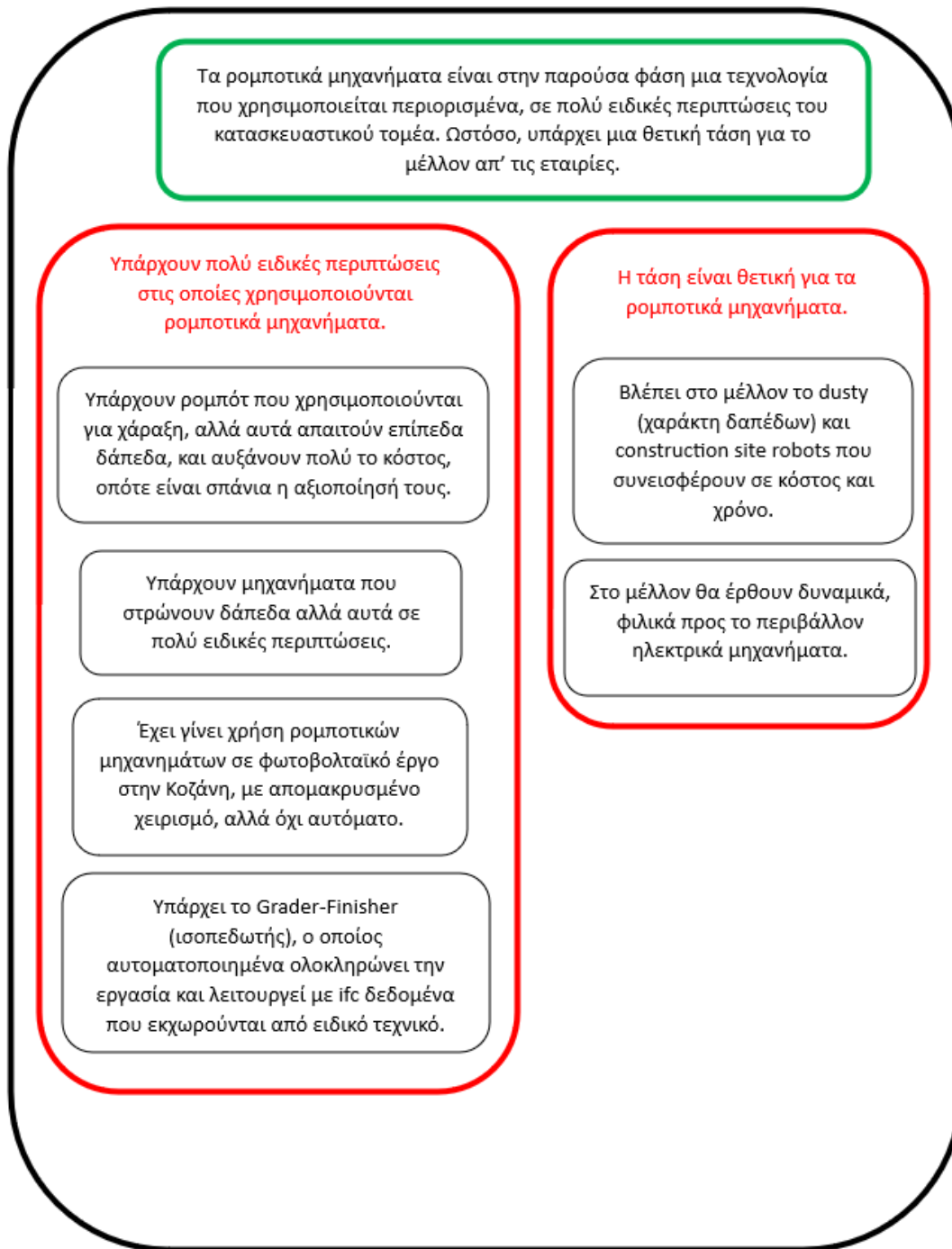
Εικόνα 4.10 Διάγραμμα Συνάφειας Δ10: Το Υπολογιστικό Σύννεφο και Συστήματα (Cloud-based Systems/Computing) & Φορητοί Υπολογιστές (Mobile Computing)

Τα λογισμικά βασισμένα στο Υπολογιστικό Σύννεφο (Cloud Computing), κρίθηκαν από την πλειοψηφία των συνεντευξιαζόμενων ως εξαιρετικά σημαντικά εργαλεία για την δουλειά τους, όπως αναφέρει ο συνεντευξιαζόμενος #5.

Τα λογισμικά (Cloud-Based Management Systems) βασισμένα στο Υπολογιστικό Σύννεφο (Cloud Computing) ήταν στην πραγματικότητα η δεύτερη πιο δημοφιλής απάντηση στην πρώτη ερώτηση της συνέντευξης (Ποια ήταν η τεχνολογία που σας εντυπωσίασε περισσότερο τα τελευταία χρόνια;). Μάλιστα και να μην έδιναν αυτή την απάντηση σε αυτή την ερώτηση, όλοι οι συνεντευξιαζόμενοι χρησιμοποιούσαν κάποιο τέτοιο λογισμικό. Ο συνδυασμός δηλαδή αποθήκευσης, κοινοποίησης μεταξύ των μερών και διαχείρισης πληροφοριών σε συνδυασμό με χρήση φορητών υπολογιστών (Mobile Computing) (όπως πχ tablet) ήταν εξαιρετικά σημαντικά εργαλεία για τους Διευθυντές Έργων (Project Managers).

Οι λόγοι για τους οποίους θεωρούν τόσο σημαντικά τα εργαλεία αυτά είναι η διευκόλυνση στις διαδικασίες και στην επικοινωνία, η μεγάλη εξοικονόμηση χρόνου και άρα κόστους. Όπως εξηγεί ο συνεντευξιαζόμενος #5, κάθε επιχείρηση έχει σκοπό το κέρδος. Ο μεγαλύτερος παράγοντας για τον οποίο οι εταιρίες «μπαίνουν μέσα» είναι οι καθυστερήσεις, η δυσκολία του σωστού χρονικού προγραμματισμού. Ο μεγαλύτερος εχθρός ενός έργου με επιτυχημένο χρονικό προγραμματισμό είναι η κακή ροή πληροφορίας. Εδώ έρχονται λοιπόν να φέρουν τη λύση τα Λογισμικά βασισμένα στο Υπολογιστικό Σύννεφο (Cloud-Based Management Systems), όπου διευκολύνουν και οργανώνουν σε μεγάλο βαθμό την ανταλλαγή της πληροφορίας. Προσφέρουν καλύτερη επικοινωνία άρα το έργο θα προχωρήσει ταχύτερα και άρα εντός προγραμματισμένου κόστους, οπότε και ο πελάτης και ο κατασκευαστής είναι ευχαριστημένοι.

Στα λογισμικά αυτά προστίθενται και οι ταμπλέτες (tablet) ως μέρος της τεχνολογίας των Φορητών Υπολογιστών (Mobile Computing), που (όπως εξηγείται στην παράγραφο 2.11.2) συνδέεται άρρηκτα με το Υπολογιστικό Σύννεφο (Cloud Computing). Αυτή η κατηγορία τεχνολογίας παρότι όπως αναφέρει ο συνεντευξιαζόμενος #2, είναι στο προσκήνιο από το 2004, θεωρείται τεχνολογία της Κατασκευής 4.0 (Construction 4.0). Και είναι πολύ σημαντική διότι και πάλι διευκολύνει την δουλειά ενός Διευθυντή Έργου (Project Manager) στο εργοτάξιο κάνοντας πιο άμεση την επικοινωνία και ευκολότερη την ενημέρωση πληροφοριών στο BIM, την προσθήκη φωτογραφιών και τη δημιουργία λίστας ελαττωμάτων (snag list). Βοηθά ακόμα και στον προσανατολισμό στο εργοτάξιο, όπως αναφέρει ο συνεντευξιαζόμενος #12.



Εικόνα 4.11 Διάγραμμα Συνάφειας Δ11: Ρομποτικά Μηχανήματα (Robotics)

Τα Ρομποτικά Μηχανήματα (Robotics) είναι εργαλεία που όπως φαίνεται έχουν υιοθετηθεί σε μικρό βαθμό από τους κατασκευαστές, λόγω των ειδικών περιστάσεων που απαιτούν για να λειτουργήσουν. Είναι σπάνιες οι περιπτώσεις χρήσης τους.

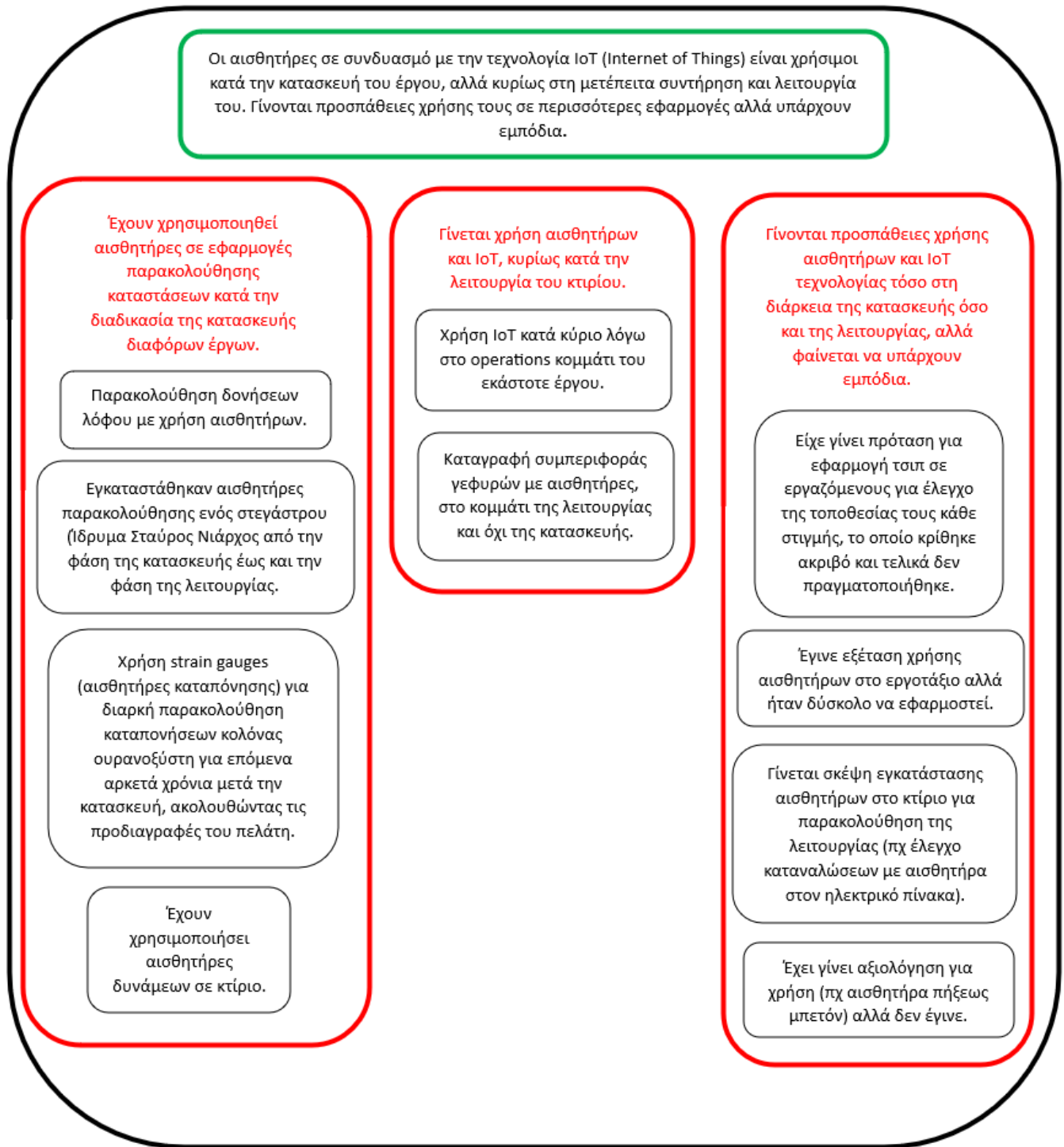
Χρησιμοποιούν τα συμβατικά πετρελαιοκίνητα μηχανήματα με χειριστή. Όπως αναφέρεται και στην συνέντευξη #4, «η κατασκευαστική βιομηχανία δεν έχει αλλάξει εδώ και 2000 χρόνια, πάλι γερανούς και εργατικά χέρια είχαν και τότε όπως και τώρα».

Ο κατασκευαστικός τομέας έχει πολύμορφο περιβάλλον εργασίας με πολλές και διαφορετικές παραμέτρους/συνθήκες που πρέπει να οριστούν, αλλά και απρόβλεπτους παράγοντες, ατέλειες και μεταβλητές οι οποίες είναι πολύ δύσκολο να εκχωρηθούν σε ένα Ρομποτικό Μηχάνημα (Robotics) και έτσι να αυτοματοποιηθούν.

Αυτό έρχεται σε αντίθεση με ένα εργοστασιακό περιβάλλον, όπου οι συνθήκες είναι πλήρως ελεγχόμενες, σαφώς ορισμένες, σχετικά αμετάβλητες και σταθερές, παράγοντες οι οποίοι θέτουν την αυτοματοποίηση πολύ ευκολότερη και αποδοτική.

Υπάρχουν βέβαια πολύ ειδικές περιπτώσεις σε συγκεκριμένες συνθήκες, όπου γίνεται χρήση Ρομποτικών Μηχανημάτων (Robotics). Όπως μας πληροφόρησε ο συνεντευξιαζόμενος #1, δεδομένα από το BIM (ifc data), εκχωρούνται στο μηχάνημα και αυτό με βάση το σχέδιο BIM προσανατολίζεται και πραγματοποιεί την ισοπέδωση σκυροδέματος αυτόματα χωρίς χειρισμό. Έχουμε και τις περιπτώσεις σύμφωνα με την συνέντευξη #7, όπου έγινε απομακρυσμένος χειρισμός μηχανήματος σε φωτοβολταϊκό έργο αλλά όχι αυτόματος, δηλαδή υπήρχε χειριστής. Υπάρχουν και οι περιπτώσεις χάραξης και στρωσίματος δαπέδων από Ρομποτικά Μηχάνημα (Robotics), σε ειδικές περιπτώσεις. Επομένως η δυνατότητα φαίνεται πως υπάρχει, το ζήτημα είναι η χρήση να γίνει ο κανόνας και όχι η εξαίρεση.

Επομένως η τεχνολογία των Ρομποτικών Μηχανημάτων (Robotics) είναι ακόμα σε αρχικά στάδια, αλλά ο συνεντευξιαζόμενος #1 πιστεύει ότι στο μέλλον θα έρθει δυναμικά ειδικά με τη μορφή ηλεκτρικών φιλικών προς το περιβάλλον μηχανημάτων.



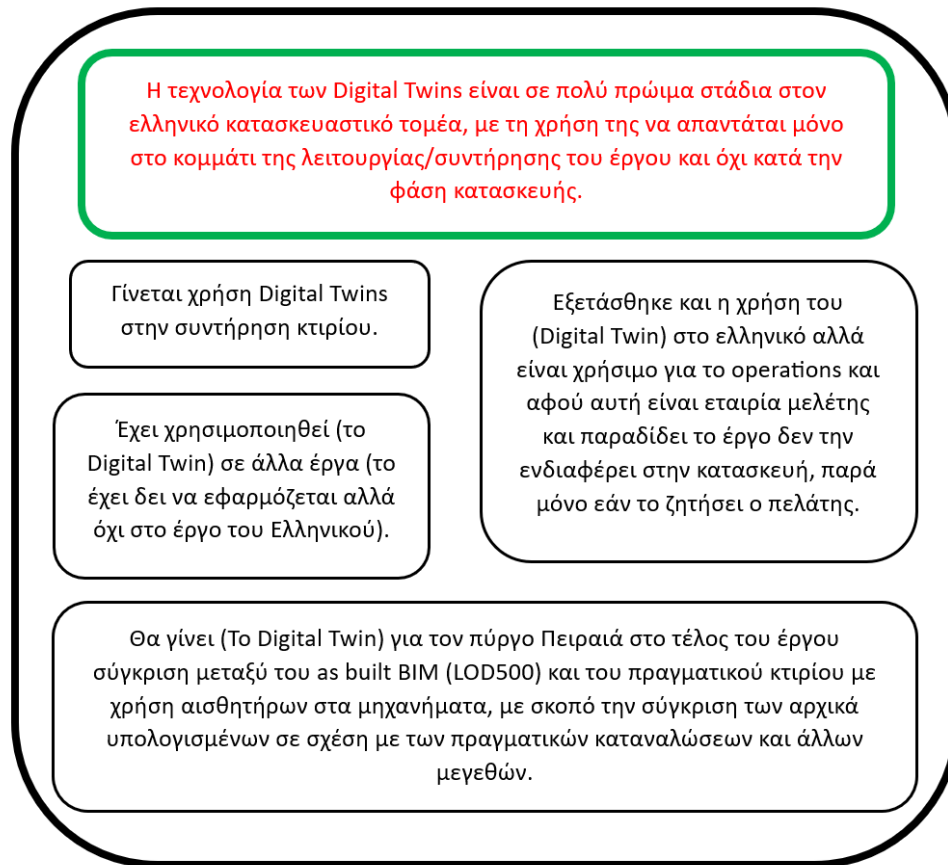
Εικόνα 4.12 Διάγραμμα Συνάφειας Δ12: Αισθητήρες και Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT – Internet of Things)

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things), έχει εφαρμοστεί εν μέρει σε μερικές περιπτώσεις, είτε έχει δοκιμαστεί η χρήση του, αλλά πολλές φορές έμεινε στη δοκιμαστική φάση.

Ακόμα και το γεγονός ότι υπάρχει η δυνατότητα χρήσης της τεχνολογίας στην Ελλάδα είναι μια σημαντική πληροφορία. Είναι μια ένδειξη ότι η τεχνολογική εξέλιξη στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα υπάρχει, ακόμα και αν δεν είναι ακόμα σε άνθιση.

Τώρα, όσον αφορά τους αισθητήρες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανεξάρτητα και όχι αναγκαστικά συνδεδεμένοι στο διαδίκτυο όπως ορίζει η τεχνολογία του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things). Αισθητήρες λοιπόν έχουν χρησιμοποιηθεί για μέτρηση δυνάμεων σε κτίρια, για παρακολούθηση στεγνώματος σκυροδέματος και για μέτρηση καταπονήσεων κτιρίου. Αυτοί οι αισθητήρες αργότερα μπορούν να συνδεθούν στο διαδίκτυο και να παρέχουν δυνατότητα παρακολούθησης της κατάστασης του έργου στη φάση της λειτουργίας του. Έτσι μπορεί ο κατασκευαστής να διατηρεί έναν έλεγχο στο έργο που παρέδωσε, να είναι καλυμμένος και να μπορεί να πιστοποιήσει ότι τηρεί τις προδιαγραφές του πελάτη αλλά και ο ίδιος ο πελάτης να προστατεύεται. Επίσης με αισθητήρες γίνεται παρακολούθηση του στεγάστρου στο ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος κάτι που αξιοποιείται από τη φάση της κατασκευής έως και τη λειτουργία και συντήρηση του έργου.

Οι πιο προχωρημένες περιπτώσεις παρακολούθησης εργατών και παρακολούθησης ενεργειακής κατανάλωσης κτιρίου με αισθητήρες σε συνεργασία με την τεχνολογία Ψηφιακών Διδύμων (Digital Twins), ενώ υπάρχει διαθέσιμη, τελικά έμεινε στη φάση της δοκιμής και δεν χρησιμοποιήθηκε και αυτό πρέπει να προβληματίσει.



Εικόνα 4.13 Διάγραμμα Συνάφειας Δ13: Ψηφιακά Δίδυμα (Digital Twins)

Οι συνεντευξιζόμενοι συμφωνούν ότι η τεχνολογία των Ψηφιακών Διδύμων (Digital Twins) έχει πολύ περιορισμένη χρήση στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα.

Το θετικό πρόσημο βρίσκεται στο ότι κάποιος είτε την έχουν χρησιμοποιήσει, είτε είχαν συμμετάσχει σε έργα που είχε χρησιμοποιηθεί η συγκεκριμένη τεχνολογία και 2 από αυτούς την αναγνωρίζουν ως υπαρκτή έννοια στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα. Η βασική χρήση όμως των Ψηφιακών Διδύμων (Digital Twins), όπως εξετάσθηκε και στο κομμάτι της βιβλιογραφίας, αφορά κυρίως τη φάση της λειτουργίας, μετά την ολοκλήρωση του έργου. Αυτό βλέπουμε να συμβαίνει και στον Ελλαδικό χώρο κάτι που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο Ελληνικός Κατασκευαστικός Τομέας συμβαδίζει με τον παγκόσμιο ως ένα βαθμό. Ωστόσο χρειάζεται ευρύτερη εξάπλωση και όχι αξιοποίηση της τεχνολογίας μόνο από λίγους.

Το βασικό λοιπόν προτέρημα για τα Ψηφιακά Δίδυμα (Digital Twins), όπως έχει ήδη αναλυθεί, είναι ότι συνεργάζονται αρμονικά με το BIM, αποτελούν μια εξέλιξη και αναβάθμισή του, που όπως αναφέρει ο συνεντευξιζόμενος #2 σε ένα απόσπασμα, «τώρα σε σχέση με παλιά έχουμε το real-time». Τι σημαίνει αυτό; Σημαίνει ότι παλαιότερα υπήρχαν τα σχέδια, μπορεί ακόμα και το BIM, αλλά ήταν ένα στατικό σχήμα. Με την βοήθεια όμως τώρα των Ψηφιακών Διδύμων

(Digital Twins) και σε συνδυασμό με τους αισθητήρες και το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things), το BIM μετατρέπεται σε ένα «ζωντανό» σχέδιο που επικοινωνεί και αλληλοεπιδρά με το πραγματικό έργο.

Εύκολα καταλαβαίνει κανείς αυτό που μας πληροφορούν οι συνεντευξιζόμενοι, ότι δηλαδή τα Ψηφιακά Δίδυμα (Digital Twins) είναι εξαιρετικά χρήσιμα στην συντήρηση και επίβλεψη της λειτουργίας του έργου, σε πραγματικό χρόνο αλλά και στην καταμέτρηση καταναλώσεων, απωλειών, διάγνωση βλαβών κ.α.



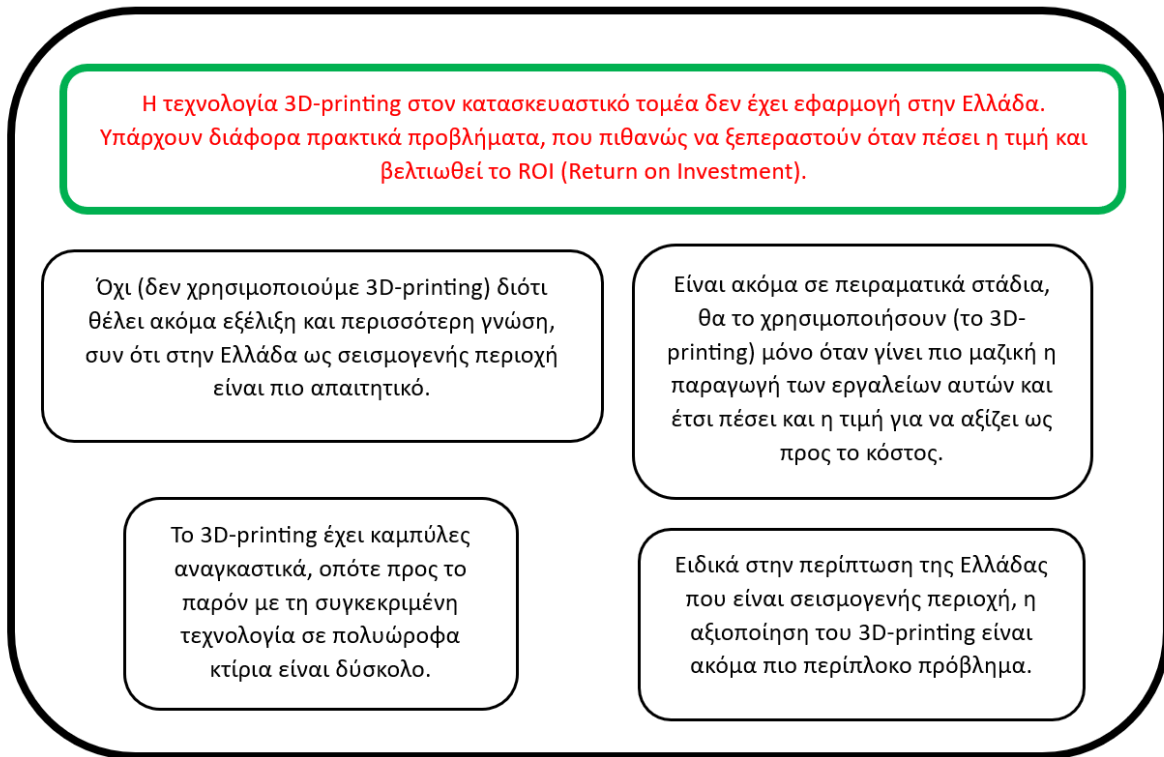
Εικόνα 4.14 Διάγραμμα Συνάφειας Δ14: Μη επανδρωμένα Σκάφη - Drones

Τα Drone είναι από τα πλέον συνηθισμένα εργαλεία και ευρέως χρησιμοποιούμενα σε ένα εργοτάξιο στην Ελλάδα.

Όταν ερωτήθηκαν οι συνεντευξιαζόμενοι για τεχνολογίες που τους εντυπωσίασαν τα τελευταία χρόνια, τα Drone δεν ήταν στην απάντησή τους. Όμως όταν ύστερα τους δόθηκε ο χάρτης όλων των τεχνολογιών της Κατασκευής 4.0 (Construction 4.0), είδαν τα Drone και οι περισσότεροι απαντούσαν: «Α καλά Drone ναι φυσικά και χρησιμοποιούμε πολύ συχνά». Μας εξήγησαν λοιπόν πως τα Drone είναι αρκετό καιρό στον κατασκευαστικό τομέα και χρησιμοποιούνται για τοπογραφικές μελέτες, τοπογραφική αποτύπωση αλλά και επίβλεψη του εργοταξίου, παρακολούθηση της προόδου του έργου και επιθεώρηση σε δυσπρόσιτα σημεία.

Βέβαια, υπήρξαν και κάποιες πιο ιδιαίτερες περιπτώσεις. Ο συνεντευξιαζόμενος #12 μας ενημέρωσε για χρήση του Drone σε συνδυασμό ένα λογισμικό. Το Drone καταγράφει, «σαρώνει», όλο το εργοτάξιο και ύστερα η «ορθοφωτογραφία» που λαμβάνει, μεταβιβάζεται ηλεκτρονικά στο λογισμικό αυτό και επικαλύπτει την προηγούμενη εικόνα του εργοταξίου. Έτσι, ο Διευθυντής Έργου (Project Manager), έχει τη δυνατότητα να αναλύσει την κατάσταση του εργοταξίου, να διαπιστώσει την πρόοδο. Επίσης ένα ακόμα πολύ ενδιαφέρον σημείο είναι το γεγονός ότι διατηρεί ένα ιστορικό της προόδου του έργου. Ειδικότερα, η προηγούμενη «ορθοφωτογραφία» βρίσκεται νοητικά πίσω από την νέα, και ο χρήστης έχει τη δυνατότητα κουνώντας τον κέρσορα να σύρει μια κατακόρυφη μπάρα που αποκαλύπτει μέρος ή και όλη την παλιά ορθοφωτογραφία ακριβώς πίσω από τη νέα. Εργαλείο πολύ χρήσιμο για άμεση και εύκολη σύγκριση παλιάς και νέας «ορθοφωτογραφίας» και άρα σύγκριση με προηγούμενες εκδόσεις της πορείας του έργου.

Τέλος, όπως μας είπε ο συνεντευξιαζόμενος #5, έγινε χρήση Drone για 360 μοιρών σάρωση της κορυφής ενός πύργου, μετατροπή του σε τρισδιάστατο μοντέλο, κατασκευή του μοντέλου με τρισδιάστατη εκτύπωση (συμβατική) και τελικά υποβολή του σε αεροδυναμικό έλεγχο στην αεριοσήραγγα μάλιστα του ΕΜΠ. Έτσι το Drone συντέλεσε σε μια αεροδυναμική μελέτη του ψηλότερου μέρους του κτιρίου, που χωρίς αυτό, κάτι τέτοιο θα ήταν αδύνατο.



Εικόνα 4.15 Διάγραμμα Συνάφειας Δ15: Τρισδιάστατη Εκτύπωση (3D – Printing)

Η Προσθετική Κατασκευή (Additive Construction) ή κοινώς Τρισδιάστατη Εκτύπωση (3D-Printing) στον κατασκευαστικό τομέα, είναι μια τεχνολογία που δεν έχει καμία εφαρμογή στην Ελλάδα αυτή τη στιγμή.

Οι περισσότεροι συνεντευξιαζόμενοι, δεν είχαν καμία επαφή με την Τρισδιάστατη Εκτύπωση (3D-Printing) στις κατασκευές φυσικά, γνώριζαν δηλαδή την Τρισδιάστατη Εκτύπωση (3D-Printing) στην παραγωγή και στη δημιουργία μοντέλων από πλαστικό (πχ PVC) σε μικρή κλίμακα, αλλά δεν έχουν δει πουθενά να εφαρμόζεται σε κτίρια. Συγκεκριμένα στην Ελλάδα πολλοί τόνισαν ότι η πρόκληση είναι μεγαλύτερη λόγω του ότι είναι σεισμογενής περιοχή.

Έχει ενδιαφέρον όμως το κομμάτι της απόδοσης της επένδυσης (ROI) σε μια τέτοια τεχνολογία, για τον κατασκευαστή. Οι συνεντευξιαζόμενοι σημειώνουν ότι πρόκειται για ένα πολύ ακριβό ακόμα εργαλείο που βρίσκεται σε πειραματικά στάδια και δεν αξίζει ακόμα να επενδύσουν σε αυτό. Το κόστος λοιπόν αποτελεί ένα εμπόδιο για την επένδυση σε αυτή την τεχνολογία. Όταν αργότερα γίνει μαζικότερη παραγωγή τέτοιων εργαλείων και άρα γίνει οικονομικότερη, τότε σύμφωνα με τα δεδομένα της συνέντευξης #3, πιθανότατα να χρησιμοποιηθεί.



Εικόνα 4.16 Διάγραμμα Συνάφειας Δ16: Εκτεταμένη Πραγματικότητα (Extended Reality)

Αναφορικά με την τεχνολογία της Εκτεταμένης Πραγματικότητας έχουμε μια γενική κοινή γραμμή με κάποιες αξιοσημείωτες εξαιρέσεις.

Στις συνεντεύξεις #3 και #9 υπήρξε κοινή άποψη στο ότι η τεχνολογία αυτή αποτελεί ένα εμπορικό εργαλείο. Θεωρούν πως κυρίως η Εικονική Πραγματικότητα (Virtual Reality), είναι ένα εμπορικό εργαλείο - και χρήσιμο μάλιστα - που χρησιμοποιούν οι κατασκευαστικές και μελετητικές εταιρίες για να δείξουν στον πελάτη μια προβολή του τελικού έργου. Είναι

σύμφωνα με αυτούς ένα εργαλείο προώθησης (Marketing) ώστε να δαλεάσει τους πελάτες στο να τους επιλέξουν. Μπορεί για παράδειγμα να δημιουργήσουν βίντεο Εικονικής Πραγματικότητας (Virtual Reality) με βάση τα σχέδια του έργου και να δώσουν μια ζωντανή εμπειρία στον πελάτη σαν να βρίσκεται μέσα στο πραγματικό έργο. Κάτι τέτοιο για παράδειγμα είχε γίνει για το έργο του ιδρύματος Σταύρος Νιάρχος.

Τώρα, υπάρχει όμως και η περίπτωση του συνεντευξιαζόμενου #5, που έχει αξιολογήσει τη χρήση της Επαυξημένης Πραγματικότητας (Augmented Reality) και στη φάση της κατασκευής. Όπως μας πληροφόρησε, ήρθε εξωτερικός συνεργάτης με ειδική μάσκα Επαυξημένης Πραγματικότητας (Augmented Reality) η οποία διάβαζε ένα QR code τοποθετημένο στο κτίριο, έπαιρνε πληροφορία για την τοποθεσία και επικάλυπτε την πραγματική εικόνα με την προβολή (projection) του BIM, φαινόταν δηλαδή και ψηφιακό περιεχόμενο επάνω στο πραγματικό. Αυτό μεταδιδόταν ζωντανά (real-time) σε άνθρωπο σε άλλη τοποθεσία. Η διαδικασία αυτή έχει πολλά οφέλη για τον Διευθυντή Έργου (Project Manager) όπως στην επιθεώρηση του κτιρίου. Δηλαδή, όσο προχωράει ο χειριστής στο εργοτάξιο, του εμφανίζει λάθη, πχ αν μια υποδοχή ηλεκτρισμού (πρίζα) δε βρίσκεται όπου θα έπρεπε, ή αν μια κλιματιστική μονάδα (κασέτα) είναι στη σωστή θέση. Βοηθά ακόμη στη βελτίωση των μέτρων ασφαλείας καθώς υπάρχουν εφαρμογές που εγκαθίστανται στο σύστημα αυτό και ελέγχουν την ασφάλεια του εργοταξίου σύμφωνα με κάποια πρότυπα/παραμέτρους που έχουν οριστεί. Παραδείγματος χάριν, αν υπάρχει προστατευτικό δίχτακι ή κάγκελο και το επισημαίνει στον χειριστή εκείνη την ώρα.

Επίσης σε άλλη περίπτωση ο συνεντευξιαζόμενος συμμετείχε σε προσομοίωση σε εικονικό περιβάλλον (Virtual Reality), μια περίπτωσης εργασίας σε μεγάλο υψόμετρο. Μια δυνατότητα που μπορεί να έχει μεγάλη εφαρμογή στην καλύτερη εκπαίδευση των εργαζομένων και κυρίτερα στην αύξηση της ασφάλειας, μείωση ατυχημάτων και ελάττωση κινδύνων στο εργοτάξιο.

Οι τεχνολογίες έχουν πολλά οφέλη και εφαρμογές, υπάρχει η δυνατότητα χρήσης τους, δηλαδή τα γραφεία που παρέχουν τα κατάλληλα εργαλεία υπάρχουν στην Ελλάδα, αλλά τελικά δεν αποφασίστηκε να αξιοποιηθούν. Σε αυτό έρχεται πάλι να απαντήσει το κόστος και το κατά πόσο τα ποιοτικά κυρίως οφέλη υπερτερούν υπέρ αυτού. Προς το παρόν, φαίνεται πως δεν υπερτερούν, αλλά για τη συγκεκριμένη τεχνολογία της Εκτεταμένης Πραγματικότητας (Extended Reality) είναι φανερό πως το βήμα προς την υιοθέτησή τους είναι κοντά.

4.1.4 Λοιπές Τεχνολογίες

Αξίζει να αναφερθούν δύο ακόμα τεχνολογίες οι οποίες συζητήθηκαν με τους συνεντευξιαζόμενους.

Η μία είναι η Προκατασκευή Εκτός Εργοταξίου (Off-site Construction). Σύμφωνα με τη συνέντευξη #3, υπάρχει ένα πρόγραμμα, που συνεργάζεται με το BIM και χρησιμοποιείται για κατασκευή σιδηροκατασκευών εκτός εργοταξίου. Μέσα από αυτή τη συνεργασία λογισμικών μπορούν να προκύψουν βιομηχανικά κατασκευάσιμες δομές, κυρίως σιδηροκατασκευές, όπως

είναι η πρόσοψη κτιρίου (façade), που θα κατασκευάζονται στο εργοστάσιο και θα ύστερα εγκαθίστανται στο εργοτάξιο. Υπάρχουν στην Ελλάδα τέτοιες τεχνολογίες (Offsite construction) με τη διαφορά ότι στο εξωτερικό υπάρχουν μεγάλοι εργολάβοι που αναλαμβάνουν εξ' ολοκλήρου τη μελέτη και κατασκευή της πρόσοψης (façade), ενώ στην Ελλάδα δεν υπάρχει κανένας. Η αγορά το αντιμετωπίζει αυτό μέσω των κατασκευαστών αλουμινίου, που αναλαμβάνουν τέτοια έργα. Γίνεται Σχεδιασμός πρόσοψης κτιρίου (façade) ως ένα ενιαίο κομμάτι σε BIM και έπειτα περνάει και σε κάποιο σχετικό λογισμικό διασύνδεσης BIM και παραγωγής, ώστε να είναι συμβατό για κατασκευή στη βιομηχανία. Αφού κατασκευαστεί, σε δεύτερο χρόνο τοποθετείται στο κτίριο ως έτοιμο κομμάτι (prefabricated Construction). Ο σχεδιασμός μιας πρόσοψης (façade) απαιτεί το BIM διότι συνήθως είναι αρκετά περίπλοκος. Για παράδειγμα η πρόσοψη (façade) ενός πύργου συντίθεται από πάρα πολλά διαφορετικά υλικά (αλουμίνιο, γυαλί, χάλυβα, ξύλο, Corian) σχέδιο το οποίο είναι αδύνατον να αποτυπωθεί πιστά και λεπτομερειακά από ένα απλό διδιάστατο σχέδιο.

Η άλλη περίπτωση αξιοσημείωτης τεχνολογίας είναι οι Σαρωτές Λέιζερ (Laser Scanners) και οι κάμερες (τοπογραφικές, biopic, θερμοκάμερες). Συνήθως, μαζί με τα Drones, οι συνεντευξιαζόμενοι μάς ανέφεραν τις κάμερες και τους Σαρωτές Λέιζερ (Laser Scanners) σαν πακέτο. Σε όλες λοιπόν τις συνεντεύξεις υπήρχε γνώση επί των καμερών και ευρεία χρήση τους σε εργοτάξια. Οι κύριες εφαρμογές τους ήταν για τοπογραφική αποτύπωση και για επίβλεψη/παρακολούθηση του εργοταξίου.

Ακόμη, οι θερμικές κάμερες χρησιμοποιούνται για έλεγχο αν είναι στεγανή η πρόσοψη (façade) ή αν υπάρχουν «θερμογέφυρες» έλεγχος που πολλές φορές απαιτείται για να πιστοποιηθεί ότι το κτίριο τηρεί τις αρχικές προδιαγραφές.

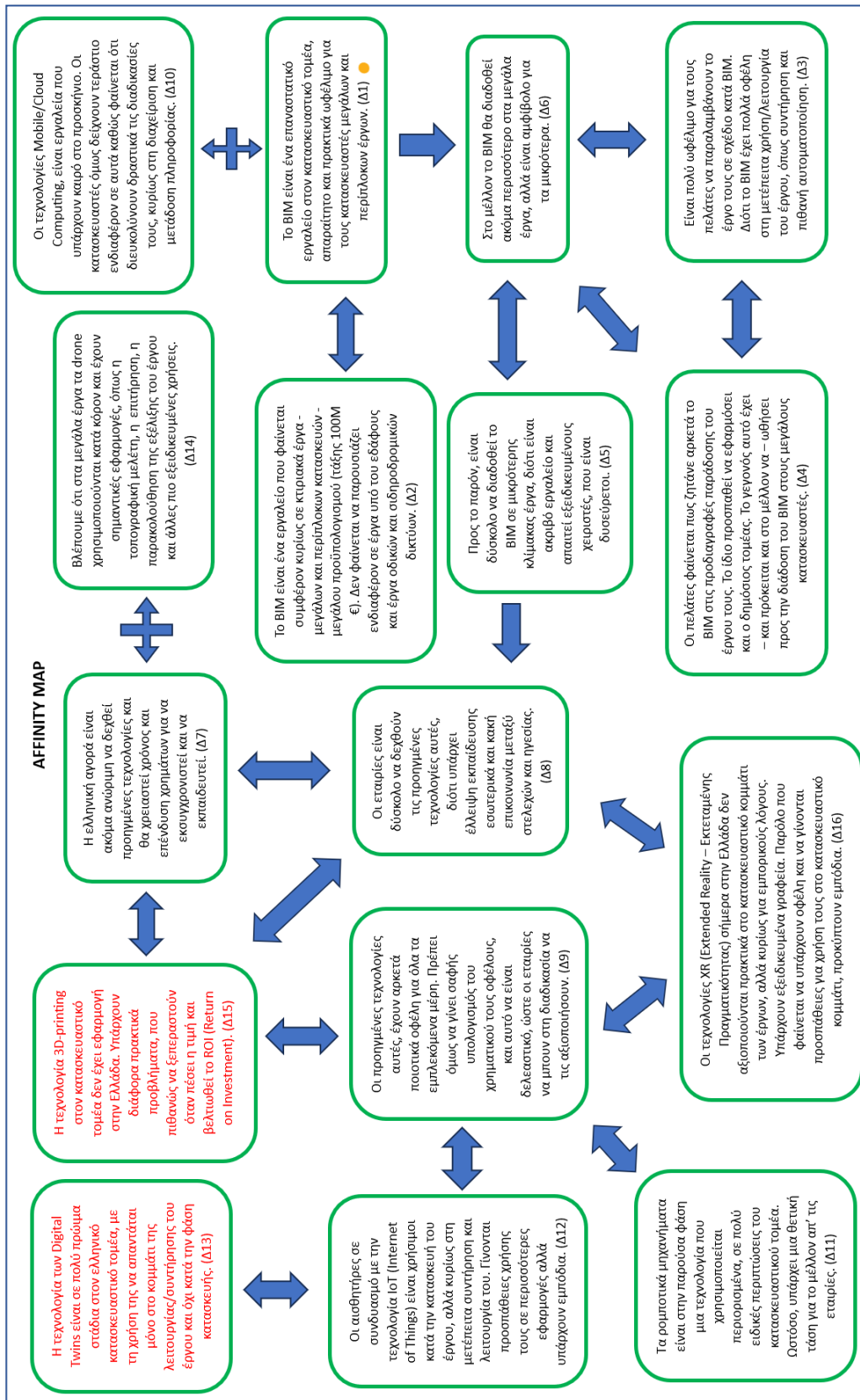
Επίσης έγινε Αναλυτική Μεγάλων Δεδομένων για απόφαση τι αξίζει από περιβαλλοντικής απόψεως, η κατεδάφιση και ανακατασκευή από την αρχή ή η ανακαίνιση για τον Πύργο Πειραιά. Τελικά το αποτέλεσμα έδωσε ότι το να μην γκρεμιστεί το κτίριο θα είχε μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα, λόγω κυρίως των μεγάλων εκπομπών από τις μεταφορές των υλικών.

Τέλος, από το συνεντευξιαζόμενο #5 αναφέρθηκε μία ακόμα πιο προηγμένη χρήση των Σαρωτών Λέιζερ (Laser Scanners). Στην περίπτωση αυτή έγινε σάρωση προς σχέδιο BIM (scan-to-BIM), δηλαδή σάρωση με λέιζερ του υπάρχοντος κτιρίου και μετατροπή του απευθείας σε σχέδιο BIM, με σκοπό να υπάρχει το σχέδιο της ανακατασκευής. Αυτό χρησιμοποιήθηκε στην πράξη για την υλοποίηση του έργου, δεν δοκιμάστηκε απλά, και βοήθησε πολύ. Τα σχέδια του παλιού κτιρίου ήταν ελλιπή και σε μερικά σημεία δεν συμβάδιζαν με το πραγματικό κτίριο, οπότε με τη σάρωση (scan) έγινε μια λεπτομερής αποτύπωσή του εκείνη τη χρονική στιγμή. Αυτή η έκδοση, περιελάμβανε και κάθε πιθανή αλλαγή/επισκευή που είχε γίνει ανά τα χρόνια και σίγουρα δε θα ήταν στο αρχικό σχέδιο.

4.2 Χάρτης Συνάφειας (Affinity Map)





Έχοντας τώρα ως φράσεις κλειδιά, τα πράσινα κόλουμν, που αποτελούν τα συμπεράσματα και το βασικό περιεχόμενο που προκύπτει από κάθε Διάγραμμα Συνάφειας (Affinity Diagram) καταστρώθηκε ο παρακάτω Χάρτης Συνάφειας (Affinity Map). Οι φράσεις στα πράσινα κόλουμν έχουν προκύψει μέσα από τις φράσεις των συνεντευξιαζόμενων και την τεχνική των Διαγραμμάτων Συνάφειας (Affinity Diagram technique). Αυτές όμως συνδέονται νοηματικά, αλληλοβοηθούν και υποστηρίζουν η μία την άλλη και με την αναγνώριση της ροής πληροφορίας μεταξύ τους και τις κατάλληλες συνδέσεις, εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα, όπως φαίνεται μέσω του Χάρτη Συνάφειας (Affinity Map) (εικόνα 4.17).

Ο Χάρτης Συνάφειας (Affinity Map) (εικόνα 4.17) βοηθά τον αναγνώστη να αποκτήσει μια ολιστική άποψη για την κατάσταση του Ελληνικού Κατασκευαστικού Τομέα, να εξάγει συμπεράσματα και να αντιληφθεί τις δυναμικές ισορροπίες που φαίνεται πως υπάρχουν στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα.



Εικόνα 4.17: Χάρτης Συνάφειας για την Κατασκευή 4.0 (Construction 4.0) στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα

Πίνακας 4.1: Υπόμνημα Χάρτη Συνάφειας

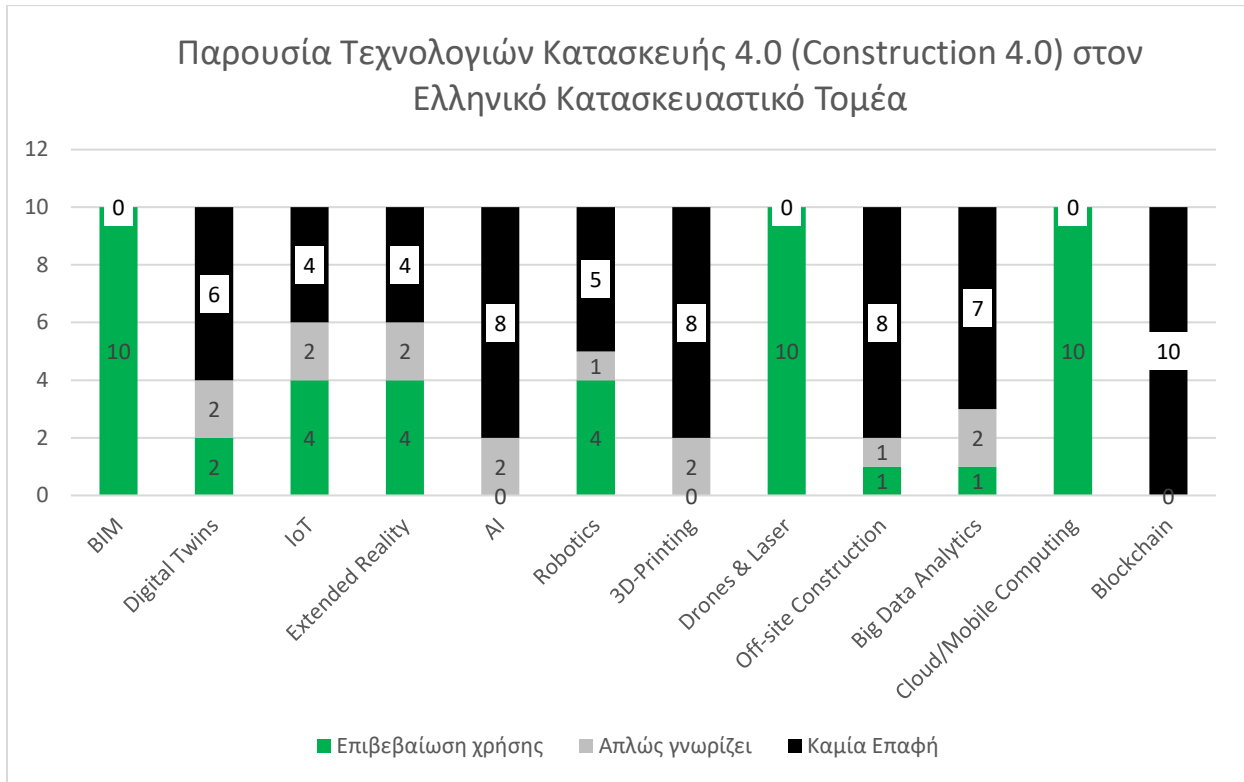
Υπόμνημα Χάρτη Συνάφειας	
Ανταλλαγή πληροφορίας	
Ροή πληροφορίας	
Αντικρουόμενα νοήματα	
Προτεινόμενη έναρξη ανάγνωσης χάρτη	

4.3 Χάρτης Παρουσίας Τεχνολογιών Κατασκευής 4.0 (Construction 4.0) στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα

Με βάση τα στοιχεία που λήφθηκαν από τους συνεντευξιζόμενους καταστρώθηκε το ακόλουθο διάγραμμα. Αυτό παρουσιάζει μια εικόνα του Ελληνικού Κατασκευαστικού Τομέα σε μικρή κλίμακα, που όμως λόγω της μεγάλης εμπειρίας των συνεντευξιζόμενων και του μεγέθους των εταιριών στις οποίες εργάζονται μπορεί να οδηγήσει σε πολύτιμα συμπεράσματα για τη σημερινή κατάσταση και το βαθμό ψηφιοποίησης του Ελληνικού Κατασκευαστικού Τομέα.

Εξετάστηκαν οι 12 τεχνολογίες της Κατασκευής 4.0 (Construction 4.0) που έχουν ήδη αναγνωρισθεί. Με βάση τα δεδομένα των συνεντεύξεων, έγινε μια αποτύπωση του βαθμού εξοικείωσης των στελεχών με τις τεχνολογίες αυτές, όσον αφορά τον κατασκευαστικό τομέα. Σε κάθε τεχνολογία υπάρχουν τρεις κατηγορίες εξοικείωσης. Η μία περίπτωση είναι να μην έχει καμία επαφή με την τεχνολογία ο συνεντευξιζόμενος, δηλαδή να μην γνωρίζει ή να μην αναφέρθηκε σε κάποια χρήση της στον κατασκευαστικό τομέα γενικά (είτε Ελλάδας είτε εξωτερικού) και συμβολίζεται με μαύρο χρώμα. Η δεύτερη περίπτωση είναι να υπάρχει απλά η γνώση ύπαρξης του εργαλείου και χρήσης του στον κατασκευαστικό τομέα γενικά και συμβολίζεται με γκρι χρώμα. Τέλος, είναι η περίπτωση χρήσης της τεχνολογίας, δηλαδή που έχει γίνει χρήση είτε από τον ίδιο είτε αυτός γνωρίζει περιπτώσεις χρήσης της στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα και συμβολίζεται με πράσινο χρώμα.

Τα δεδομένα αυτά παρουσιάζονται στο διάγραμμα παρακάτω, (εικόνα 4.18):



Εικόνα 4.18: Διάγραμμα Παρουσίας Τεχνολογιών Κατασκευής 4.0 (Construction 4.0) στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα

4.4 Συγκεντρωτικός Πίνακας Εφαρμογών Κατασκευής 4.0 (Construction 4.0) στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα

Ο συγκεκριμένος πίνακας (που βρίσκεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1), είναι ο ίδιος πίνακας που περιέχει τη σύνοψη των εφαρμογών της Κατασκευής 4.0 (Construction 4.0) που αναγνωρίστηκαν μέσω της βιβλιογραφίας. Σε αυτόν τον πίνακα έχουν επισημανθεί (με έντονο κίτρινο χρώμα) οι εφαρμογές αυτές που προέκυψαν κατά την διάρκεια των συνεντεύξεων και απεικονίζουν τη χρήση των τεχνολογιών της Κατασκευής 4.0 (Construction 4.0) στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα. Αυτός ο πίνακας μπορεί να οδηγήσει σε πολλά συμπεράσματα για το βαθμό ψηφιοποίησης και τεχνολογικής εξέλιξης του Ελληνικού Κατασκευαστικού Τομέα. Αυτά έχουν αναλυθεί εκτενέστερα στο επόμενο κεφάλαιο.

5. Συμπεράσματα

5.1 Συμπεράσματα με βάση τους Στόχους

Η επιτυχία αυτής της εργασίας θα κριθεί από το κατά πόσο υπηρέτησε τους στόχους της αλλά και από την αξία των στόχων, δηλαδή από τον πρακτικό αντίκτυπο που έχουν τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας.

5.1.1 Αναγνώριση των εργαλείων τεχνολογίας της Βιομηχανίας 4.0 (Industry 4.0) με χρήση στον παγκόσμιο κατασκευαστικό τομέα.

Τα εργαλεία της Βιομηχανίας 4.0 (Industry 4.0) με χρήση στον παγκόσμιο κατασκευαστικό τομέα αναγνωρίστηκαν και είναι οι 12 παρακάτω τεχνολογίες της Κατασκευής 4.0 (Construction 4.0):

1. BIM (Building Information Modeling)
2. Ψηφιακά Δίδυμα (Digital Twins)
3. Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things)
4. Εικονική, Επαυξημένη και Μικτή Πραγματικότητα - Εκτεταμένη Πραγματικότητα (Virtual, Augmented and Mixed Reality – VR, AR, MR - Extended Reality)
5. Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence)
6. Ρομποτικά Μηχανήματα και Αυτοματισμοί (Robotics & Automation)
7. Τρισδιάστατη Εκτύπωση/ Προσθετική Κατασκευή (3D-Printing/Additive Construction)
8. Μη Επανδρωμένα Σκάφη (Unmanned Aerial Vehicles - UAV/Drones) & Σαρωτές Laser (Laser Scanners)
9. Προκατασκευή Εκτός Εργοταξίου (Off-site Construction)
10. Αναλυτική Μεγάλων Δεδομένων (Big Data Analytics)
11. Υπολογιστικό Σύννεφο (Cloud Computing) και Φορητοί Υπολογιστές (Mobile Computing)
12. Τεχνολογίες Διανεμημένων Λογιστικών Βιβλίων (Distributed Ledger Technologies – DLT) - Blockchain

5.1.2 Αναγνώριση πρακτικών εφαρμογών τους στον παγκόσμιο κατασκευαστικό τομέα.

Οι πρακτικές εφαρμογές τους στον κατασκευαστικό τομέα αναλύθηκαν εκτενώς στο κεφάλαιο 2. Ειδικότερα αναγνωρίστηκαν συνολικά 107 εφαρμογές, εκ των οποίων οι 21 αφορούν τη φάση της μελέτης (σχεδιασμού/προγραμματισμού), οι 60 τη φάση της κατασκευής, οι 18 τη φάση της λειτουργίας/συντήρησης και οι 8 τη φάση κατεδάφισης/ανακατασκευής.

Όλες αυτές οι εφαρμογές αναφέρονται στον συγκεντρωτικό πίνακα εφαρμογών (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1) αλλά αναλύονται και περαιτέρω στο κεφάλαιο 2. Ο λόγος που έγινε αυτή η διερεύνηση είναι

η κατανόηση από πλευράς του αναγνώστη, της τελευταίας λέξης της τεχνολογίας του κατασκευαστικού τομέα. Αυτή η βιβλιογραφική ανασκόπηση λοιπόν έχει δώσει στον αναγνώστη μια επαρκή εικόνα της τρέχουσας κατάστασης στον κατασκευαστικό τομέα και τον προετοιμάζει να αξιολογήσει πιο εποικοδομητικά την κατάσταση στην Ελλάδα.

Όπως είναι γνωστό ο κατασκευαστικός τομέας διατηρεί μια σταθερή διαφορά φάσης στην τεχνολογική του εξέλιξη σε σχέση με άλλους τομείς όπως η παραγωγή, οι τηλεπικοινωνίες και άλλοι. Όμως είναι ένας από τους πιο ισχυρούς τομείς από πλευράς τζίρου στον πλανήτη. Μέσα από τη συγκεκριμένη εργασία μπορεί να συμπεράνει κανείς ότι τα τελευταία χρόνια γίνονται πολλές προσπάθειες για αναβάθμιση των διαδικασιών στο εργοτάξιο και βήματα προς ένα αυτόματο εργοτάξιο. Απόδειξη αποτελούν η πληθώρα εφαρμογών που αναγνωρίστηκαν, οι οποίες έχουν κοινό χαρακτηριστικό την υψηλή αυτοματοποίηση, και την ενσωμάτωση του διαδικτύου. Αποσκοπούν κυρίως στην απλοποίηση των διαδικασιών, στην αύξηση αποδοτικότητας, της ευκολίας και της επικοινωνίας μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών, στη βελτίωση ασφάλειας και υγείας των εργαζομένων, στη μείωση των λαθών, των κινδύνων, του κόστους, των καθυστερήσεων και του περιβαλλοντικού αποτυπώματος.

Φαίνεται ότι γίνονται σωστές κινήσεις στον παγκόσμιο κατασκευαστικό τομέα προς την κατεύθυνση σε ένα αποδοτικό, βιώσιμο, αυτοματοποιημένο, ασφαλές εργοτάξιο.

5.1.3 Διερεύνηση της υιοθέτησης των εργαλείων της Βιομηχανίας 4.0 (Industry 4.0), στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα.

Όλες οι απαντήσεις που αναζητούνται μέσω αυτού του στόχου αυτού, και μαζί και των στόχων 3 και 4, βρίσκονται στον Χάρτη Συνάφειας (Affinity Map). Ο χάρτης αυτός είναι ένα πολύτιμο εργαλείο αξιολόγησης και κατανόησης της σημερινής κατάστασης στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα. Με βάση αυτόν τον χάρτη και κάποιες πληροφορίες από τα Διαγράμματα Συνάφειας (Affinity Diagrams), συμπεραίνουμε τα εξής.

Η πιο επαναστατική, χρήσιμη και ευρέως διαδεδομένη τεχνολογία της Κατασκευής 4.0 (Construction 4.0) στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα είναι το BIM, η οποία χαρακτηρίστηκε ως απαραίτητο εργαλείο από τους μεγάλους κατασκευαστές. Η τεχνολογία που κρίθηκε επίσης σημαντική είναι τα λογισμικά Υπολογιστικού Σύννεφου (Cloud-based Systems/Cloud Computing), επειδή συντελούν καταλυτικά στη διευκόλυνση διαδικασιών, στη βελτίωση επικοινωνίας, μετάδοσης και διαχείρισης πληροφορίας, εντός και εκτός εργοταξίου.

Το BIM αφορά μεγάλα κυρίως έργα (της τάξης των 100 εκατομμυρίων ευρώ), μεγάλων και περίπλοκων κτιριακών κατασκευών και όχι έργα υπό του εδάφους και σιδηροδρομικών/οδικών δικτύων. Φαίνεται ότι στο μέλλον θα διαδοθεί περαιτέρω στα μεγάλα κυρίως έργα και εταιρίες, αλλά είναι αμφίβολο για τα μικρότερα. Αυτό συμβαίνει για δύο λόγους. Ο κυριότερος είναι ότι ολοένα και περισσότερο οι πελάτες (συμπεριλαμβανομένου του δημοσίου τομέα) ζητούν το BIM στις προδιαγραφές παράδοσης των έργων τους, διότι έχουν καταλάβει την αξία του για αυτούς, ειδικά στη φάση της λειτουργίας/συντήρησης του έργου και ίσως στη μετατροπή του

σε «έξυπνο κτίριο». Ο δεύτερος λόγος είναι ότι το BIM είναι ωφέλιμο για τους ίδιους τους κατασκευαστές και μελετητές. Διότι πέρα από το σχεδιασμό, είναι απαραίτητο για τη σωστή οργάνωση και διοίκηση του έργου όπως επίσης και για την καλή επικοινωνία του προσωπικού συνεισφέροντας στην εξοικονόμηση χρόνου και κόστους. Από την άλλη, στα μικρότερα έργα δε θα διαδοθεί με τον ίδιο ρυθμό διότι απαιτεί εκπαιδευμένο προσωπικό και μεγάλη χρηματική επένδυση για την απόκτηση και τη λειτουργία του.

Τώρα όσον αφορά τις άλλες προηγμένες τεχνολογίες της Κατασκευής 4.0 (Construction 4.0), είναι δύσκολο να υιοθετηθούν σε μεγάλο βαθμό από τις εταιρίες, κάτι για το οποίο ευθύνη έχουν οι εταιρίες, η ελληνική αγορά στο σύνολό της αλλά και η ελκυστικότητα των τεχνολογιών. Ο ένας παράγοντας της κατάστασης αυτής προέρχεται από την εσωτερική κατάσταση των εταιριών οι οποίες χαρακτηρίζονται από έλλειψη κατάλληλα εκπαιδευμένου προσωπικού και από ύπαρξη κακής επικοινωνίας μεταξύ στελεχών και ηγεσίας. Ακόμη, η ελληνική αγορά γενικά, είναι ανώριμη για να δεχθεί ακόμα τέτοιες τεχνολογίες και αδυνατεί να τις υποστηρίξει. Ο πιο σοβαρός παράγοντας όμως είναι ότι ενώ οι τεχνολογίες αυτές έχουν φανερά ποιοτικά οφέλη, οι εταιρίες δεν έχουν το κίνητρο να τις υιοθετήσουν λόγω του ότι είτε δεν γνωρίζουν είτε δεν θεωρούν αρκετά δελεαστική την απόδοση της επένδυσης (ROI) σε αυτές.

Η μόνη περίπτωση που αντικρούεται σε αυτή την άποψη είναι τα Μη Επανδρωμένα Σκάφη (Drones) και οι Σαρωτές Λέιζερ (Laser Scanners), τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται κατά κόρον στον κατασκευαστικό τομέα με σημαντικές εφαρμογές, όπως η τοπογραφική μελέτη, η επιτήρηση, η παρακολούθηση της εξέλιξης του έργου και άλλες πιο εξειδικευμένες χρήσεις.

Εξαιρώντας την περίπτωση αυτή, η παραπάνω άποψη υποστηρίζεται από την κατάσταση της κάθε τεχνολογίας στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα (εκτός του BIM και του Cloud/Mobile που έχουν αναφερθεί παραπάνω)

Η τεχνολογία Εκτεταμένης Πραγματικότητας (Extended Reality) δεν χρησιμοποιείται πρακτικά στη φάση της κατασκευής και συντήρησης/λειτουργίας των έργων αλλά κυρίως για εμπορικούς λόγους. Παρόλο που φαίνεται να υπάρχουν οφέλη, να γίνονται προσπάθειες για χρήση τους στο κατασκευαστικό κομμάτι και να υπάρχουν γραφεία που το αναλαμβάνουν, προκύπτουν εμπόδια.

Τα Ρομποτικά Μηχανήματα (Robotics) είναι στην παρούσα φάση μια τεχνολογία που χρησιμοποιείται περιορισμένα, σε πολύ ειδικές περιπτώσεις του κατασκευαστικού τομέα. Ωστόσο, υπάρχει μια θετική τάση για το μέλλον απ' τις εταιρίες.

Η τεχνολογία του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things) και οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται περιορισμένα στη φάση της λειτουργίας/συντήρησης του έργου κυρίως και λιγότερο στη φάση της κατασκευής. Γίνονται προσπάθειες χρήσης τους σε περισσότερες εφαρμογές αλλά υπάρχουν εμπόδια.

Η τεχνολογία των Ψηφιακών Διδύμων (Digital Twins) είναι σε πολύ πρώιμα στάδια στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα, με τη χρήση της να απαντάται μόνο στο κομμάτι της λειτουργίας/συντήρησης του έργου και όχι κατά τη φάση κατασκευής.

Η τεχνολογία Τρισδιάστατης Εκτύπωσης (3D-Printing) δεν έχει εφαρμογή στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα. Υπάρχουν διάφορα πρακτικά προβλήματα, που πιθανώς να ξεπεραστούν όταν μειωθεί το κόστος της αρχικής επένδυσης και βελτιωθεί η απόδοσή της (ROI).

5.1.4 Δημιουργία χάρτη ενσωμάτωσης εργαλείων Βιομηχανίας 4.0 (Industry 4.0), στην Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα.

Ως Χάρτης Ενσωμάτωσης εργαλείων μπορεί να θεωρηθεί είτε ο Χάρτης Παρουσίας των τεχνολογιών στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα είτε ο συγκεντρωτικός πίνακας των εφαρμογών, που κάνει εύκολη τη σύγκριση Ελλάδας και εξωτερικού.

Είναι φανερό ότι ο Ελληνικός Κατασκευαστικός Τομέας είναι σε ένα αρκετά καλό επίπεδο ψηφιακού μετασχηματισμού και τεχνολογικής εξέλιξης, αν αναλογιστεί κανείς ότι από τις 107 εφαρμογές στο εξωτερικό, υπάρχει εφαρμογή των 37 στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα. Πιο συγκεκριμένα στη φάση της μελέτης αναγνωρίστηκαν 9 έναντι 21 στη βιβλιογραφία, στη φάση της κατασκευής 22 έναντι 60, στη φάση της συντήρησης 4 έναντι 18 και στη φάση της κατεδάφισης/ανακατασκευής 2 έναντι 8. Να σημειωθεί ότι πολλές από αυτές τις εφαρμογές είναι σε πολύ πρώιμα στάδια στο εξωτερικό ή ακόμα και σε πειραματικά. Οπότε θα ήταν πολύ δύσκολο να έχουν προλάβει να έχουν εγκαθιδρυθεί στην Ελλάδα. Οι περισσότερες από αυτές τις μη ώριμες εφαρμογές είναι συνήθως όσες αφορούν Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence) ή πολύ μεγάλο βαθμό αυτοματοποίησης και αυτονομίας των συστημάτων, που με τη σημερινή τεχνολογία είναι ακόμα δύσκολο να λειτουργούν χωρίς την παρουσία/παρέμβαση ανθρώπινου παράγοντα.

Σε επίπεδο τεχνολογιών τώρα, ο Χάρτης Παρουσίας δηλώνει τα εξής. Αρχικά επιβεβαιώνει το Χάρτη Συνάφειας, ότι το BIM και οι τεχνολογίες Υπολογιστικού Σύννεφου (Cloud Computing) και Φορητών Υπολογιστών (Mobile Computing) είναι οι πιο διαδεδομένες τεχνολογίες στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα με παρουσία σε 10/10 συνεντεύξεις. Η τεχνολογία των Μη Επανδρωμένων Σκαφών (Drones) και των Σαρωτών Λέιζερ (Laser Scanners) έχει επίσης καθολική χρήση και θεωρείται πλέον κοινό εργαλείο στα χέρια των Διευθυντών Έργων (Project Managers).

Σε επόμενη σειρά δημοτικότητας έρχονται τα Ρομποτικά Μηχανήματα (Robotics), το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things) και η Εκτεταμένη Πραγματικότητα (Extended Reality). Έχουν ένα μέτριο βαθμό παρουσίας με 4/10 περιπτώσεις το οποίο και πάλι κρίνεται ικανοποιητικό, δεδομένου του ότι αυτές οι τεχνολογίες θεωρούνται αρκετά προηγμένες ακόμα και στον τομέα παραγωγής.

Οι τεχνολογίες Ψηφιακά Δίδυμα (Digital Twins), Αναλυτική Μεγάλων Δεδομένων (Big Data Analytics) και Προκατασκευή Εκτός Εργοταξίου (Off-site Construction) είχαν ισχυρή παρουσία μεταξύ των συνεντευξιαζόμενων. Οι τρεις αυτές τεχνολογίες είχαν μία με δύο περιπτώσεις χρήσης ανάμεσα στις 10 συνολικές και μερικούς που απλώς τις γνώριζαν σαν τεχνολογίες στον κατασκευαστικό τομέα. Αυτό δείχνει ότι δεν έχουν φτάσει σε επίπεδο που μπορεί να θεωρηθεί ότι έχουν σοβαρή χρήση παρά μόνο σε εξαιρέσεις. Εδώ φαίνεται πως υπάρχει περιθώριο εξέλιξης, δεδομένου ότι ειδικά η τεχνολογία Ψηφιακά Δίδυμα (Digital Twins) έχει αρκετές εφαρμογές στο εξωτερικό με πολλά πλεονεκτήματα.

Υπάρχει και μια τελευταία ομάδα τεχνολογιών στις οποίες δεν παρατηρήθηκε καμία περίπτωση χρήσης και ελάχιστοι ήξεραν απλά ότι υπάρχουν σαν τεχνολογίες στον κατασκευαστικό τομέα. Αυτές είναι η Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence), η Τρισδιάστατη Εκτύπωση (3D-Printing) και το Blockchain. Αυτό είναι λογικό καθώς ακόμα και στο εξωτερικό οι τεχνολογίες αυτές είναι προς το παρόν σε δοκιμαστικά και πρώιμα στάδια εξέλιξης, με ελάχιστες εφαρμογές σε συνθήκες πραγματικού εργοταξίου.

5.2 Πρακτικό αποτύπωμα της Διπλωματικής Εργασίας

Τα πορίσματα αυτής της διπλωματικής εργασίας αποτελούν χρήσιμα δεδομένα για οποιαδήποτε εμπλεκόμενο στους τομείς τεχνολογίας και κατασκευών.

Οι εταιρίες μπορούν να συγκρίνουν την τεχνολογική τους εξέλιξη με το τι υπάρχει στο εξωτερικό αλλά και να ελέγξουν κατά πόσο συμβαδίζουν με το ρυθμό εξέλιξης των μεγάλων εταιριών στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα. Πιθανώς διαπιστώσουν ότι για να υπάρχει τόσο μεγάλη επένδυση σε αυτές τις τεχνολογίες στο εξωτερικό ίσως χρειάζεται να τους δώσουν ένα ενδιαφέρον παραπάνω και να ξεπεράσουν πιθανά εμπόδια νοοτροπίας η συνήθειας και να επωφεληθούν από την ψηφιακή μετάβαση.

Οι πελάτες μπορούν να κατανοήσουν ότι τους συμφέρει από πολλές απόψεις τα έργα τους να έχουν τον ψηφιακό παράγοντα και οφείλουν να πιέσουν ακόμη περισσότερο τις εταιρίες βάζοντας αυστηρές προδιαγραφές ωθώντας τους γρηγορότερα στον ψηφιακό μετασχηματισμό.

Η αγορά γενικότερα πρέπει να αντιληφθεί πως υπάρχουν ευκαιρίες στον κατασκευαστικό τομέα. Η επένδυση σε τεχνολογίες της Βιομηχανίας 4.0 (Industry 4.0) και η προώθησή τους σε εταιρίες θα μπορούσε να αποτελέσει σενάριο προσοδοφόρο για όλες τις πλευρές (win-win). Οι εργολάβοι και όλοι οι εμπλεκόμενοι με τον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα μπορούν να συνειδητοποιήσουν ότι η εκπαίδευση και επιμόρφωση σε εργαλεία τεχνολογίας είναι ένα κλειδί επιτυχίας.

5.3 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Θα έχει πολύ μεγάλο ενδιαφέρον να διερευνήσει κανείς στην ξένη βιβλιογραφία τα οφέλη που έχουν οι εφαρμογές αυτών των τεχνολογιών που μπορεί να μην έχουν αναγνωρισθεί ή να έχουν υποτιμηθεί από τους κατασκευαστές στον ελληνικό χώρο. Παράλληλα πρέπει να γίνει διερεύνηση περιπτώσεων εφαρμογής τέτοιων τεχνολογιών και να αναλυθεί ποσοτικά η οικονομική τους απόδοση. Επιπρόσθετα θα πρέπει να εξεταστούν τα εμπόδια και οι δυσκολίες που αντιμετωπίστηκαν σε αυτές τις περιπτώσεις.

Τώρα με τη χρήση των δεδομένων της παρούσας εργασίας μπορεί κανείς να διαπιστώσει συγκεκριμένα σε ποια τεχνολογία, ακόμα και σε ποια εφαρμογή, υπάρχει ευκαιρία και χώρος για περαιτέρω επένδυση.

Έτσι μπορεί να κάνει στοχευμένη ανάλυση περίπτωσης και τελικά να διαμορφώσει ένα πραγματικά εφαρμόσιμο πλάνο που μπορεί να προταθεί σε εταιρίες. Αυτό θα έχει τόσο οικονομικό όφελος στον ερευνητή όσο και εξαιρετικά θετικό αντίκτυπο, καθώς θα συντελέσει στην τεχνολογική εξέλιξη του Ελληνικού Κατασκευαστικού Τομέα και θα τον οδηγήσει κατά ένα μικρό βήμα πιο κοντά προς το αυτοματοποιημένο βιώσιμο εργοτάξιο.

Κατάλογος αναφορών

Abioye, S. O. et al., 2021. Artificial intelligence in the construction industry: A review of present status, opportunities and future challenges. *Journal of Building Engineering*, December, 44(1).

Ahmed, S., 2019. A Review on Using Opportunities of Augmented Reality and Virtual Reality in Construction Project Management. *Organization, Technology and Management in Construction*, February, 11(1), pp. 1839-1852.

Akanmu, A. A., Anumba, C. J. & Ogunseiju, O. O., 2021. Towards next generation cyber-physical systems and digital twins for construction. *Journal of Information Technology in Construction*, July, Volume 26, pp. 505-525.

Alizadehsalehi, S., Hadavi, A. & Huang, J. C., 2020. From BIM to extended reality in AEC industry. *Automation in Construction*, August, Volume 116.

Applied Art & Technology, 2017. *VR, AR or MR...What's the Difference & Why Should I Care?*. [Online]

Available at: <https://www.appliedart.com/blog/vr-ar-or-mr-whats-the-difference-why-should-i-care>

[Accessed 2024].

Attaran, M. & Celik, B. G., 2023. Digital Twin: Benefits, use cases, challenges, and opportunities. *Decision Analytics Journal*, March, Volume 6.

AutoDesk, 2017. *Levels of Development: Enabling coordination and collaboration*. [Online].

Azhar, S., Khalfan, M. & Maqsood, T., 2012. Building Information Modeling (BIM): Now and Beyond. *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, January, 12(4), pp. 15-28.

Balzan, A., Aparicio, C. C. & Trabucco, D., 2022. Robotics in Construction: State-of-Art of On-site Advanced Devices. *International Journal of High-Rise Buildings*, March, 9(1), pp. 95-104.

Bello, S. A. et al., 2021. Cloud computing in construction industry: Use cases, benefits and challenges. *Automation in Construction*, February, Volume 122.

Bilal, M. και συν., 2016. Big Data in the construction industry: A review of present status, opportunities, and future trends. *Advanced Engineering Informatics*, August, 30(3), pp. 500-521.

Biswas, H. K., Sim, T. Y. & Lau, S. L., 2024. Impact of Building Information Modelling and Advanced Technologies in the AEC Industry: A Contemporary Review and Future Directions. *Journal of Building Engineering*, April, Volume 82.

Blixt, C. & Kirytopoulos, K., 2017. Challenges and competencies for project management in the Australian public service. *International Journal of Public Sector Management*, April, 30(3), pp. 286-300.

Catenda, 2021. *Catenda*. [Online]
Available at: <https://catenda.com/glossary/level-of-development-lod/>

Chen, Y. & Kamara, J. M., 2008. Using mobile computing for construction site information management. *Engineering, Construction and Architectural Management*, January, 15(1), pp. 7-20.

East, E. W. & Smith, D. K., 2016. *The United States National Building Information Modeling Standard: The First Decade*. [Online]
Available at: <https://www.nationalbimstandard.org/>

Freire, T., Brun, F., Mateus, A. & Gaspa, F., 2020. *3D Printing Technology in the Construction Industry*. Leiria, Portugal, Springer, Cham, pp. 157-167.

Greenwood, W. W., Lynch, J. P. & Zekkos, D., 2019. Applications of UAVs in Civil Infrastructure. *Journal of Infrastructure Systems*, June, 25(2).

Hill, M., 2022. *Vation Ventures*. [Online]
Available at: <https://www.vationventures.com/research-article/xr-trends-what-is-extended-reality>
[Accessed 2024].

Huang, X. & Liu, Y., 2023. BIM and IoT data fusion: The data process model perspective. *Automation in Construction*, May, Volume 149.

Hu, W., Lim, K. Y. H. & Cai, Y., 2022. Digital Twin and Industry 4.0 Enablers in Building and Construction: A Survey. *Buildings*, 12(11).

Jia, M., Komeilya, A., Wang, Y. & Srinivasana, R. S., 2019. Adopting Internet of Things for the development of smart buildings: A review of enabling technologies and applications. *Automation in Construction*, Volume 101, pp. 111-126.

Kadir, B., 2020. *Designing new ways of working in industry 4.0*, Lyngby, Denmark: Technical University of Denmark.

Kanan, R., Elhassan, O. & Bensalem, R., 2017. An IoT-based autonomous system for workers' safety in construction sites with real-time alarming, monitoring, and positioning strategies. *Automation in Construction*, April, Volume 88, pp. 73-86.

Karmakar, A. & Delhi, V. S. K., 2021. Construction 4.0: What we know and where we are headed?. *Journal of Information Technology in Construction*, July, Volume 26, pp. 526-545.

Khurshid, K. και συν., 2023. An In-Depth Survey Demystifying the Internet of Things (IoT) in the Construction Industry: Unfolding New Dimensions. *Sustainability*, January, 15(2).

Kor, M., Yitmen, I. & Alizadehsalehi, S., 2023. An investigation for integration of deep learning and digital twins towards Construction 4.0. *Smart and Sustainable Built Environment*, 12(3), pp. 461-487.

Labonnote, N., Rønquist, A., Manum, B. & Rüter, P., 2016. Additive construction: State-of-the-art, challenges and opportunities. *Automation in Construction*, December, 72(3), pp. 347-366.

Larissa Statsenko, A. S. J. B. N. C., 2023. Construction 4.0 technologies and applications: a systematic literature review of trends and potential areas for development. *Construction Innovation*, November, 23(5), pp. 961-993.

Latiffi, A. A., Brahim, J. & Fathi, M. S., 2014. The Development of Building Information Modeling (BIM) Definition. *Applied Mechanics and Materials*, June, Volume 567, pp. 625-630.

Li, J., Greenwood, D. & Kassem, M., 2019. Blockchain in the built environment and construction industry: A systematic review, conceptual models and practical use cases. *Automation in Construction*, June, Volume 102, pp. 288-307.

Li, Y. & Liu, C., 2018. Applications of multirotor drone technologies in construction management. *International Journal of Construction Management*, April, 19(5), pp. 401-412.

Melenbrink, N., Werfel, J. & Menges, A., 2020. On-site autonomous construction robots: Towards unsupervised building. *Automation in Construction*, November, Volume 119.

Oesterreich, T. T. F., 2016. Understanding the implications of digitisation and automation in the context of industry 4.0: a triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. *Computers in Industry*, December, Volume 83, pp. 121-139.

Pan, Y. & Zhang, L., 2023. Integrating BIM and AI for Smart Construction Management: Current Status and Future Directions. *Archives of Computational Methods in Engineering*, Volume 30, pp. 1081-1110.

Park, C.-S., Lee, D.-Y., Kwon, O.-S. & Wang, X., 2012. A framework for proactive construction defect management using BIM, augmented reality and ontology-based data collection template. *Automation in Construction*, August, Volume 33, pp. 61-71.

Saidi, K. S., Bock, T. & Georgoulas, C., 2016. Robotics in Construction. Στο: B. Siciliano & O. Khatib, επιμ. *Springer Handbook of Robotics*. Springer Handbooks: Springer, Cham, pp. 1493-1520.

Salama, T. & Said, H., 2023. Agility assessment framework for modular and offsite construction. *Construction Innovation*, April.ahead-of-print(ahead-of-print).

Shin, D. H. & Dunston, P. S., 2008. Identification of application areas for Augmented Reality in industrial construction based on technology suitability. *Automation in Construction*, October, 17(7), pp. 882-894.

- Siebert, S. & Teizer, J., 2014. Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system. *Automation in Construction*, May, Volume 41, pp. 1-14.
- Singh, M. & Kuts, V., 2022. Applications of Digital Twin across Industries: A Review. *Applied Sciences*, June, 12(11).
- Suferi, N. & Rahman, M. M., 2023. Industry 4.0 in Construction: A Conceptual Framework. *AIP Conf. Proc, 8th Brunei International Conference on Engineering and Technology 2021*, January, 2643(1).
- Tanga, S. et al., 2019. A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends. *Automation in Construction*, May, Volume 101, pp. 127-139.
- Tien, J. M., 2013. Big Data: Unleashing information. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, June, Volume 22, pp. 127-151.
- Turkan, Y., Bosche, F., Haas, C. T. & Haas, R., 2012. Automated progress tracking using 4D schedule and 3D sensing technologies. *Automation in Construction*, March, Volume 22, pp. 414-421.
- Vähä, P. et al., 2013. Extending automation of building construction — Survey on potential sensor technologies and robotic applications. *Automation in Construction*, December, Volume 36, pp. 168-178.
- VanDerHorn, E. & Mahadevan, S., 2021. Digital Twin: Generalization, characterization and implementation. *Decision Support Systems*, June, Volume 145.
- Volk, R., Stengel, J. & Schultmann, F., 2014. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings — Literature review and future needs. *Automation in Construction*, March, Volume 38, pp. 109-127.
- Wang, P. και συν., 2018. A Critical Review of the Use of Virtual Reality in Construction Engineering Education and Training. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, June, 15(6).
- Wen, J. & Gheisari, M., 2020. Using virtual reality to facilitate communication in the AEC domain: a systematic review. *Construction Innovation*, June, 20(3), pp. 509-542.
- Xiao Lia, W. Y. H.-L. C., Wang, X. & Chan, A. P., 2018. A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety. *Automation in Construction*, February, Volume 86, pp. 150-162.
- Xiong, X., Adan, A., Akinci, B. & Huber, D., 2013. Automatic creation of semantically rich 3D building models from laser scanner data. *Automation in Construction*, May, Volume 31, pp. 325-337.

Xu, X. & Soto, B. G. d., 2020. *On-site Autonomous Construction Robots: A review of Research Areas, Technologies, and Suggestions for Advancement*. Abu Dhabi, United Arab Emirates, 37th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2020).

Xu, Y., Zhou, Y., Sekula, P. & Ding, L., 2021. Machine learning in construction: From shallow to deep learning. *Developments in the Built Environment*, May, Volume 6.

ypodomes.com, 2023. *Ypodomes*. [Online] Available at: <https://ypodomes.com/staikoyras-efarmogi-psifiakis-montelopoisis-gia-anthektika-amp-viosima-erga-stin-ellada/> [Accessed February 2024].

Zabidin, N. S., Belayutham, S. & Ibrahim, D. C. K. I. C., 2020. A bibliometric and scientometric mapping of industry 4.0 in construction. *Journal of Information Technology in Construction*, June, Volume 25, pp. 287-307.

Zhaia, Y. et al., 2019. An Internet of Things-enabled BIM platform for modular integrated construction: A case study in Hong Kong. *Advanced Engineering Informatics*, October, Volume 42.

Zhang, L., Pan, Y., Wu, X. & Skibniewski, M. J., 2021. *Artificial Intelligence in Construction Engineering and Management*. Singapore: Springer.

Zhou, S. & Gheisari, M., 2018. Unmanned aerial system applications in construction: a systematic review. *Construction Innovation*, November, 18(4), pp. 453-468.

Μαντέλλου, Σ., 2023. *Παράγοντες Επιτυχίας της Agile Διοίκησης Έργων σε Τηλεπικοινωνιακό Οργανισμό*, Αθήνα: ΟΠΑ.

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 3.1: Λεπτομέρειες συνεντεύξεων.....	53
Πίνακας 3.2: Προφίλ συνεντευξιαζόμενων	54
Πίνακας 4.1: Υπόμνημα Χάρτη Συνάφειας.....	89

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1: Οι 9 κατηγορίες του Industry 4.0 (Kadir, 2020).....	14
Εικόνα 2.2 (Karmakar & Delhi, 2021): Χάρτης με τις τεχνολογίες του Construction 4.0, καταναμημένες σε στρώματα φυσικού – ψηφιακού κόσμου και σε φάσεις προόδου του έργου.	15
Εικόνα 2.3: Μία εικονική αναπαράσταση της έννοιας του BIM κατά τον κύκλο ζωής του έργου (Azhar, et al., 2012).....	17
Εικόνα 2.4: Τα 6 Επίπεδα Ανάπτυξης του BIM (Catenda, 2021)	18
Εικόνα 2.5: Οι 8 διαστάσεις του BIM (Biswas, et al., 2024)	20
Εικόνα 2.6: Ο μηχανισμός του Ψηφιακού Διδύμου (VanDerHorn & Mahadevan, 2021)	22
Εικόνα 2.7: Η αρχιτεκτονική της λειτουργίας του Ψηφιακού Διδύμου στον κύκλο ζωής του έργου (Hu, et al., 2022).	24
Εικόνα 2.8: Τα 4 βασικά στοιχεία όρασης του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things) (Jia, et al., 2019).....	26
Εικόνα 2.9: Τα 3 στρώματα της αρχιτεκτονικής του του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things).....	26
Εικόνα 2.10: VR – AR – MR (Applied Art & Technology, 2017)	29
Εικόνα 2.11: Οι 5 κύριες κατηγορίες Τρισδιάστατης Εκτύπωσης (3D-Printing) (Labonnote, et al., 2016).....	37
Εικόνα 2.12: Πραγματικές περιπτώσεις χρήσης Τρισδιάστατης Εκτύπωσης (3D-Printing) (Labonnote, et al., 2016).....	38
Εικόνα 3.1 Χάρτης των τεχνολογιών της Κατασκευής 4.0 (Construction 4.0) (Alizadehsalehi, et al., 2020)	50
Εικόνα 3.2: Διάγραμμα πορείας έρευνας και διαδικασίας διεκπεραίωσης συνεντεύξεων.....	52
Εικόνα 3.3: Πρότυπο Διάγραμμα Συνάφειας (Affinity Diagram Template)	58
Εικόνα 4.1 Διάγραμμα Συνάφειας Δ1: BIM - Η επανάσταση στον Κατασκευαστικό Τομέα	59
Εικόνα 4.2 Διάγραμμα Συνάφειας Δ2: Το BIM και ο κύριος τομέας εφαρμογής του	61
Εικόνα 4.3 Διάγραμμα Συνάφειας Δ3: Εφαρμογές του BIM - Πρακτικά οφέλη για τους πελάτες	62
Εικόνα 4.4 Διάγραμμα Συνάφειας Δ4: Το BIM πλέον ως προδιαγραφή παράδοσης έργων.....	64
Εικόνα 4.5 Διάγραμμα Συνάφειας Δ5: Μειονεκτήματα του BIM.....	66
Εικόνα 4.6 Διάγραμμα Συνάφειας Δ6: Το μέλλον του BIM.....	67
Εικόνα 4.7 Διάγραμμα Συνάφειας Δ7: Δυσκολία της Ελληνικής αγοράς να δεχθεί προηγμένες τεχνολογίες	68
Εικόνα 4.8 Διάγραμμα Συνάφειας Δ8: Δυσκολία από την πλευρά των εταιριών να δεχθούν προηγμένες τεχνολογίες.....	70
Εικόνα 4.9 Διάγραμμα Συνάφειας Δ9: Χρηματική απόδοση (ROI) των προηγμένων τεχνολογιών	71
Εικόνα 4.10 Διάγραμμα Συνάφειας Δ10: Το Υπολογιστικό Σύννεφο και Συστήματα (Cloud-based Systems/Computing) & Φορητοί Υπολογιστές (Mobile Computing).....	73

Εικόνα 4.11 Διάγραμμα Συνάφειας Δ11: Ρομποτικά Μηχανήματα (Robotics)	75
Εικόνα 4.12 Διάγραμμα Συνάφειας Δ12: Αισθητήρες και Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT – Internet of Things)	77
Εικόνα 4.13 Διάγραμμα Συνάφειας Δ13: Ψηφιακά Δίδυμα (Digital Twins)	79
Εικόνα 4.14 Διάγραμμα Συνάφειας Δ14: Μη επανδρωμένα Σκάφη - Drones.....	81
Εικόνα 4.15 Διάγραμμα Συνάφειας Δ15: Τρισδιάστατη Εκτύπωση (3D – Printing)	83
Εικόνα 4.16 Διάγραμμα Συνάφειας Δ16: Εκτεταμένη Πραγματικότητα (Extended Reality)	84
Εικόνα 4.17: Χάρτης Συνάφειας για την Κατασκευή 4.0 (Construction 4.0) στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα	89
Εικόνα 4.18: Διάγραμμα Παρουσίας Τεχνολογιών Κατασκευής 4.0 (Construction 4.0) στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα.....	90

Παραρτήματα

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΤΟΥ CONSTRUCTION 4.0 ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΑΝΑ ΦΑΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Τελευταίας Τεχνολογίας Εφαρμογές Κατασκευής 4.0 (Construction 4.0)				
Φάση Κύκλου Ζωής του Έργου	Αρίμηση Α	Αρίθμηση Β	Εφαρμογή	Τεχνολογία
Μελέτη του Έργου	1	1	Παραστατικός χρονικός προγραμματισμός έργου	4D-BIM
	2	2	Προγραμματισμός προμήθειας υλικών	4D-BIM
	3	3	Χρονική προσομοίωση κατασκευής και πρόληψη λαθών	4D-BIM
	4	4	Κοστολόγηση και πρόβλεψη κόστους	5D-BIM
	5	5	Διαχείριση χρηματικών ροών	5D-BIM
	6	6	Μείωση περιβαλλοντικού αποτυπώματος και βιωσιμότητα κατασκευής	7D-BIM
	7	7	Παράγοντας Ασφάλειας και Υγείας στο BIM	8D-BIM
	8	8	Διαχείριση εργοταξίου (Facility Management)	BIM
	9	9	Προσομοίωση καταναλώσεων ενέργειας κτιρίου	DT
	10	10	Προσομοιώσεις του έργου	DT
	11	11	Βελτίωση λήψης αποφάσεων	DT + IoT + AI
	12	12	Τοπογραφική Αποτύπωση κομματιού γης	Drones & Laser
	13	13	Χαρτογράφηση και καθολική αποτύπωση του εργοταξίου	Drones

	14	1 4	Μελέτη υπεδάφους	Drones
	15	1 5	Εικονική αναπαράσταση του έργου πριν χτιστεί και προβολή σε ενδιαφερόμενα μέρη	VR
	16	1 6	Αυτοματοποίηση σχεδιασμού BIM	AI + BIM
	17	1 7	"Εξυπνη" κατανόηση και επεξήγηση του BIM	AI + BIM
	18	1 8	Ενσωμάτωση πολλών εκδόσεων σχεδίου BIM και εύρεση βέλτιστης και σωστότερης λύσης	AI + BIM
	19	1 9	Αυτοματοποίηση και βελτιστοποίηση πρόληψης λαθών	AI + BIM
	20	2 0	"Εξυπνες συμβάσεις" (αυτοματοποίηση διαδικασίας, μείωση λαθών, δημιουργία περιλήψης, υποστήριξη λήψης αποφάσεων)	AI & Blockchain
	21	2 1	Προσομοίωση καταναλώσεων κατασκευής κτιρίου και λήψη αποφάσεων	Big Data
Κατασκευή του Έργου	22	1	Αρχείο με πληροφορίες έργου για διαχείρισή του	6D-BIM
	23	2	Ευκολότερη συντήρηση	6D-BIM
	24	3	"Χάρτης" του κτιρίου για λειτουργία και ασφάλεια	6D-BIM
	25	4	Ασφάλεια και Υγεία στο εργοτάξιο	DT & AR
	26	5	Εκπαίδευση εργονομικής σωματικής στάσης εργατών	DT + AR
	27	6	Υποστήριξη διαχείρισης πόρων, υλικών και ενέργειας	DT
	28	7	Υποστήριξη στην τήρηση χρονικού προγραμματισμού	DT
	29	8	Υποστήριξη στην τήρηση προδιαγραφών έργου (στατικής και δομικής επάρκειας)	DT
	30	9	Διαχείριση Εργοταξίου	BIM & DT
	31	1 0	Επίβλεψη εξοπλισμού (τοποθεσία, κατάσταση λειτουργίας)	IoT
	32	1 1	Καταγραφή τοποθεσίας και συμπεριφοράς εργατών	IoT

33	1 2	Ασφάλεια στο εργοτάξιο με άμεση ενημέρωση πιθανού ατυχήματος	IoT
34	1 3	Παρακολούθηση στεγνώματος σκυροδέματος	IoT
35	1 4	Παρακολούθηση φορτηγών και υλικών από και προς το εργοτάξιο	IoT
36	1 5	Ειδοποίηση εργατών με δόνηση ειδικής συσκευής για αποφυγή ατυχημάτων	IoT
37	1 6	Ανάλυση δεδομένων από ατύχημα και βελτίωση διαχείρισης κινδύνου	IoT + Big Data
38	1 7	Ζωντανή παρακολούθηση εξέλιξης του έργου	IoT + BIM + VR
39	1 8	Τηλεχειρισμός μηχανημάτων	IoT + BIM + VR + Robotics
40	1 9	Αυτοματοποιημένη ενημέρωση προόδου έργου	IoT + BIM + DT
41	2 0	"Lean Construction"	IoT
42	2 1	Υποστήριξη Προκατασκευής εκτός Εργοταξίου (Off-site Construction) με αισθητήρες θέσης και συλλογή δεδομένων	IoT
43	2 2	Βελτίωση επικοινωνίας και αναπαράσταση της προόδου του έργου στα ενδιαφερόμενα μέρη	AR
44	2 3	Εκπαίδευση εργατών στη χρήση μηχανημάτων	AR & VR
45	2 4	Καθοδήγηση εργατών και ασφάλεια στο εργοτάξιο	AR
46	2 5	Διάγνωση βλαβών, σφαλμάτων και επιθεώρηση ποιότητας έργου σε ζωντανό χρόνο	AR & BIM
47	2 6	Έλεγχος ποιότητας (έλεγχος ποιότητας εκσκαφής, επιβεβαίωση διαστάσεων, ευθυγράμμιση καλωδίωσης, εξακρίβωση κοπής, σύνδεσης υλικών και εξαρτημάτων)	AR
48	2 7	Αποδοτικότερη Διοίκηση Έργου	AR & VR

49	2 8	Έξυπνη πρόβλεψη ατυχημάτων και διαχείριση ασφάλειας στο εργοτάξιο	AI
50	2 9	Αυτόματη τοποθέτηση τούβλων	Robotics
51	3 0	Αυτοματοποιημένη συγκόλληση χάλυβα	Robotics
52	3 1	Αυτοματοποιημένος διαμοιρασμός σκυροδέματος	Robotics
53	3 2	Ενίσχυση σκυροδέματος με τοποθέτηση ράβδων οπλισμού από τηλεχειριζόμενο ρομπότ	Robotics
54	3 3	Φινιρίσματα (finishings) κτιρίου, όπως το φινιρίσμα του δαπέδου από σκυρόδεμα	Robotics
55	3 4	Αυτοματοποιημένη εργασία εκσκαφής	Robotics
56	3 5	Επίβλεψη και παρακολούθηση εργοταξίου με ειδικά ρομπότ, εξοπλισμένα με διάφορους αισθητήρες	Robotics
57	3 6	Βελτιστοποίηση μεταφορικών και διαχείρισης υλικών εργοταξίου	Robotics + AI + 4D-BIM
58	3 7	Κατασκευή θεμελίων από σκυρόδεμα (footing)	Robotics
59	3 8	Κατασκευή/συναρμολόγηση σύνθετων δομών με αυτοματοποιημένη διαδικασία τοποθέτησης ειδικών μπλοκ	Robotics
60	3 9	Αυτόματος ψεκασμός χρώματος ή πυρίμαχης επίστρωσης σε τοίχο	Robotics
61	4 0	Αυτόματη τοποθέτηση πρόσοψης κτιρίου (façade)	Robotics
62	4 1	Αυτόματη χάραξη δαπέδων	Robotics
63	4 2	Κατασκευή (εκτύπωση) σχεδιασμών ελευθέρας μορφής	3DP
64	4 3	Κατασκευή (εκτύπωση) façade	3DP
65	4 4	Κατασκευή (εκτύπωση) δομών με προσαρμοσμένο πάχος για εξοικονόμηση υλικού	3DP

66	4 5	Κατασκευή (εκτύπωση) τοίχων ή σπιτιών σε στρώσεις σκυροδέματος	3DP
67	4 6	Αποδοτικότερη παρακολούθηση προόδου έργου, σύγκριση με BIM και βελτίωση σχεδίου	Drones + Laser Scanner + BIM
68	4 7	Αποδοτικότερη επιθεώρηση εργοταξίου	Drones
69	4 8	Αποδοτικότερη επιθεώρηση ασφάλειας εργοταξίου	Drones
70	4 9	Αξιολόγηση βλαβών κτιρίων μετά από φυσικές ή άλλες καταστροφές	Drones
71	5 0	Προμήθεια υλικών μέσω drone	Drones
72	5 1	Παρακολούθηση μεταφοράς εξοπλισμού	Drones
73	5 2	Προκατασκευή έτοιμων στοιχείων που εγκαθίστανται στο εργοτάξιο	Off-site
74	5 3	Προκατασκευή συναρμολογημάτων μεταλλικών σκελετών και εγκατάσταση στο εργοτάξιο	Off-site
75	5 4	Προκατασκευή έτοιμου τοίχου ή πατώματος για εγκατάσταση μετά στο εργοτάξιο	Off-site
76	5 5	Βελτιστοποίηση πόρων και διαχείρισης αποβλήτων	Big Data
77	5 6	Βελτίωση μετάδοσης πληροφορίας και επικοινωνίας στο εργοτάξιο και μεταξύ του προσωπικού	Cloud
78	5 7	Cloud-based systems και συνεργασία προσωπικού, ενημέρωση κατάστασης έργου και BIM και αύξηση αποδοτικότητας	Cloud + BIM
79	5 8	Φορητότητα σχεδίων και πληροφοριών μέσα στο εργοτάξιο	Mobile + Cloud + BIM
80	5 9	Συλλογή δεδομένων από το εργοτάξιο και ενημέρωση BIM και προσωπικού	Mobile + Cloud + BIM

	81	60	Αποδοτικότερη διοίκηση έργου (παρακολούθηση πορείας, διαχείριση κινδύνων)	Mobile + Cloud + BIM
Λειτουργία/Συντήρηση του Έργου	82	1	Προσομοίωση και βελτιστοποίηση καταναλώσεων ενέργειας κτιρίου	DT
	83	2	Διαχείριση λειτουργίας κτιρίου	BIM & DT
	84	3	Ζωντανή παρακολούθηση logistics	DT + IoT
	85	4	Επίβλεψη κτιρίου με ζωντανή ψηφιακή αναπαράσταση κινήσεων υλικών	DT + IoT
	86	5	Καθοδήγηση ατόμου μέσα στο κτίριο	IoT
	87	6	Εύρεση συντομότερης διαδρομής για καθοδήγηση ασθενή σε νοσοκομείο	IoT
	88	7	Παρακολούθηση τοποθεσίας και συμπεριφοράς ατόμων μέσα σε κτίριο για πρόληψη ατυχημάτων και διάγνωση ύποπτων συμπεριφορών	IoT
	89	8	Βελτιστοποίηση ενεργειακής κατανάλωσης με προσαρμογή με βάση θέση ατόμων, πλήθος και εσωτερικές και εξωτερικές συνθήκες	IoT
	90	9	Βελτιστοποίηση καταναλώσεων με μετρήσεις σε ζωντανό χρόνο	IoT
	91	10	Άμεσος εντοπισμός εξοπλισμού και ανάγκης επιδιόρθωσης/συντήρησης	IoT
	92	11	Εντοπισμός εγκλωβισμένων ατόμων σε περίπτωση ανάγκης (πχ πυρκαγιά)	IoT
	93	12	Διευκόλυνση συντήρησης με οπτικοποίηση	VR
	94	13	Ψηφιακή παρουσία πελάτη στο κτίριο και άμεση και σωστή εξυπηρέτηση αναγκών	AR & VR
	95	14	Αυτόματη διαχείριση και λειτουργία έργου, πρόβλεψη συντήρησης και ρίσκων	AI + BIM + IoT + Cloud
	96	15	Συντήρηση δρόμων	Robotics

	97	1 6	Φινιρίσματα και επισκευές εσωτερικών χώρων κτιρίου	Robotics
	98	1 7	Επιθεώρηση και αξιολόγηση κατάστασης έργων, σε δύσκολα κυρίως σημεία και μεγάλου μήκους έργα (πχ δρόμοι)	Drones
	99	1 8	Βελτιστοποίηση διαχείρισης κατανάλωσης ενέργειας και λήψης αποφάσεων	Big Data + AI
Κατεδάφιση/Ανακατασκευή του Έργου	100	1	Ιστορικό αρχείο του έργου	BIM
	101	2	Κατάστρωση σχεδίων ασφάλειας κατά την κατεδάφιση	BIM
	102	3	Βελτιστοποίηση και ομαλότητα κατεδαφίσεων με προσομοιώσεις	DT
	103	4	Πρόβλεψη κινδύνων κατεδάφισης με προσομοιώσεις	DT
	104	5	Ρομπότ ελεγχόμενης κατεδάφισης κτιρίου και υποστήριξη ανακύκλωσης ή/και επαναχρησιμοποίησης στοιχείων της οικοδομής.	Robotics
	105	6	Αναδόμηση - Αυτόματη απομάκρυνση πολυκαιρισμένης επιφάνειας και τοποθέτησης φρέσκου υλικού	Robotics
	106	7	Σάρωση προς σχέδιο BIM (scan-to-BIM) για ανακαίνιση ή ψηφιοποίηση και μετατροπή σε smart building	Laser
	107	8	Υποστήριξη ομαλής κατεδάφισης (διαχείριση αποβλήτων και βιντεοσκόπηση)	Drones

Υπόμνημα

- **&**: λειτουργεί ως «και» αλλά ανεξάρτητα για κάθε τεχνολογία (παράδειγμα: IoT & DT, σημαίνει ότι η συγκεκριμένη εφαρμογή πραγματοποιείται και με χρήση DT αλλά και με χρήση IoT, ξεχωριστά).
- **+**: λειτουργεί ως «μαζί», δηλαδή συνδυασμός/συνεργασία των τεχνολογιών οδηγεί σε αυτή την εφαρμογή.
- **Κίτρινα υπογραμμισμένα**: Εφαρμογές με παρουσία στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα
- **BIM**: Building Information Modeling

- **DT:** Ψηφιακά Δίδυμα (Digital Twins)
- **VR, AR, MR:** Εικονική, Επαυξημένη και Μικτή Πραγματικότητα - Εκτεταμένη Πραγματικότητα (Virtual, Augmented and Mixed Reality)
- **IoT:** Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things)
- **AI:** Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence)
- **3DP:** Τρισδιάστατη Εκτύπωση (3D-Printing)
- **Robotics:** Ρομποτικά Μηχανήματα (Robotics)
- **Drones:** Μη Επανδρωμένα Σκάφη (UAVs – Drones)
- **Laser:** Σαρωτές Laser (Laser Scanners)
- **Big Data:** Αναλυτική Μεγάλων Δεδομένων (Big Data Analytics)
- **Cloud:** Υπολογιστικό Σύννεφο (Cloud Computing & Cloud-Based Systems)
- **Mobile:** Φορητοί Υπολογιστές (Mobile Computing)
- **Blockchain:** Blockchain
- **Off-site:** Προκατασκευή Εκτός Εργοταξίου (Off-site Construction)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΣΥΝΕΝΤΕΥΞΗΣ



Το Industry 4.0 στον Ελληνικό Κατασκευαστικό Τομέα

Όνοματεπώνυμο ερευνητή: Αντώνης Ραμπάτ
Email: antonisrabbat8@gmail.com
Τηλέφωνο: +30 6943510687
Επιβλέπων Καθηγητής: κος Κωνσταντίνος Κηρυττόπουλος

Στοιχεία έρευνας:

- Σκοπός: Διερεύνηση του βαθμού υιοθέτησης προηγμένων τεχνολογιών (όπως BIM, Digital Twins, Artificial Intelligence, Data Analytics, Augmented & Virtual reality, Internet of Things κ.α.) στον τομέα των κατασκευών στην Ελλάδα.
- Μέθοδος: Παραχώρηση συνέντευξης
- Εκτιμώμενος χρόνος: 45 λεπτά

Πρωτόκολλο έρευνας

Για οποιοδήποτε ενδοιασμό σχετικά με την έρευνα επικοινωνήστε με τον ερευνητή ή τον επιβλέποντα.

Η συμμετοχή σας στην έρευνα είναι εθελοντική.

Όλα τα στοιχεία που θα παραχωρηθούν κατά τη διάρκεια της έρευνας και περιέχουν προσωπικά στοιχεία θα παραμείνουν εμπιστευτικά.

Οι ερευνητές θα διασφαλίσουν, στο πλαίσιο των δυνατοτήτων τους, τα δεδομένα της έρευνας τα οποία θα αποθηκεύσουν με ασφαλή τρόπο ηλεκτρονικά.

Τα αποτελέσματα της έρευνας που πιθανά θα δημοσιευτούν υπό μορφή Διατριβών, επιστημονικών ανακοινώσεων κ.λπ. θα είναι γενικής μορφής χωρίς να αναφέρονται τα στοιχεία των συμμετεχόντων.

Για τη διευκόλυνση της ανάλυσης των δεδομένων, εφόσον έχουμε τη συναίνεσή σας, **η συνέντευξη θα ηχογραφηθεί.**

Έχετε τη δυνατότητα να αποσυρθείτε από την έρευνα οποτεδήποτε πριν την ενσωμάτωση των δεδομένων (περίπου ένα μήνα μετά τη συμμετοχή σας).

Οι συμμετέχοντες συμφωνούν στη διατήρηση της εμπιστευτικότητας των συζητήσεων κατά τη διάρκεια πιθανής ομαδικής συνέντευξης.

Η συμμετοχή σας στην έρευνα συνιστά αποδοχή του παρόντος πρωτοκόλλου έρευνας.

Αν θα θέλατε να ενημερωθείτε με συνοπτική έκθεση για τα αποτελέσματα της έρευνας, παρακαλώ κοινοποιήσετε το ενδιαφέρον σας στον ερευνητή Αντώνη Ραμπάτ στο email antonisrabbat8@gmail.com ή στο τηλέφωνο +30 6943510687.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3: ΟΔΗΓΟΣ ΣΥΝΕΝΤΕΥΞΗΣ

ΟΔΗΓΟΣ ΣΥΝΕΝΤΕΥΞΗΣ

Χαιρετισμός – Ευχαριστίες

Πρωτόκολλο Συνέντευξης + Συγκατάθεση ηχογράφησης

Έναρξη συζήτησης

Λίγα λόγια για εκείνον/η και μικρή περιγραφή θέσης, αρμοδιοτήτων και έργων που αναλαμβάνει / έχει αναλάβει (κατηγορία και budget)

Focus στον τομέα κατασκευών

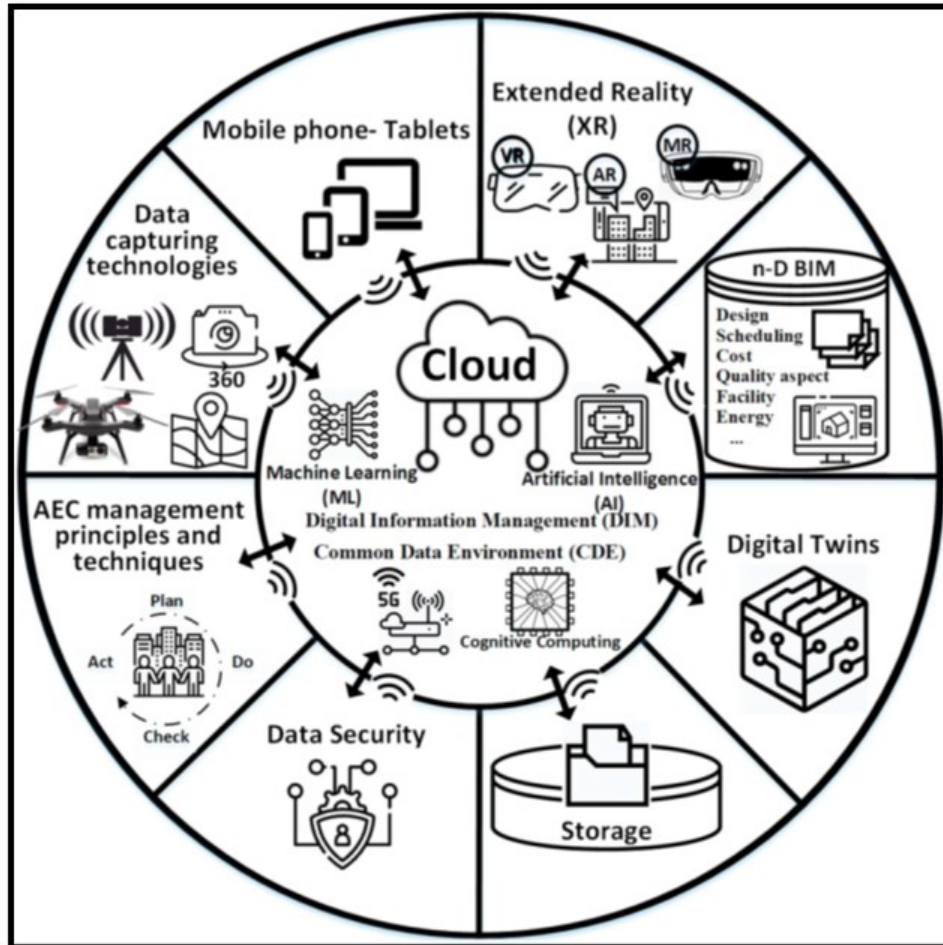
Ερωτήσεις

- 1) Τα τελευταία χρόνια, ποια είναι η τεχνολογία αυτή που σας εντυπωσίασε περισσότερο και τη θεωρείτε ως την πιο επαναστατική στη Διοίκηση Έργων;
- 2) Ποιες είναι οι εφαρμογές και τα οφέλη που πιστεύετε ότι είχε η χρήση αυτής της τεχνολογίας, τόσο στην εταιρία όσο και στους εργαζομένους;
- 3) Υπάρχουν κάποια άλλα εργαλεία που έχετε χρησιμοποιήσει ή έχετε ακουστά; Ποια είναι αυτά; (υπόδειξη εικόνας)
- 4) Τι πιστεύετε ότι δυσχεραίνει την περαιτέρω υιοθέτηση τέτοιων τεχνολογιών σε εταιρίες σαν τη δικιά σας αλλά και σε μικρότερες, στην Ελλάδα;
- 5) Τι βλέπετε να έρχεται δυναμικά στο μέλλον; Υπάρχει κάτι που πιστεύετε ότι θα παίξει σημαντικό ρόλο στον κατασκευαστικό τομέα ή/και στη Διοίκηση Έργων;

Τελευταία σχόλια – Κλείσιμο

Ευχαριστίες τελικές

Αποχαιρετισμός



Χάρτης των τεχνολογιών της Κατασκευής 4.0 (Construction 4.0), Source: (Alizadehsalehi, et al., 2020), Automation in Construction

Προφορικά:

- 3d-Printing & Additive Construction
- Robotics
- Internet of Things
- Off-site construction
- Blockchain
- Big Data

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4: ΚΕΙΜΕΝΟ ΜΗΝΥΜΑΤΟΣ ΑΛΛΗΛΟΓΡΑΦΙΑΣ ΠΡΩΤΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

Καλησπέρα σας,

Ονομάζομαι Αντώνης Ραμπάτ, είμαι φοιτητής της σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ, στον τομέα του Μηχανικού Παραγωγής.

Αυτή τη στιγμή εκπονώ τη διπλωματική μου εργασία, υπό την επίβλεψη του καθηγητή κ. Κωνσταντίνου Κηρυττόπουλου, με θέμα το **Construction 4.0** στην Ελλάδα.

Ποιος είναι ο στόχος μας;

Να διερευνήσουμε τον βαθμό υιοθέτησης προηγμένων τεχνολογιών (όπως BIM, Digital Twins, Artificial Intelligence, Data Analytics, Augmented & Virtual reality, Internet of Things κ.α.) στον τομέα των κατασκευών στην Ελλάδα.

Τι θα θέλαμε ιδανικά;

Να αποκτήσουμε επίγνωση του κατά πόσο τέτοιες τεχνολογίες χρησιμοποιούνται (σε μεγάλα κυρίως έργα), σε τι είδους εφαρμογές, τι οφέλη έχουν για μια εταιρία και τι προβλήματα υπάρχουν που δυσχεραίνουν την περαιτέρω διάδοση - εφαρμογή τους.

Τι ζητάμε ευγενικά;

Θα ήταν πάρα πολύ σημαντικό για εμάς να έχουμε τη δυνατότητα να συναντήσουμε έναν ή και περισσότερους Διευθυντές Έργων (Project Managers) της εταιρίας σας, οι οποίοι έχουν υπό την επίβλεψή τους μεγάλα έργα και να τους απασχολούσαμε με μια ολιγόλεπτη συζήτηση όσον αφορά τα ζητήματα που προαναφέραμε.

Να σημειώσουμε εδώ ότι μια τέτοια έρευνα δεν υπάρχει, είναι κάτι που γίνεται πρώτη φορά στην Ελλάδα και θα είναι πραγματικά πολύ σημαντικό για την εξέλιξη της κατασκευαστικής βιομηχανίας, το να συμμετέχετε.

Ευχαριστώ εκ των προτέρων για τον χρόνο σας και αναμένω με μεγάλη χαρά μια θετική σας απάντηση.

Με εκτίμηση,
Αντώνης Ραμπάτ