



ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Ανακατασκευή και Ενεργειακή Αναβάθμιση Ψηλών Κτιρίων
Η Περίπτωση του Πύργου του Πειραιά

ΑΓΓΕΛΟΣ ΜΑΪΛΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΣΚΑΛΩΜΕΝΟΣ

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2026

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν. 1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας ή προσωπικών δεδομένων τρίτων. Η εργασία δεν αποτελεί προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής. Οι βιβλιογραφικές πηγές, τα τεχνικά τεκμήρια, οι εικόνες, τα σχήματα, οι πίνακες και τα λοιπά στοιχεία τρίτων που αξιοποιούνται αναφέρονται με κατάλληλη τεκμηρίωση, σύμφωνα με τους κανόνες επιστημονικής παράθεσης και τις απαιτήσεις του ΕΑΠ. Η χρήση εσωτερικών ή δημόσια διαθέσιμων τεκμηρίων του έργου γίνεται αποκλειστικά για τις ανάγκες της ακαδημαϊκής ανάλυσης, χωρίς αλλοίωση των δικαιωμάτων των δημιουργών ή δικαιούχων τους.

Άγγελος Μαΐλης

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίας στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και με οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, χωρίς αντάλλαγμα και για όλη τη διάρκεια των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει παραχώρηση των δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, μεταφόρτωση, ανάρτηση, μετάφραση ή τροποποίηση της εργασίας, εν όλω ή εν μέρει, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Κωνσταντίνο Σκαλωμένο, για τη συνεχή καθοδήγηση, την ουσιαστική υποστήριξη και τις εύστοχες παρατηρήσεις του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Η συμβολή του υπήρξε ιδιαίτερα σημαντική τόσο για την οργάνωση του αντικειμένου όσο και για τη διατήρηση της ακαδημαϊκής και τεχνικής συνέπειας της εργασίας.

Ευχαριστώ επίσης τη διοίκηση της Dimand S.A. και ειδικότερα την κ. Όλγα Ίτσιου, Chief Operating Officer (COO), και τον κ. Χρήστο Φωτιάδη, Technical Director, για την εμπιστοσύνη τους και για την ευκαιρία συμμετοχής μου στο έργο του Πύργου του Πειραιά. Η εμπειρία αυτή αποτέλεσε το πραγματικό υπόβαθρο της μελέτης περίπτωσης και συνέβαλε ουσιαστικά στη διαμόρφωση της τεχνικής και διαχειριστικής οπτικής της παρούσας εργασίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στους άμεσους συνεργάτες μου στην ομάδα του έργου, τον κ. Νατάλη Πέτροβιτς, Πολιτικό Μηχανικό και Project Manager του έργου, την κ. Δήμητρα Νικολαΐδη, Πολιτικό Μηχανικό, τον κ. Άγγελο Εντμονς, Μηχανικό Βιωσιμότητας, τον κ. Δημήτρη Μανουσέλη, Μηχανικό BIM, και τον κ. Δημοσθένη Ζαχαράκη, Μηχανικό Διαχείρισης Εγκαταστάσεων, για τη βοήθεια, τη συνεργασία και τη συμβολή τους κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας. Ευχαριστώ επίσης όλα τα υπόλοιπα μέλη της ομάδας του έργου για την υποστήριξη, τη διάθεση συνεργασίας και την ουσιαστική συμβολή τους κατά τη διάρκεια υλοποίησης του Πύργου του Πειραιά.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά την οικογένειά μου για την υπομονή, την κατανόηση και τη σταθερή στήριξή της σε όλη τη διάρκεια των σπουδών και της συγγραφής της παρούσας εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία εξετάζει την ανακατασκευή και ενεργειακή αναβάθμιση ψηλών κτιρίων μέσα από την περίπτωση του Πύργου του Πειραιά, με έμφαση στην τεχνική υλοποίηση και στη διοίκηση του έργου. Αναλύει τη μετατροπή ενός επί δεκαετίες ανενεργού κτιρίου σε λειτουργικό κτίριο μικτής χρήσης, με διατήρηση του φέροντος οργανισμού, νέο κέλυφος, σύγχρονες H/M εγκαταστάσεις και υποδομές ενεργειακής παρακολούθησης.

Ακολουθείται ποιοτική μελέτη περίπτωσης, με αξιοποίηση βιβλιογραφίας, τεχνικών τευχών, διαδικαστικών εγγράφων, απαιτήσεων LEED και WELL, ψηφιακών τεκμηρίων BIM/CDE και εμπειρικής γνώσης από την επίβλεψη των H/M εγκαταστάσεων. Η ανάλυση συνδέει τις παρεμβάσεις στο κέλυφος και στα συστήματα με τον συντονισμό ειδικοτήτων, τον έλεγχο αλλαγών, τα όρια ευθύνης και τη λειτουργική επαλήθευση. Τα δεδομένα φωτοβολταϊκής παραγωγής και οι ενδεικτικές μετρήσεις PMS του 14ου ορόφου αξιοποιούνται ως τεκμήρια λειτουργικής παρακολούθησης.

Προκύπτουν τέσσερα βασικά ευρήματα. Η διάκριση βασικού κτιρίου και εργασιών μισθωτών συνέβαλε στον έλεγχο κινδύνων, ιδίως στις διασυνδέσεις πυρασφάλειας. Ο τρισδιάστατος H/M συντονισμός διαμόρφωσε μετρήσιμα χαρακτηριστικά, όπως τα καθαρά ύψη των γραφείων. Οι απαιτήσεις πυρασφάλειας, LEED και WELL ενσωματώθηκαν στον έλεγχο ποιότητας. Η λειτουργική παραλαβή προϋπέθετε ελέγχους, ρυθμίσεις και τεκμηρίωση πέρα από την κατασκευαστική ολοκλήρωση. Η παραγωγή των φωτοβολταϊκών αντιστοιχούσε στο 3,35% της συνολικής κατανάλωσης κατά το εξεταζόμενο δεκάμηνο, ενώ οι μετρήσεις PMS ανέδειξαν τη σημασία των φορτίων HVAC.

Η περίπτωση δείχνει ότι η ενεργειακή αναβάθμιση απαιτεί τεχνικά κατάλληλες παρεμβάσεις και συνεπή διαχείριση της εφαρμογής και λειτουργίας τους. Η εργασία δεν αποτελεί πλήρη ενεργειακή αποτίμηση ούτε ποσοτικοποιεί συνολική εξοικονόμηση έναντι της προγενέστερης κατάστασης. Η συμβολή της έγκειται στη σύνδεση τεχνικών επιλογών, διαδικασιών διοίκησης και λειτουργικών τεκμηρίων, από την οποία προκύπτουν πρακτικά διδάγματα για αντίστοιχες ανακατασκευές ψηλών κτιρίων.

ABSTRACT

This dissertation examines the reconstruction and energy upgrading of high-rise buildings through the case of Piraeus Tower, focusing on technical implementation and project management. It analyses the transformation of a long-inactive structure into an operational mixed-use building, retaining the structural frame while introducing a new façade, modern MEP systems and energy monitoring infrastructure.

A qualitative case study approach combines literature, technical documents, project procedures, LEED and WELL requirements, BIM/CDE records and practice-based knowledge from MEP supervision. The analysis connects envelope and system interventions with multidisciplinary coordination, change control, allocation of responsibilities and commissioning. Photovoltaic production data and indicative Power Management System (PMS) readings from the 14th floor provide evidence of operational monitoring.

Four main findings emerge. The distinction between base-building and tenant works supported risk control, particularly at fire-safety interfaces. Three-dimensional MEP coordination shaped measurable characteristics, including office clear heights. Fire-safety, LEED and WELL requirements informed quality control. Operational handover required testing, adjustment and documentation beyond construction completion. Photovoltaic production represented 3.35% of total consumption over the ten-month observation period, while PMS readings highlighted the significance of HVAC loads.

The case indicates that energy upgrading requires technically appropriate interventions and consistent management of their implementation and operation. The dissertation does not provide a comprehensive energy assessment or quantify total savings against the building's previous condition. Its contribution lies in connecting technical decisions, management processes and operational evidence to derive practical lessons for comparable high-rise refurbishment projects.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	ii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iii
ABSTRACT	iv
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	v
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	x
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	xiii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	xvi
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ ΚΑΙ ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ	xviii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ.....	1
1.1 Αντικείμενο και σημασία της μελέτης	1
1.2 Σκοπός και ερευνητικοί στόχοι	2
1.3 Ερευνητικά ερωτήματα	6
1.4 Μεθοδολογική προσέγγιση και πηγές τεκμηρίωσης	6
1.5 Στοιχεία πρωτοτυπίας της εργασίας	7
1.6 Δομή της διπλωματικής εργασίας	9
1.7 Όρια της έρευνας και αξιοπιστία	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΠΥΡΓΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑ ΩΣ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΚΑΙ ΠΛΑΙΣΙΟ ΕΡΓΟΥ	11
2.1 Τεχνική ταυτότητα, βασικό κτίριο και όρια μισθωτών	11

2.1.1	Λειτουργική ολοκλήρωση και παράδοση	12
2.2	Ιστορική διαδρομή και διαχειριστικές συνέπειες	14
2.2.1	Αστικά τοπόσημα και πλαίσιο Πειραιά	14
2.2.2	Η Δημοτική Αγορά ως αστική τομή.....	16
2.2.3	Πολιτικό και θεσμικό πλαίσιο 1967–1974.....	17
2.2.4	Αρχικός σχεδιασμός και ατελής ολοκλήρωση	17
2.2.5	Η επένδυση όψεων και η παγίωση της αδράνειας	20
2.2.6	Ο Πύργος στον δημόσιο λόγο	21
2.2.7	Αδράνεια, τεχνική αβεβαιότητα και κίνδυνος.....	22
2.2.8	Θεσμική και επενδυτική επανεκκίνηση	23
2.3	Ενσωματωμένη ενέργεια και άνθρακας στην ανακατασκευή.....	26
2.4	Οργάνωση, επίβλεψη και βασικοί άξονες διαχείρισης του έργου.....	30
2.4.1	Χαρτογράφηση βασικών εμπλεκομένων και ρόλων υλοποίησης.....	31
2.4.2	Πλαίσιο επίβλεψης Η/Μ και τεχνικός συντονισμός	33
2.4.3	Βασικοί άξονες διαχείρισης που προκύπτουν από τη μελέτη περίπτωσης	35

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ.....37

3.1	Σκοπός και ρόλος του θεωρητικού πλαισίου	37
3.2	Έννοιες και αρχές διοίκησης έργων	37
3.3	Κίνδυνος και αβεβαιότητα σε ανακατασκευές.....	40
3.4	Αλλαγές και έλεγχος αναθεωρήσεων	43
3.5	Ποιότητα και λειτουργική επαλήθευση.....	47
3.6	Πληροφορία, BIM και κοινό περιβάλλον δεδομένων	49
3.7	Ενδιαφερόμενα μέρη και όρια ευθύνης.....	52
3.8	Σύνοψη κεφαλαίου	54

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ55

4.1	Ρόλος του κεφαλαίου και λογική ανάλυσης.....	55
4.2	Μελέτη περίπτωσης και ερμηνευτική προσέγγιση.....	56
4.3	Ποιοτική χρονική αποτύπωση του έργου	56
4.4	Κατηγορίες τεκμηρίων και τρόπος αξιοποίησης.....	58
4.5	Πλαίσιο σύνδεσης ερευνητικών ερωτημάτων και εφαρμοσμένης ανάλυσης	60
4.6	Διαδικασία διασταύρωσης και ερμηνείας	62
4.7	Περιορισμοί της μεθοδολογίας.....	63
4.8	Σύνοψη κεφαλαίου	64

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΡΓΟΥ.....65

5.1	Η/Μ συστήματα σε ανακατασκευή ψηλού κτιρίου.....	65
5.1.1	Οργάνωση ομάδας/ρόλοι και καθημερινός συντονισμός στο εργοτάξιο	65
5.1.2	Συνδέσεις με αρχιτεκτονικά, στατικά, όψεις και κρίσιμες ζώνες	65
5.1.3	Διαχείριση αλλαγών και τεχνικές αποφάσεις πεδίου	66
5.1.4	Διδάγματα από την πλευρά των Η/Μ.....	67
5.2	Κατασκευή και τεχνικοί κίνδυνοι.....	67
5.2.1	Τεχνικές αβεβαιότητες υφιστάμενου κτιρίου και διερεύνηση	67
5.2.2	Κατασκευασιμότητα και επίλυση συγκρούσεων στο πεδίο.....	69
5.2.3	Ποιότητα κατασκευής, έλεγχοι, δοκιμές και τεκμηρίωση	69
5.2.4	Επιπτώσεις σε κόστος, χρόνο και μηχανισμοί ελέγχου	71
5.3	BIM, CDE και συντονισμός μοντέλων	73
5.3.1	Στόχοι χρήσης BIM.....	73
5.3.2	CDE, παραδοτέα και αναθεωρήσεις	75
5.3.3	Συγκρούσεις και τεχνικά ζητήματα.....	76
5.4	Η/Μ συγκρούσεις και αποφάσεις σε ζώνες συμφόρησης	78
5.5	Πυρασφάλεια, καπνός και εκκένωση	101
5.5.1	Πυρασφάλεια και εκκένωση ως πεδίο διοίκησης	101

5.5.2	Μεγαφωνικό σύστημα φωνητικού συναγερμού και ελεγχόμενη εκκένωση..	102
5.5.3	Συνέπειες για συντονισμό και παράδοση.....	105
5.6	LEED και WELL στη διαχείριση έργου	109
5.6.1	Στόχοι πιστοποίησης και επιπτώσεις σε αντικείμενο, προμήθειες και εργολάβους.....	112
5.6.2	Τεκμηρίωση πιστοποιήσεων	114
5.6.3	Απαιτήσεις σε Η/Μ, αερισμό, ποιότητα εσωτερικού αέρα και μέτρηση	115
5.6.4	Συντονισμός μισθωτών και συμμόρφωση.....	116
5.7	Λειτουργική επαλήθευση και παράδοση.....	120
5.7.1	Στρατηγική commissioning και ρόλοι.....	121
5.7.2	Έλεγχοι, εκκίνηση, δοκιμές και εξισορρόπηση	122
5.7.3	Δοκιμές λειτουργικής απόδοσης και διαχείριση ευρημάτων	124
5.7.4	Παραδοτέα, Ο&Μ, εκπαίδευση και παράδοση.....	125
5.7.5	Παρακολούθηση φορτίων μέσω του PMS	129
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΔΙΔΑΓΜΑΤΑ		132
6.1	Συνοπτική αποτύπωση βασικών συμπερασμάτων	132
6.2	Απαντήσεις στα ερευνητικά ερωτήματα	133
6.2.1	Όρια βασικού κτιρίου και εργασιών μισθωτών ως μηχανισμός ελέγχου κινδύνου	133
6.2.2	Συντονισμός Η/Μ εγκαταστάσεων και καθορισμός μετρήσιμων χαρακτηριστικών του κτιρίου.....	133
6.2.3	Πυρασφάλεια και πιστοποιήσεις ως ενεργός μηχανισμός ποιότητας	134
6.2.4	Λειτουργική παραλαβή έναντι κατασκευαστικής ολοκλήρωσης.....	135
6.3	Συμβολή της εργασίας.....	136
6.4	Πρακτικά διδάγματα για αντίστοιχα έργα.....	136
6.5	Περιορισμοί της έρευνας.....	138
6.6	Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	139
6.7	Τελικό συμπέρασμα	140

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	142
---------------------------	------------

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1:	Μεθοδολογική προσέγγιση της μελέτης περίπτωσης: από τις πηγές τεκμηρίωσης στη θεματική ανάλυση, στα ερευνητικά ερωτήματα και στα πρακτικά συμπεράσματα. Πηγή: ίδια επεξεργασία.....	7
Σχήμα 1.2:	Άξονες πρωτοτυπίας της εργασίας: σύνδεση υφιστάμενου φέροντος οργανισμού, τεχνικών αλληλεξαρτήσεων, ψηφιακής ιχνηλασιμότητας, βιώσιμης τεκμηρίωσης και λειτουργικής παράδοσης στην ανακατασκευή του Πύργου του Πειραιά. Πηγή: ίδια επεξεργασία.....	9
Σχήμα 2.1:	Διάκριση βασικού κτιρίου και εσωτερικής διαμόρφωσης μισθωτή στο πλαίσιο ορίων ευθύνης, τεχνικών διασυνδέσεων και στρατηγικής παράδοσης.	12
Σχήμα 3.1:	Κυκλική διαδικασία διαχείρισης κινδύνου σε έργα ανακατασκευής. Πηγή: ίδια επεξεργασία.....	42
Σχήμα 3.2:	Ενδεικτική διαδικασία διαχείρισης αλλαγών και ελέγχου αναθεωρήσεων σε τεχνικό έργο. Πηγή: ίδια επεξεργασία.	45
Σχήμα 4.1:	Απόσπασμα κύριου χρονοδιαγράμματος με ορόσημα ετοιμότητας. Πηγή: ίδια επεξεργασία βάσει τεκμηρίων προγραμματισμού έργου.	57
Σχήμα 5.1:	Ροή διαχείρισης μοντέλων και παραδοτέων σε κοινό περιβάλλον δεδομένων (CDE) για τον Πύργο του Πειραιά. Πηγή: προσαρμογή από BIM Center, Piraeus Tower Project – BIM 360 Workflow.	75
Σχήμα 5.2:	Αυθεντική αποτύπωση της ροής διαχείρισης εγγράφων και μοντέλων στο BIM 360 κατά τη φάση σχεδιασμού του Πύργου του Πειραιά. Πηγή: BIM Center / AIDIGITS, Piraeus Tower Project – BIM360 Workflow.	76
Σχήμα 5.3:	Κύκλος ψηφιακού συντονισμού μελετών και επίλυσης συγκρούσεων μέσω BIM 360 και Navisworks. Πηγή: προσαρμογή από BIM Center, Piraeus Tower Project – BIM 360 Workflow.....	77
Σχήμα 5.4:	Ροή συνεργασίας μελετητικών ομάδων και επίλυσης συγκρούσεων μέσω BIM 360 και Navisworks. Πηγή: BIM Center / AIDIGITS, Piraeus Tower Project – BIM360 Workflow.	78
Σχήμα 5.5:	Συντονιστικό δισδιάστατο σχέδιο κάτοψης του Β' υπογείου, το οποίο αποτελεί τον κύριο μηχανολογικό χώρο του κτιρίου. Πηγή: τεχνικό αρχείο έργου, ίδια επεξεργασία.....	81

Σχήμα 5.6:	Τρισδιάστατη απεικόνιση σημείου Α από την κάτοψη του Β' υπογείου για τον έλεγχο συντονισμού Η/Μ εγκαταστάσεων. Πηγή: τεχνικό αρχείο έργου, ίδια επεξεργασία.....	82
Σχήμα 5.7:	Δεύτερη τρισδιάστατη απεικόνιση του σημείου Β από την κάτοψη του Β' υπογείου, για τον έλεγχο συντονισμού Η/Μ εγκαταστάσεων. Πηγή: τεχνικό αρχείο έργου, ίδια επεξεργασία.....	84
Σχήμα 5.8:	Τρισδιάστατη απεικόνιση σημείου C από την κάτοψη του Β' υπογείου για τον έλεγχο συντονισμού Η/Μ εγκαταστάσεων. Πηγή: τεχνικό αρχείο έργου, ίδια επεξεργασία.....	86
Σχήμα 5.9:	Τρισδιάστατη απεικόνιση σημείου D από την κάτοψη του Β' υπογείου για τον έλεγχο συντονισμού Η/Μ εγκαταστάσεων. Πηγή: τεχνικό αρχείο έργου, ίδια επεξεργασία.....	88
Σχήμα 5.10:	Χώρος μεσώροφου (mezzanine), ανάμεσα στο ισόγειο και τον 1ο όροφο, με έντονη πυκνότητα δικτύων. Πηγή: τεχνικό αρχείο έργου, ίδια επεξεργασία...	90
Σχήμα 5.11:	Τρισδιάστατη απεικόνιση του σημείου Α από τον χώρο μεσώροφου (mezzanine), ανάμεσα στο ισόγειο και τον 1ο όροφο. Πηγή: τεχνικό αρχείο έργου, ίδια επεξεργασία.	91
Σχήμα 5.12:	Τρισδιάστατη απεικόνιση του σημείου Β από τον χώρο μεσώροφου (mezzanine), ανάμεσα στο ισόγειο και τον 1ο όροφο. Πηγή: τεχνικό αρχείο έργου, ίδια επεξεργασία.	93
Σχήμα 5.13:	Δεύτερη τρισδιάστατη απεικόνιση της περιοχής ελέγχου Β στον μεσώροφο, με έμφαση στη συνέχεια των Η/Μ οδεύσεων προς την περιμετρική στοά και το podium. Πηγή: τεχνικό αρχείο έργου, ίδια επεξεργασία.....	94
Σχήμα 5.14:	Συντονιστικό δισδιάστατο σχέδιο κάτοψης του τυπικού ορόφου. Πηγή: τεχνικό αρχείο έργου, ίδια επεξεργασία.....	95
Σχήμα 5.15:	Τρισδιάστατη απεικόνιση του σημείου Α από τον τυπικό όροφο. Πηγή: τεχνικό αρχείο έργου, ίδια επεξεργασία.....	96
Σχήμα 5.16:	Τρισδιάστατη απεικόνιση της περιοχής ελέγχου Β σε τυπικό όροφο, με έμφαση στις οριζόντιες Η/Μ διανομές. Πηγή: τεχνικό αρχείο έργου, ίδια επεξεργασία.	98
Σχήμα 5.17:	Σχηματική αποτύπωση των βασικών υποσυστημάτων πυρασφάλειας, διαχείρισης καπνού και ελεγχόμενης εκκένωσης του Πύργου του Πειραιά. Πηγή: ίδια επεξεργασία.....	102

Σχήμα 5.18:	Σχηματική αποτύπωση της αλληλουχίας ειδοποίησης, προειδοποίησης και σταδιακής εκκένωσης σε περίπτωση συμβάντος πυρκαγιάς. Πηγή: ίδια επεξεργασία.....	104
Σχήμα 5.19:	Διάγραμμα ροής ψηφιακής μοντελοποίησης σε κοινό περιβάλλον δεδομένων, από την εργασία σε εξέλιξη έως την έκδοση προς κατασκευή, την τελική αποτύπωση και την παράδοση. Πηγή: ίδια επεξεργασία.	109
Σχήμα 5.20:	Ποιοτικό χρονοδιάγραμμα έργου. Πηγή: ίδια επεξεργασία βάσει τεκμηρίων προγραμματισμού έργου.	111
Σχήμα 5.21:	Οδηγίες αειφόρου σχεδιασμού, κατασκευής και λειτουργίας για τη διατήρηση των απαιτήσεων LEED και WELL. Πηγή: ίδια επεξεργασία.....	118
Σχήμα 5.22:	Διαδικασία λειτουργικής επαλήθευσης και παράδοσης Η/Μ συστημάτων, από τους προκαταρκτικούς ελέγχους έως την εκπαίδευση του προσωπικού λειτουργίας. Πηγή: ίδια επεξεργασία.....	120
Σχήμα 5.23:	Μηνιαία ενεργειακή εικόνα κτιρίου, παραγωγή φωτοβολταϊκού συστήματος και τελικά τιμολογούμενη ενέργεια για την περίοδο Ιουλίου 2025 έως Απριλίου 2026. Πηγή: επεξεργασία στοιχείων από Piraeus Tower A.E. (2026a).	128
Σχήμα 5.24:	Μηνιαία παραγωγή φωτοβολταϊκού συστήματος και αντίστοιχη οικονομική εξοικονόμηση για την περίοδο Ιουλίου 2025 έως Απριλίου 2026. Πηγή: επεξεργασία στοιχείων από Piraeus Tower A.E. (2026a).	128
Σχήμα 5.25:	Ποσοστιαία κατανομή φορτίων τυπικού ορόφου γραφείων, βάσει διακριτής ενεργειακής μέτρησης ανά χρήση φορτίου μέσω του PMS. Πηγή: επεξεργασία στοιχείων από Piraeus Tower A.E. / Facility Management (2026).....	131

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1:	Ο Πύργος του Πειραιά ως αστικό τοπόσημο στο παραλιακό μέτωπο της πόλης. Πηγή: φωτογραφικό/ τεχνικό αρχείο έργου, ίδια επεξεργασία.....	1
Εικόνα 2.1:	Το λιμάνι του Πειραιά σε παλαιότερη περίοδο και το Ρολόι του Πειραιά ως ιστορικό τοπόσημο του λιμανιού, πριν την κατεδάφισή του. Πηγή: ExploringGreece (2026) και Portnet (2025), ίδια επεξεργασία.	15
Εικόνα 2.2:	Η Ακτή Μιαούλη και το λιμάνι του Πειραιά σε παλαιότερη φάση της δεκαετίας του 1960. Πηγή: ExploringGreece (2026) και Portnet (2025), ίδια επεξεργασία.	16
Εικόνα 2.3:	Σχέδιο/ κάτοψη φέροντος οργανισμού τυπικού ορόφου γραφείων.	18
Εικόνα 2.4:	Ο Πύργος του Πειραιά σε ιστορική φάση ανέγερσης ή πρώιμης παρουσίας, αποτύπωση της κλίμακας του φέροντος οργανισμού. Πηγή: φωτογραφικό/τεχνικό αρχείο έργου, ίδια επεξεργασία.....	19
Εικόνα 2.5:	Ο Πύργος του Πειραιά με την παλιά του όψη. Πηγή: φωτογραφικό/τεχνικό αρχείο έργου, ίδια επεξεργασία.....	21
Εικόνα 2.6:	Η μετάβαση από την αρχική κατάσταση στην τελική. Πηγή: φωτογραφικό/τεχνικό αρχείο έργου.	25
Εικόνα 2.7:	Διαλογή του γυαλιού των παλαιών υαλοπινάκων της όψης πριν από την ανακύκλωση. Πηγή: Solar Control Glass (2026), ίδια επεξεργασία.....	28
Εικόνα 2.8:	Μονάδα ανακύκλωσης γυαλιού της Saint-Gobain Glass στο Călărași της Ρουμανίας, όπου οδηγήθηκαν οι παλαιοί υαλοπίνακες. Πηγή: Solar Control Glass (2026), ίδια επεξεργασία.	29
Εικόνα 2.9:	Φωτοβολταϊκός σταθμός στο δώμα του Πύργου του Πειραιά ως στοιχείο της στρατηγικής ενεργειακής αναβάθμισης και περιβαλλοντικής πιστοποίησης. .	30
Εικόνα 5.1:	α) Φωτογραφική απεικόνιση του εσωτερικού του θαλάμου δοκιμών 2 της αεροσήραγγας του ΕΜΠ, με το δοκιμαστικό πρόπλασμα του κτιρίου του Πύργου του Πειραιά και τα κτίρια της γύρω περιοχής. Ο προσανατολισμός που παρουσιάζεται αντιστοιχεί σε βόρειο άνεμο, με τη διεύθυνση ροής προς την κάμερα. β) Δορυφορική απεικόνιση του πραγματικού κτιρίου και του αντίστοιχου προσανατολισμού του. Πηγή: National Technical University of Athens (2021).	68

Εικόνα 5.2:	Μονάδα συντήρησης όψεων (BMU) στο δώμα του Πύργου Πειραιά, Πηγή: Φωτογραφικό αρχείο έργου / ιδία λήψη [2025].	70
Εικόνα 5.3:	Παράδειγμα σύνδεσης στοιχείων BIM μοντέλου με αρχείο ποσοτήτων και δυνατότητα εντοπισμού των αντίστοιχων στοιχείων στο μοντέλο, Πηγή: TERN S.A. / EB Architects, BIM Execution Plan – Piraeus Tower Project.	74
Εικόνα 5.4:	Αρχιτεκτονική τρισδιάστατη απεικόνιση τυπικού ορόφου. Πηγή: φωτογραφικό/τεχνικό αρχείο έργου, ιδία επεξεργασία.	79
Εικόνα 5.5:	H/M τρισδιάστατη απεικόνιση τυπικού ορόφου. Πηγή: τεχνικό αρχείο έργου, ιδία επεξεργασία.	80
Εικόνα 5.6:	Τα τρία κύρια στάδια της κατασκευής του Πύργου. Πηγή: φωτογραφικό/τεχνικό αρχείο έργου, ιδία επεξεργασία.	80
Εικόνα 5.7:	Πραγματική αποτύπωση του σημείου Α στο Β' υπόγειο κατά τη φάση εγκατάστασης των H/M δικτύων. Πηγή: φωτογραφικό αρχείο έργου / ιδία λήψη, ιδία επεξεργασία.	83
Εικόνα 5.8:	Πραγματική άποψη από το αντλιοστάσιο πυρόσβεσης του Β' υπογείου (Σημεία Α και Β). Πηγή: φωτογραφικό/τεχνικό αρχείο έργου, ιδία επεξεργασία.	85
Εικόνα 5.9:	Πραγματική άποψη διαδρόμου στο Β' υπόγειο, έξω από τους χώρους μετασχηματιστών και πινάκων μέσης τάσης, στην περιοχή ελέγχου C. Πηγή: φωτογραφικό/τεχνικό αρχείο έργου, ιδία επεξεργασία.	87
Εικόνα 5.10:	Πραγματική άποψη του βόρειου κεντρικού shaft H/M δικτύων στο Β' υπόγειο, στην περιοχή ελέγχου D. Πηγή: φωτογραφικό/τεχνικό αρχείο έργου, ιδία επεξεργασία.	89
Εικόνα 5.11:	Πραγματική άποψη του μηχανοστασίου του συστήματος ψύξης και θέρμανσης νερού με αντλίες θερμότητας για τους εμπορικούς χώρους, στον μεσώροφο, στην περιοχή ελέγχου Α. Πηγή: φωτογραφικό/τεχνικό αρχείο έργου, ιδία επεξεργασία.	92
Εικόνα 5.12:	Πραγματική άποψη του κεντρικού lobby της κύριας εισόδου του Πύργου, στην περιοχή ελέγχου Β. Πηγή: φωτογραφικό/τεχνικό αρχείο έργου, ιδία επεξεργασία.	93
Εικόνα 5.13:	Πραγματική άποψη του κεντρικού μηχανολογικού χώρου του τυπικού ορόφου, ανατολική και δυτική πλευρά, στην περιοχή ελέγχου Α. Πηγή: φωτογραφικό/τεχνικό αρχείο έργου, ιδία επεξεργασία.	97
Εικόνα 5.14:	Πραγματική άποψη της ψευδοροφής του τυπικού ορόφου, στην περιοχή ελέγχου Β. Πηγή: φωτογραφικό/τεχνικό αρχείο έργου, ιδία επεξεργασία.	99

- Εικόνα 5.15: Δομή φακέλων BIM 360 για τις φάσεις κατασκευής και παράδοσης του έργου.
Πηγή: TERNΑ S.A. / EB Architects, BIM Execution Plan - Piraeus Tower Project..... 123
- Εικόνα 5.16: Ροή BIM για τις φάσεις κατασκευής και παράδοσης, από το στάδιο εργασίας σε εξέλιξη (Work in Progress – WIP) και το περιβάλλον κοινής χρήσης έως την τελική τεκμηρίωση της κατασκευασμένης κατάστασης (as-built documentation). Πηγή: TERNΑ S.A. / EB Architects, BIM Execution Plan - Piraeus Tower Project. 124

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1: Αντιστοίχιση ερευνητικών στόχων, τεκμηρίωσης και κεφαλαίων της διπλωματικής εργασίας. Πηγή: ίδια επεξεργασία βάσει βιβλιογραφίας και τεκμηρίων έργου.	5
Πίνακας 2.1: Διαχειριστικές απαιτήσεις που προέκυψαν από τα πλαίσια πιστοποίησης LEED και WELL κατά την υλοποίηση και παράδοση του έργου. Πηγή: ίδια επεξεργασία βάσει βιβλιογραφίας και τεκμηρίων έργου.	14
Πίνακας 2.2: Χαρτογράφηση βασικών εμπλεκομένων και διαχειριστική λειτουργία στο έργο του Πύργου του Πειραιά. Πηγή: ίδια επεξεργασία βάσει βιβλιογραφίας και τεκμηρίων έργου.	31
Πίνακας 3.1: Κύριες περιοχές διοίκησης έργου και ενδεικτική έμφαση σε έργα ανακατασκευής ψηλών κτιρίων. Πηγή: ίδια επεξεργασία βάσει βιβλιογραφίας και τεκμηρίων έργου.	39
Πίνακας 4.1: Κατηγορίες τεκμηρίων και αναλυτική χρησιμότητα στην παρούσα εργασία..	59
Πίνακας 4.2: Αντιστοίχιση ερευνητικών ερωτημάτων, τεκμηρίων και εφαρμοσμένης ανάλυσης. Πηγή: ίδια επεξεργασία.	60
Πίνακας 5.1: Μήτρα τεχνικών και διαχειριστικών κινδύνων του έργου. Πηγή: ίδια επεξεργασία βάσει βιβλιογραφίας και τεκμηρίων έργου.	71
Πίνακας 5.2: Κατηγορίες χαρακτηριστικών συγκρούσεων H/M συντονισμού και τρόποι επίλυσης. Πηγή: ίδια επεξεργασία βάσει βιβλιογραφίας και τεκμηρίων έργου.	100
Πίνακας 5.3: Συνοπτική αποτύπωση της ειδικής μελέτης χρονισμού εκκένωσης και της διαχειριστικής της σημασίας. Πηγή: ίδια επεξεργασία βάσει βιβλιογραφίας και τεκμηρίων έργου.	104
Πίνακας 5.4: Κρίσιμα υποσυστήματα της στρατηγικής πυρασφάλειας και ασφαλούς εκκένωσης και η διαχειριστική συμβολή τους στο έργο. Πηγή: ίδια επεξεργασία βάσει βιβλιογραφίας και τεκμηρίων έργου.	106
Πίνακας 5.5: Ενσωμάτωση ψηφιακής μοντελοποίησης, H/M συντονισμού και βιώσιμων πιστοποιήσεων στον κύκλο ζωής τεχνικού έργου. Πηγή: ίδια επεξεργασία βάσει βιβλιογραφίας και τεκμηρίων έργου.	110

Πίνακας 5.6: Ενδεικτικός πίνακας λειτουργικής επαλήθευσης που συσχετίζει βασικά συστήματα του έργου με στάδια ελέγχου, δοκιμών και παράδοσης. Πηγή: ιδία επεξεργασία βάσει βιβλιογραφίας και τεκμηρίων έργου.	113
Πίνακας 5.7: Συσχέτιση LEED και WELL απαιτήσεων με ενέργειες διαχείρισης έργου. Πηγή: ιδία επεξεργασία βάσει βιβλιογραφίας και τεκμηρίων έργου.	119
Πίνακας 5.8: Κρίσιμα παραδοτέα λειτουργικής επαλήθευσης συστημάτων και της παράδοσης. Πηγή: ιδία επεξεργασία βάσει βιβλιογραφίας και τεκμηρίων έργου.	125
Πίνακας 5.9: Μηνιαία κατανάλωση, παραγωγή φωτοβολταϊκού συστήματος και οικονομική εξοικονόμηση κατά τη λειτουργία του Πύργου Πειραιά. Πηγή: επεξεργασία στοιχείων από Piraeus Tower A.E. (2026a).	127
Πίνακας 5.10: Κατανομή καταναλώσεων τυπικού ορόφου γραφείων ανά κατηγορία φορτίου, βάσει μετρητικής υποδομής προηγμένης ενεργειακής μέτρησης και εξαγωγής δεδομένων από το PMS της Schneider Electric του Πύργου Πειραιά. Πηγή: επεξεργασία στοιχείων από Piraeus Tower A.E. / Facility Management (2026).	130

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ ΚΑΙ ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

Στην εργασία χρησιμοποιούνται κατά προτεραιότητα ελληνικοί όροι. Οι ξενόγλωσσοι όροι ή τα ακρωνύμια παρατίθενται σε παρένθεση μόνο όπου είναι αναγκαίο για την τεχνική αναγνωρισιμότητα, την αντιστοίχιση με διεθνή πρότυπα ή τη σύνδεση με τα τεχνικά παραδοτέα του έργου. Η βασική χρήση μέσα στο κείμενο παραμένει ελληνική, ώστε να αποφεύγεται η άσκοπη ανάμειξη γλωσσών.

Ελληνικός όρος	Ξενόγλωσση απόδοση / ακρωνύμιο	Επεξήγηση
Αίτημα παροχής διευκρινίσεων	Request for Information – RFI	Επίσημο αίτημα για διευκρίνιση όταν υπάρχει ασάφεια, έλλειψη ή ανάγκη επιβεβαίωσης σε σχέδιο, μελέτη, τεχνικό τεύχος ή οδηγία.
Βασικός κορμός και κέλυφος	Core & Shell	Μορφή παράδοσης κατά την οποία ολοκληρώνονται ο βασικός κορμός, το κέλυφος και οι κύριες υποδομές του κτιρίου, ενώ οι εσωτερικές διαμορφώσεις των μισθωτών υλοποιούνται διακριτά.
Βαθμός ανάπτυξης μοντέλου	Level of Development – LOD	Επίπεδο ωριμότητας ενός στοιχείου του ψηφιακού μοντέλου ως προς τη γεωμετρία, την πληροφορία και την αξιοπιστία χρήσης του.
Διαδικασία δοκιμής, ρύθμισης και εξισορρόπησης	Testing, Adjusting and Balancing – TAB	Διαδικασία ελέγχου και ρύθμισης συστημάτων, κυρίως θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού, ώστε να επιτευχθούν οι προβλεπόμενες παροχές και συνθήκες λειτουργίας.
Διασφάλιση και έλεγχος ποιότητας	Quality Assurance / Quality Control – QA/QC	Σύνολο διαδικασιών πρόληψης, επιθεώρησης και τεκμηρίωσης που διασφαλίζουν ότι οι εργασίες, τα υλικά και τα παραδοτέα συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις του έργου.
Δοκιμαστική εφαρμογή	Mock-up / Pilot application	Πρότυπη ή δοκιμαστική κατασκευή περιορισμένης κλίμακας, μέσω της οποίας ελέγχονται τεχνικές λύσεις, λεπτομέρειες, υλικά ή αλληλουχίες εργασιών πριν από τη γενικευμένη εφαρμογή.
Εγχειρίδια λειτουργίας και συντήρησης	Operation and Maintenance manuals – O&M manuals	Τεκμηρίωση που παραδίδεται στον φορέα λειτουργίας και περιλαμβάνει οδηγίες λειτουργίας, συντήρησης, χειρισμού και παρακολούθησης εξοπλισμού και συστημάτων.
Έκδοση προς κατασκευή	Issued for Construction – IFC	Ένδειξη σχεδίου ή εγγράφου που έχει εγκριθεί και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτέλεση εργασιών στο εργοτάξιο. Δεν πρέπει να συγχέεται με το πρότυπο ανταλλαγής δεδομένων IFC.

Εντοπισμός συγκρούσεων	Clash Detection	Διαδικασία εντοπισμού γεωμετρικών ή λειτουργικών ασυμβατοτήτων μεταξύ στοιχείων διαφορετικών ειδικοτήτων μέσα στο ψηφιακό μοντέλο.
Επαναληπτικές εργασίες	Rework	Εργασίες που πρέπει να εκτελεστούν εκ νέου λόγω σφάλματος, ασυμβατότητας, αλλαγής ή ανεπαρκούς συντονισμού.
Εσωτερική διαμόρφωση μισθωτή	Tenant Fit-out	Εργασίες διαμόρφωσης, εγκατάστασης και προσαρμογής στους χώρους του μισθωτή, σε διάκριση από τις υποδομές του βασικού κτιρίου.
Ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις	Mechanical, Electrical and Plumbing – MEP	Συλλογικός όρος για τις μηχανολογικές, ηλεκτρολογικές και υδραυλικές/υγειονομικές εγκαταστάσεις του έργου.
Κεντρικό σύστημα διαχείρισης κτιρίου	Building Management System – BMS	Σύστημα εποπτείας, ελέγχου και παρακολούθησης των βασικών Η/Μ εγκαταστάσεων και λειτουργιών του κτιρίου.
Κοινό περιβάλλον δεδομένων	Common Data Environment – CDE	Κεντρικό ψηφιακό περιβάλλον διαχείρισης, ανταλλαγής, ελέγχου και αρχειοθέτησης εγγράφων, σχεδίων, μοντέλων και αναθεωρήσεων.
Κρίσιμα υλικά και εξοπλισμός μακράς προμήθειας	Long-lead items	Υλικά ή εξοπλισμοί με μεγάλο χρόνο παραγωγής, έγκρισης, μεταφοράς ή εγκατάστασης, που μπορούν να επηρεάσουν κρίσιμα το χρονοδιάγραμμα.
Λειτουργική επαλήθευση συστημάτων	Commissioning – Cx	Συστηματική διαδικασία ελέγχου, δοκιμών, ρυθμίσεων και τεκμηρίωσης για την επιβεβαίωση ότι τα συστήματα λειτουργούν σύμφωνα με τις απαιτήσεις σχεδιασμού.
Περιβαλλοντική Δήλωση Προϊόντος	Environmental Product Declaration – EPD	Τεκμηριωμένη δήλωση που παρουσιάζει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις ενός προϊόντος, συνήθως με βάση ανάλυση κύκλου ζωής. Χρησιμοποιείται σε πιστοποιήσεις βιωσιμότητας για την τεκμηρίωση υλικών.
Δήλωση Προϊόντος Υγείας	Health Product Declaration – HPD	Δήλωση που παρουσιάζει πληροφορίες για τη χημική σύσταση ενός προϊόντος και τη σχετική διαφάνεια ως προς πιθανά ζητήματα υγείας και ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος.
Πτητικές οργανικές ενώσεις	Volatile Organic Compounds – VOC	Οργανικές ενώσεις που μπορούν να εκλύονται από υλικά όπως βαφές, κόλλες, σφραγιστικά, δάπεδα και έπιπλα και επηρεάζουν την ποιότητα του εσωτερικού αέρα.
Υλικά χαμηλών εκπομπών	Low-emitting materials	Υλικά με περιορισμένες εκπομπές ουσιών που επιβαρύνουν το εσωτερικό περιβάλλον, κυρίως σε σχέση με πτητικές οργανικές ενώσεις και απαιτήσεις LEED και WELL.
Μεγαφωνικό σύστημα ανακοινώσεων και φωνητικού συναγερμού	Public Address and Voice Alarm System – PAVA	Σύστημα μετάδοσης ανακοινώσεων και φωνητικών οδηγιών σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας ή έκτακτης ανάγκης, ιδίως κατά την εκκένωση.

Μεσώροφος	Mezzanine	Ενδιάμεσο επίπεδο μεταξύ δύο κύριων ορόφων.
Περιβαλλοντική πιστοποίηση κτιρίου	Leadership in Energy and Environmental Design – LEED	Διεθνές σύστημα αξιολόγησης και πιστοποίησης κτιρίων ως προς την περιβαλλοντική απόδοση, την εξοικονόμηση πόρων και τη βιώσιμη κατασκευή.
Πιστοποίηση υγείας και ευεξίας χρηστών	WELL Building Standard – WELL	Διεθνές σύστημα πιστοποίησης που εστιάζει στην υγεία, την ευεξία, την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος και την εμπειρία των χρηστών.
Ποιότητα εσωτερικού αέρα	Indoor Air Quality – IAQ	Δείκτης ή πεδίο αξιολόγησης που αφορά τη σύσταση, καθαρότητα και καταλληλότητα του αέρα στους εσωτερικούς χώρους.
Πρότυπο ανταλλαγής δεδομένων ψηφιακού μοντέλου	Industry Foundation Classes – IFC	Ανοικτό πρότυπο ανταλλαγής δεδομένων για ψηφιακά μοντέλα κτιρίων. Η σημασία του όρου IFC διακρίνεται από τα συμφραζόμενα.
Στάδιο εργασίας σε εξέλιξη	Work in Progress – WIP	Κατάσταση αρχείων ή μοντέλων που βρίσκονται ακόμη υπό επεξεργασία και δεν θεωρούνται εγκεκριμένα για συντονισμό ή κατασκευή.
Σύστημα ασθενών ρευμάτων	Extra Low Voltage systems – ELV	Συστήματα πολύ χαμηλής τάσης, όπως δίκτυα δεδομένων, κλειστό κύκλωμα τηλεόρασης, έλεγχος πρόσβασης και συναφή συστήματα.
Σύστημα θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού	Heating, Ventilation and Air Conditioning – HVAC	Σύστημα που εξυπηρετεί τη θερμική άνεση, τον αερισμό και τον κλιματισμό των χώρων.
Σύστημα κλιματισμού μεταβλητής ροής ψυκτικού μέσου	Variable Refrigerant Flow – VRF / Variable Refrigerant Volume – VRV	Σύστημα κλιματισμού στο οποίο η ροή ή ο όγκος του ψυκτικού μέσου μεταβάλλεται ανάλογα με τις απαιτήσεις των επιμέρους εσωτερικών μονάδων. Ο όρος VRV αποτελεί εμπορική ονομασία συγκεκριμένου κατασκευαστή.
Σύστημα πυρανίχνευσης και συναγερμού πυρκαγιάς	Fire Alarm System – F.A.	Σύστημα ανίχνευσης πυρκαγιάς, ενεργοποίησης συναγερμού και διασύνδεσης με επιμέρους συστήματα ασφαλείας.
Σχέδιο εφαρμογής ψηφιακής μοντελοποίησης	BIM Execution Plan – BEP	Έγγραφο που ορίζει τον τρόπο εφαρμογής της ψηφιακής μοντελοποίησης στο έργο, τους ρόλους, τις ευθύνες, τα παραδοτέα και τους κανόνες συνεργασίας.
Τελική αποτύπωση «ως κατασκευάστηκε»	As-built documentation / As-built drawings	Τελική τεκμηρίωση του έργου ή επιμέρους συστήματος όπως πραγματικά κατασκευάστηκε και εγκαταστάθηκε.
Τεχνικές υποβολές	Technical submittals	Υποβολές προς έλεγχο ή έγκριση, όπως σχέδια, τεχνικά φυλλάδια, δείγματα, πιστοποιητικά, υπολογισμοί και δηλώσεις συμμόρφωσης.
Κατασκευαστικά σχέδια εφαρμογής	Shop drawings	Σχέδια που εξειδικεύουν τη μελέτη εφαρμογής ώστε να μπορεί να υλοποιηθεί πρακτικά η εγκατάσταση ή η κατασκευή στο εργοτάξιο.

Ψηφιακή μοντελοποίηση κτιριακής πληροφορίας	Building Information Modeling / Building Information Model – BIM	Μεθοδολογία και πληροφοριακό μοντέλο για τον σχεδιασμό, τον συντονισμό, την κατασκευή, την τεκμηρίωση και τη λειτουργία του έργου.
Σύστημα διαχείρισης ισχύος	Power Management System – PMS	Ψηφιακό σύστημα παρακολούθησης, καταγραφής και ανάλυσης ηλεκτρικών μεγεθών και ενεργειακών καταναλώσεων.
Διαχείριση εγκαταστάσεων	Facility Management – FM	Οργανωμένη λειτουργία, παρακολούθηση, συντήρηση και διαχείριση των τεχνικών υποδομών και υπηρεσιών ενός κτιρίου μετά την παράδοση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Η Εικόνα 1.1 τοποθετεί τον Πύργο στο παραλιακό μέτωπο του Πειραιά πριν ξεκινήσει η ανάλυση. Η εικόνα δείχνει την κλίμακα και την ορατότητα ενός κτιρίου του οποίου η ανακατασκευή είχε τεχνική, αστική και συμβολική βαρύτητα.



Εικόνα 1.1: Ο Πύργος του Πειραιά ως αστικό τοπόσημο στο παραλιακό μέτωπο της πόλης. Πηγή: φωτογραφικό/ τεχνικό αρχείο έργου, ιδία επεξεργασία.

1.1 Αντικείμενο και σημασία της μελέτης

Η επαναξιοποίηση μεγάλων υφιστάμενων κτιρίων δεν ξεκινά από λευκό χαρτί. Ο μελετητής και η ομάδα έργου συναντούν πραγματικές γεωμετρίες, παλαιότερες κατασκευαστικές επιλογές, αποκλίσεις από διαθέσιμα σχέδια και περιορισμούς που

συχνά εμφανίζονται όταν το εργοτάξιο έχει ήδη ενεργοποιηθεί. Αυτό κάνει τη διοίκηση της ανακατασκευής πιο απαιτητική από μια τυπική νέα κατασκευή, επειδή κάθε τεχνική λύση πρέπει να ελέγχεται απέναντι σε υφιστάμενες συνθήκες που δεν είναι πάντα πλήρως γνωστές από την αρχή.

Σε ψηλό κτίριο μικτής χρήσης η δυσκολία γίνεται άμεσα πρακτική. Οι κατακόρυφες Η/Μ οδεύσεις, τα φρεάτια, οι ψευδοροφές, οι όψεις, η πυρασφάλεια, οι αυτοματισμοί, η ενεργειακή απόδοση και οι απαιτήσεις μισθωτών συναντώνται στα ίδια περιορισμένα σημεία. Μια μετατόπιση αεραγωγού, ένα ανεπαρκές καθαρό ύψος ή μια αλλαγή στη διάταξη μισθωτή μπορεί να επηρεάσει περισσότερες από μία ειδικότητες. Εκεί η διοίκηση έργου παύει να είναι μόνο παρακολούθηση χρόνου και γίνεται έλεγχος τεχνικών συνεπειών.

Ο Πύργος του Πειραιά επιλέγεται επειδή συγκεντρώνει ακριβώς αυτές τις συνθήκες. Η περίπτωση αφορά την ανακατασκευή και ενεργειακή αναβάθμιση ενός ανενεργού ψηλού κτιρίου για τη λειτουργία του ως σύγχρονου κτιρίου μικτής χρήσης. Η επανάχρηση του φέροντος οργανισμού, το νέο γυάλινο κέλυφος, οι νέες Η/Μ εγκαταστάσεις, οι πιστοποιήσεις, τα ψηφιακά παραδοτέα και οι διαδικασίες λειτουργικής επαλήθευσης συστημάτων (commissioning) δημιούργησαν ένα πυκνό πεδίο αποφάσεων, ελέγχων και ευθυνών.

Το ερευνητικό κενό που καλύπτει η εργασία είναι η απόσταση ανάμεσα στη γενική θεωρία διοίκησης έργων και στην πράξη μιας τέτοιας ανακατασκευής. Η συμβολή της έγκειται στο να δείξει πώς η θεωρία μετατρέπεται σε αποφάσεις πεδίου, όπως συντονισμό μελετών, έλεγχο αλλαγών, οριοθέτηση βασικού κτιρίου (base building) και εργασιών μισθωτών (tenant works), τεκμηρίωση απαιτήσεων και προετοιμασία παράδοσης.

1.2 Σκοπός και ερευνητικοί στόχοι

Σκοπός της εργασίας είναι να εξετάσει την ανακατασκευή και ενεργειακή αναβάθμιση του Πύργου του Πειραιά μέσα από τις τεχνικές παρεμβάσεις και τις διαδικασίες

διοίκησης που υποστήριξαν την υλοποίησή τους. Διερευνά πώς ελέγχθηκαν οι εξαρτήσεις μεταξύ υφιστάμενου φορέα, νέου κελύφους και Η/Μ εγκαταστάσεων και πώς οι επιμέρους λύσεις συνδέθηκαν με τη λειτουργική επαλήθευση και την ενεργειακή παρακολούθηση.

Η εργασία εξετάζει την ενεργειακή αναβάθμιση ως σύνολο παρεμβάσεων και διαδικασιών υλοποίησης, χωρίς να επανυπολογίζει τις μελέτες ή να αποτιμά οικονομικά την επένδυση. Τα διαθέσιμα λειτουργικά δεδομένα δεν συνιστούν συγκριτική μέτρηση συνολικής κατανάλωσης πριν και μετά την επέμβαση. Η ανάλυση εστιάζει στον τρόπο με τον οποίο οι τεχνικές επιλογές οργανώθηκαν, ελέγχθηκαν και τεκμηριώθηκαν έως την παράδοση και τη λειτουργία.

Οι επιμέρους στόχοι της εργασίας είναι οι εξής:

1. Να τεκμηριωθεί το ιστορικό, τεχνικό και λειτουργικό πλαίσιο του Πύργου του Πειραιά, ώστε να εξηγηθεί γιατί η περίπτωση υπερβαίνει την απλή ανακαίνιση υφιστάμενου κτιρίου.
2. Να αναλυθεί η οργανωτική διάρθρωση του έργου, οι βασικοί ρόλοι, τα όρια ευθύνης και οι ροές πληροφορίας.
3. Να αξιολογηθούν κρίσιμες τεχνικές και διαχειριστικές προκλήσεις που προέκυψαν στα σημεία συνάντησης Η/Μ εγκαταστάσεων, αρχιτεκτονικής, στατικών επεμβάσεων, όψεων και απαιτήσεων μισθωτών.
4. Να εξεταστεί η πρακτική επίδραση της ψηφιακής μοντελοποίησης κτιριακής πληροφορίας (Building Information Modelling – BIM), του κοινού περιβάλλοντος δεδομένων (Common Data Environment – CDE), των απαιτήσεων περιβαλλοντικής πιστοποίησης κτιρίου (Leadership in Energy and Environmental Design – LEED) και πιστοποίησης υγείας και ευεξίας χρηστών (WELL Building Standard – WELL), καθώς και της λειτουργικής επαλήθευσης συστημάτων στην υλοποίηση και παρακολούθηση της ενεργειακής αναβάθμισης.

5. Να διατυπωθούν πρακτικά διδάγματα για αντίστοιχες ανακατασκευές ψηλών κτιρίων στην ελληνική πραγματικότητα.

Ο Πίνακας 1.1 αποτυπώνει τη θέση κάθε στόχου της εργασίας μέσα στο κείμενο. Η αντιστοίχιση αυτή είναι χρήσιμη, επειδή αποτρέπει τη μετατροπή της εργασίας σε γενική παρουσίαση του έργου και κρατά τη σύνδεση στόχων, τεκμηρίων και συμπερασμάτων.

Πίνακας 1.1: Αντιστοίχιση ερευνητικών στόχων, τεκμηρίωσης και κεφαλαίων της διπλωματικής εργασίας.
Πηγή: ιδία επεξεργασία βάσει βιβλιογραφίας και τεκμηρίων έργου.

Ερευνητικός στόχος	Κύρια τεκμηρίωση / άξονας ανάλυσης	Κεφάλαια που τον υποστηρίζουν
Τεκμηρίωση του ιστορικού, τεχνικού και λειτουργικού πλαισίου του Πύργου του Πειραιά	Ιστορική εξέλιξη, αστική σημασία, μετάβαση από αδράνεια σε ανακατασκευή, υφιστάμενος φέρων οργανισμός, νέο κέλυφος και λειτουργικό πρόγραμμα	Κεφ. 2
Ανάλυση της οργανωτικής δομής και των βασικών μηχανισμών διοίκησης του έργου	Εμπλεκόμενοι φορείς, ρόλοι, όρια ευθύνης, φασική υλοποίηση, πακέτα εργασιών, προγραμματισμός και έλεγχος προόδου	Κεφ. 2, 4, 5
Αξιολόγηση τεχνικών διεπαφών και προκλήσεων H/M συντονισμού	Συντονισμός ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων (MEP coordination), περιορισμοί χώρου, φρεάτια, ψευδοροφές, όψεις, στατικά στοιχεία, κατασκευασιμότητα και συγκρούσεις πεδίου	Κεφ. 4, 5
Εξέταση της συμβολής BIM και CDE στη διαχείριση πληροφορίας και αλλαγών	Ψηφιακή μοντελοποίηση, κοινό περιβάλλον δεδομένων, έλεγχος εκδόσεων, ιχνηλασιμότητα αποφάσεων, εντοπισμός και επίλυση συγκρούσεων	Κεφ. 3, 5
Ανάλυση της επίδρασης μικτής χρήσης και μισθωτών στη διαχείριση του έργου	Διάκριση βασικού κτιρίου (base building) / εσωτερικής διαμόρφωσης μισθωτή (tenant fit-out), όρια ευθύνης, απαιτήσεις μισθωτών, τεχνικές διασυνδέσεις, παραδόσεις ανά χρήση	Κεφ. 2, 3, 5
Εξέταση ενεργειακής αναβάθμισης και απαιτήσεων βιωσιμότητας στη διοίκηση του έργου	Παρεμβάσεις κελύφους και H/M, φωτοβολταϊκά, PMS, LEED και WELL, επιλογές υλικών, τεχνικές υποβολές, τεκμηρίωση, ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος, ανακύκλωση υαλοπινάκων, ενσωματωμένος άνθρακας	Κεφ. 2, 5
Ανάλυση πυρασφάλειας, ελεγχόμενης εκκένωσης και λειτουργικής επαλήθευσης	Πυρασφάλεια, PAVA, διαχείριση καπνού, σενάρια εκκένωσης, commissioning, δοκιμές, handover και λειτουργική ετοιμότητα	Κεφ. 3, 5
Σύνθεση ευρημάτων και διατύπωση πρακτικών διδαγμάτων	Απάντηση ερευνητικών ερωτημάτων, αποτίμηση συμβολής, περιορισμοί, μεταφέρσιμα διδάγματα για αντίστοιχα έργα	Κεφ. 6

1.3 Ερευνητικά ερωτήματα

Τα ερευνητικά ερωτήματα χρησιμοποιούνται ως φίλτρο επιλογής του υλικού. Καθορίζουν ποια τεχνικά στοιχεία χρειάζονται ανάλυση και ποια πρέπει να μείνουν εκτός κύριου σώματος, επειδή δεν οδηγούν σε διαχειριστικό συμπέρασμα.

1. Πώς διαμορφώθηκε το όριο μεταξύ βασικού κτιρίου και εργασιών μισθωτών και ποιον ρόλο έπαιξε στη διαχείριση κινδύνου, ιδίως στις διασυνδέσεις πυρασφάλειας και μεγαφωνικού συστήματος φωνητικού συναγερμού (PAVA) και στη διατήρηση των πιστοποιήσεων μετά την παράδοση;
2. Με ποιον τρόπο ο τρισδιάστατος συντονισμός των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων σε ζώνες συμφόρησης επηρέασε μετρήσιμα ή ελέγξιμα χαρακτηριστικά του τελικού κτιρίου, όπως τα καθαρά ύψη, η προσβασιμότητα και η κατασκευασιμότητα;
3. Υπό ποιες προϋποθέσεις οι απαιτήσεις πυρασφάλειας και ελεγχόμενης εκκένωσης και οι απαιτήσεις των πλαισίων LEED και WELL λειτούργησαν ως ενεργός μηχανισμός ποιότητας και ελέγχου του έργου, αντί να εκπέσουν σε απολογιστική αναζήτηση τεκμηρίων στο τέλος του;
4. Σε ποιον βαθμό και για ποιους λόγους η κατασκευαστική ολοκλήρωση διαφοροποιήθηκε από τη λειτουργική παραλαβή, και τι ρόλο έπαιξαν η λειτουργική επαλήθευση συστημάτων και τα μεταγενέστερα δεδομένα παρακολούθησης (φωτοβολταϊκά, PMS) στην τεκμηρίωση της μετάβασης σε λειτουργία;

1.4 Μεθοδολογική προσέγγιση και πηγές τεκμηρίωσης

Η εργασία ακολουθεί ποιοτική μελέτη περίπτωσης, επειδή εξετάζει ένα σύνθετο έργο μέσα στο πραγματικό του περιβάλλον. Η μεθοδολογική επιλογή υπηρετεί την τεκμηριωμένη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο αποφάσεις, διαδικασίες,

αλληλεξαρτήσεις και μηχανισμοί ελέγχου διαμόρφωσαν την ανακατασκευή του Πύργου.

Η τεκμηρίωση οργανώνεται σε τέσσερις κατηγορίες, δηλαδή βιβλιογραφία και πρότυπα διοίκησης έργων, τεχνικά και διαδικαστικά έγγραφα του έργου, δημόσια στοιχεία για την ιστορική και αστική πορεία του κτιρίου και εμπειρική γνώση από την επίβλεψη H/M εγκαταστάσεων. Η αναλυτική μεθοδολογία αναπτύσσεται διεξοδικά στο Κεφάλαιο 4.

Τα τεκμήρια συνδέονται άμεσα με τα ερευνητικά ερωτήματα και με συγκεκριμένους άξονες ανάλυσης. Η λογική αυτή αποτυπώνεται στο Σχήμα 1.1.



Σχήμα 1.1: Μεθοδολογική προσέγγιση της μελέτης περίπτωσης: από τις πηγές τεκμηρίωσης στη θεματική ανάλυση, στα ερευνητικά ερωτήματα και στα πρακτικά συμπεράσματα. Πηγή: ιδία επεξεργασία.

1.5 Στοιχεία πρωτοτυπίας της εργασίας

Η πρωτοτυπία της εργασίας προκύπτει από το ότι ένα σπάνιο για τα ελληνικά δεδομένα έργο ανακατασκευής ψηλού κτιρίου εξετάζεται με συνδυασμό πραγματικών τεκμηρίων, τεχνικής εμπειρίας επίβλεψης και θεωρητικών εργαλείων διοίκησης έργων.

Με αυτή τη λογική, ο Πύργος δεν αντιμετωπίζεται ως μεμονωμένο εμβληματικό παράδειγμα. Αντιμετωπίζεται ως περίπτωση από την οποία μπορούν να εξαχθούν διδάγματα για το ελληνικό αστικό απόθεμα ψηλών κτιρίων, ιδίως σε έργα όπου συνυπάρχουν υφιστάμενος φορέας, νέες εγκαταστάσεις, μισθωτές, πιστοποιήσεις και ανάγκη ελεγχόμενης παράδοσης.

Η συμβολή της εργασίας συμπυκνώνεται σε τρεις άξονες. Αναλύει τον Πύργο ως έργο διοίκησης, πέρα από την τεχνική του περιγραφή, εξετάζει τις τεχνικές αλληλεξαρτήσεις ως παράγοντες χρόνου, ποιότητας και παράδοσης, και συσχετίζει BIM και CDE, LEED και WELL και λειτουργική επαλήθευση συστημάτων (commissioning) με πραγματικές διαδικασίες ελέγχου.

Η εμπειρία πεδίου χρησιμοποιείται με προσοχή ως ερμηνευτικό βοήθημα για συγκεκριμένες τεχνικές αποφάσεις, αλλαγές, αλληλεξαρτήσεις και διαδικασίες παράδοσης. Η διάκριση ανάμεσα σε δεδομένα, παρατηρήσεις και συμπεράσματα παραμένει απαραίτητη για την αξιοπιστία της εργασίας.

Η ένταξη της πυρασφάλειας, της ελεγχόμενης εκκένωσης, των απαιτήσεων LEED και WELL, των διαδικασιών BIM και CDE και της λειτουργικής επαλήθευσης συστημάτων (commissioning) στο ίδιο αναλυτικό πλαίσιο αποτελεί πρόσθετη συμβολή. Τα θέματα αυτά εξετάζονται ως απαιτήσεις που επηρέασαν υποβολές, δοκιμές, ευθύνες, αλλαγές και τελική παράδοση.

Η ειδική ανάλυση για ενσωματωμένη ενέργεια και άνθρακα χρησιμοποιείται επίσης με συγκεκριμένο σκοπό. Υποστηρίζει την ερμηνεία της ανακατασκευής ως απόφασης διαχείρισης πόρων και όχι απλώς ως επενδυτικής ή αρχιτεκτονικής επιλογής. Οι άξονες αυτοί συγκροτούν την ειδική συμβολή της εργασίας και συνοψίζονται στο Σχήμα 1.2.



Σχήμα 1.2: Άξονες πρωτοτυπίας της εργασίας: σύνδεση υφιστάμενου φέροντος οργανισμού, τεχνικών αλληλεξαρτήσεων, ψηφιακής ιχνηλασιμότητας, βιώσιμης τεκμηρίωσης και λειτουργικής παράδοσης στην ανακατασκευή του Πύργου του Πειραιά. Πηγή: ίδια επεξεργασία.

1.6 Δομή της διπλωματικής εργασίας

Η εργασία οργανώνεται σε έξι κεφάλαια, με διακριτό ρόλο για το καθένα.

Το Κεφάλαιο 1 θέτει το πρόβλημα, τον σκοπό, τα ερευνητικά ερωτήματα, τη μεθοδολογία, την πρωτοτυπία και τα όρια της έρευνας.

Το Κεφάλαιο 2 δίνει το αναγκαίο πλαίσιο της μελέτης περίπτωσης, δηλαδή την τεχνική ταυτότητα, την ιστορική διαδρομή, την επανενεργοποίηση του κτιρίου και τη διάκριση βασικού κτιρίου και μισθωτών.

Το Κεφάλαιο 3 παρουσιάζει το θεωρητικό πλαίσιο και το λεξιλόγιο που χρειάζεται η ανάλυση, δηλαδή διοίκηση έργου, κίνδυνο, αλλαγές, ποιότητα, ψηφιακή πληροφορία, ενδιαφερόμενα μέρη και λειτουργική επαλήθευση.

Το Κεφάλαιο 4 εξηγεί πώς χρησιμοποιούνται τα τεκμήρια και πώς η περίπτωση οργανώνεται μεθοδολογικά, χωρίς να επαναλαμβάνει ούτε την τεχνική ταυτότητα ούτε τη θεωρία.

Το Κεφάλαιο 5 περιλαμβάνει την εφαρμοσμένη ανάλυση, και συγκεκριμένα Η/Μ συντονισμό, BIM και CDE, πυρασφάλεια, LEED και WELL, λειτουργική επαλήθευση συστημάτων (commissioning) και ενδεικτικά λειτουργικά δεδομένα από Φ/Β και PMS.

Το Κεφάλαιο 6 συνθέτει τα ευρήματα της ανάλυσης, απαντά στα ερευνητικά ερωτήματα με τη σειρά που τέθηκαν, αποτιμά τη συμβολή και τους περιορισμούς της έρευνας και διατυπώνει πρακτικά διδάγματα και προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

1.7 Όρια της έρευνας και αξιοπιστία

Η εργασία χρησιμοποιεί στοιχεία πραγματικού έργου μόνο στον βαθμό που μπορούν να στηρίξουν ακαδημαϊκή ανάλυση.

Τα συμπεράσματα δεν διεκδικούν στατιστική γενίκευση. Διατυπώνονται ως αναλυτικά διδάγματα από μία συγκεκριμένη περίπτωση και μπορούν να μεταφερθούν σε άλλα έργα μόνο μετά από τεχνική και οργανωτική προσαρμογή.

Η αξιοπιστία της ανάλυσης στηρίζεται στη διασταύρωση τεκμηρίων και στη σαφή διάκριση ανάμεσα σε δεδομένα, εμπειρικές παρατηρήσεις και ερμηνευτικά συμπεράσματα.

Έτσι, ό,τι λέγεται για τη διοίκηση του έργου στηρίζεται σε τεκμήρια, χωρίς το κείμενο να μετατρέπεται ούτε σε υπεράσπιση της επένδυσης ούτε σε τεχνική έκθεση που δεν του αναλογεί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΠΥΡΓΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑ ΩΣ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΚΑΙ ΠΛΑΙΣΙΟ ΕΡΓΟΥ

Ο Πύργος του Πειραιά μπαίνει εδώ ως μελέτη περίπτωσης, όχι ως αντικείμενο πλήρους ιστορικής ή τεχνικής αφήγησης. Το κεφάλαιο κρατά μόνο όσα εξηγούν γιατί η ανακατασκευή ήταν, εξ αρχής, ένα δύσκολο πρόβλημα διοίκησης και όχι μια συνηθισμένη ανακαίνιση.

2.1 Τεχνική ταυτότητα, βασικό κτίριο και όρια μισθωτών

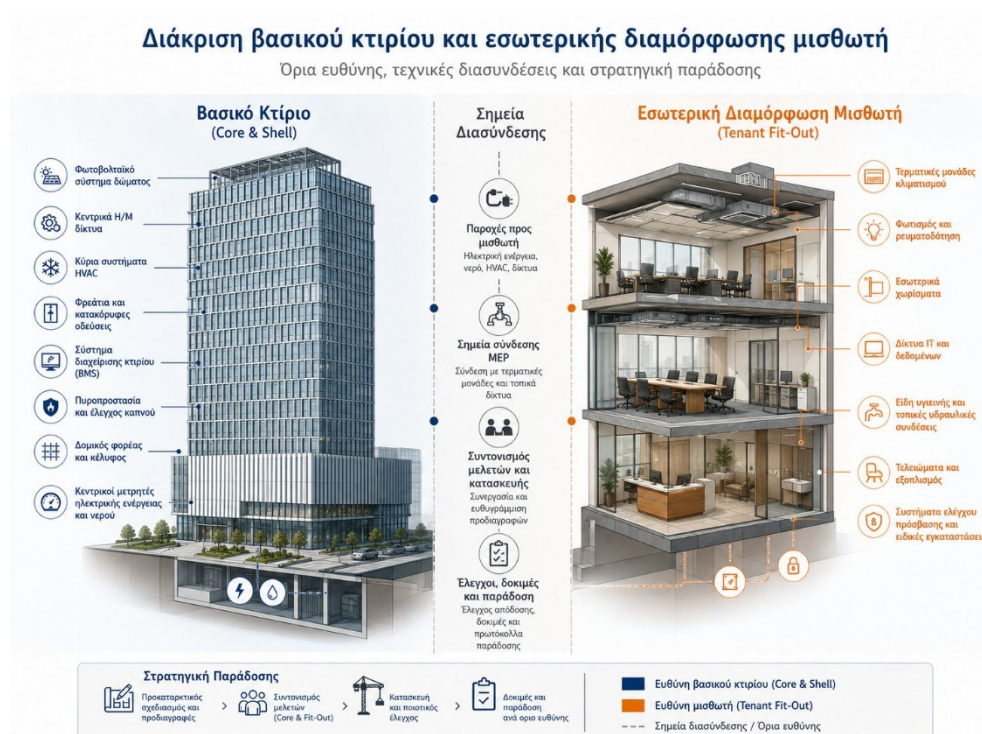
Η σύγχρονη ανακατασκευή οργανώθηκε ως επανάχρηση και πλήρης αναβάθμιση υφιστάμενου ψηλού κτιρίου. Η διατήρηση του φέροντος οργανισμού, η αντικατάσταση των όψεων, οι νέες Η/Μ υποδομές και οι διαφορετικές χρήσεις δημιούργησαν ένα έργο με πυκνές τεχνικές και οργανωτικές εξαρτήσεις, όχι μια συμβατική ανακαίνιση.

Η διάκριση μεταξύ βασικού κτιρίου και εσωτερικών διαμορφώσεων μισθωτών ήταν κεντρική για την οργάνωση του έργου. Το βασικό κτίριο περιλαμβάνει τον φέροντα οργανισμό, το νέο κέλυφος, τους κοινόχρηστους χώρους, τις κεντρικές Η/Μ υποδομές και τα συστήματα που εξυπηρετούν το σύνολο του ακινήτου. Οι χώροι μισθωτών, αντίθετα, συνδέονται με ειδικές λειτουργικές και εμπορικές απαιτήσεις που έπρεπε να ενσωματωθούν χωρίς να αποσταθεροποιείται ο κοινός τεχνικός κορμός.

Η διάκριση αυτή είχε άμεσες συνέπειες. Καθόριζε τι παραδίδει ο φορέας ανάπτυξης, τι αναλαμβάνει ο μισθωτής, ποια συστήματα μένουν κοινά και σε ποια σημεία απαιτούνται σαφείς τεχνικές διασυνδέσεις. Ισχύς, αερισμός, ψύξη και θέρμανση, πυρανίχνευση, μεγαφωνικό σύστημα ανακοινώσεων και φωνητικού συναγερμού (Public Address and Voice Alarm System – PAVA), αυτοματισμοί, μετρήσεις ενέργειας και κοινές οδεύσεις έπρεπε να έχουν καθαρό όριο ευθύνης (INSTA, 2021a).

Το έργο επομένως δεν μπορούσε να οργανωθεί ως άθροισμα ανεξάρτητων πακέτων. Μια μεταβολή σε χώρο μισθωτή έπρεπε να ελεγχθεί απέναντι στις κοινές παροχές και στα όρια ευθύνης πριν εγκριθεί· αλλιώς η συνέπειά της δεν εξαφανιζόταν, απλώς μετατοπιζόταν χρονικά και εμφανιζόταν αργότερα στο εργοτάξιο ως καθυστέρηση ή ασυμβατότητα.

Το Σχήμα 2.1 συνοψίζει αυτή τη διάκριση μεταξύ βασικού κτιρίου και εσωτερικής διαμόρφωσης μισθωτή διαμόρφωσης μισθωτή, αποτυπώνοντας τα όρια ευθύνης, τις τεχνικές διασυνδέσεις και τις συνέπειες για τη στρατηγική παράδοσης.



Σχήμα 2.1: Διάκριση βασικού κτιρίου και εσωτερικής διαμόρφωσης μισθωτή στο πλαίσιο ορίων ευθύνης, τεχνικών διασυνδέσεων και στρατηγικής παράδοσης.

2.1.1 Λειτουργική ολοκλήρωση και παράδοση

Σε ψηλό κτίριο μικτής χρήσης η ολοκλήρωση δεν κρίνεται από το αν ένας χώρος φαίνεται τελειωμένος. Κρίνεται από το αν το κτίριο μπορεί να λειτουργήσει καθημερινά με ασφάλεια, άνεση και προβλεψιμότητα, παρότι εξυπηρετεί γραφεία, εμπορικές χρήσεις, εστίαση και χώρους ευεξίας με κοινές κεντρικές υποδομές.

Η παράδοση έπρεπε να επιβεβαιώσει τη συνεργασία των βασικών συστημάτων. Το σύστημα θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού (Heating, Ventilation and Air Conditioning – HVAC), το κεντρικό σύστημα διαχείρισης κτιρίου (Building Management System – BMS), η πυρανίχνευση, το σύστημα PAVA, οι ανελκυστήρες, η διαχείριση καπνού, οι μετρήσεις ενέργειας και οι υποδομές μισθωτών έπρεπε να λειτουργούν με συμβατές παραδοχές. Γι’ αυτό η ολοκλήρωση απαιτούσε ελέγχους, ρυθμίσεις, δοκιμές, τεκμηρίωση και μεταφορά γνώσης στον φορέα λειτουργίας, πέρα από την εγκατάσταση του εξοπλισμού (ASHRAE, 2019; INSTA, 2021a; Mills, 2011).

Οι απαιτήσεις της περιβαλλοντικής πιστοποίησης κτιρίου (Leadership in Energy and Environmental Design – LEED) και της πιστοποίησης υγείας και ευεξίας χρηστών (WELL Building Standard – WELL) πρόσθεσαν πειθαρχία στη διαδικασία. Υλικά, ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος, ενεργειακή παρακολούθηση, λειτουργική επαλήθευση συστημάτων (commissioning) και τεκμηρίωση έπρεπε να αποδειχθούν με υποβολές, στοιχεία και ελέγχους, όχι μόνο με γενικές δηλώσεις συμμόρφωσης (Piraeus Tower A.E., 2023a).

Η παράδοση προς λειτουργία πρέπει έτσι να διαβαστεί ως αλληλουχία που περιλαμβάνει την ολοκλήρωση των βασικών υποδομών, τους ελέγχους εγκατάστασης, τις ρυθμίσεις, τις δοκιμές, την τεκμηρίωση και την παραλαβή από τον φορέα λειτουργίας. Το ζητούμενο ήταν ένα κτίριο διαχειρίσιμο, όχι απλώς κατασκευαστικά τελειωμένο. Ο Πίνακας 2.1 συνοψίζει τις διαχειριστικές απαιτήσεις που προέκυψαν από τα πλαίσια πιστοποίησης LEED και WELL, δείχνοντας πώς οι στόχοι πιστοποίησης μεταφράστηκαν σε συγκεκριμένες υποχρεώσεις τεκμηρίωσης, ελέγχου και συντονισμού κατά την υλοποίηση και την παράδοση.

Πίνακας 2.1: Διαχειριστικές απαιτήσεις που προέκυψαν από τα πλαίσια πιστοποίησης LEED και WELL κατά την υλοποίηση και παράδοση του έργου. Πηγή: ιδία επεξεργασία βάσει βιβλιογραφίας και τεκμηρίων έργου.

Πλαίσιο / Πιστοποίηση	Τι απαιτήσε πρακτικά από τη διοίκηση του έργου
LEED BD+C: Core and Shell	Έλεγχο του βασικού κτιρίου, του νέου κελύφους και των κεντρικών H/M υποδομών, τεκμηρίωση υλικών και τεχνικών υποβολών, παρακολούθηση απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης, μετρήσεων, εργοταξιακών πρακτικών και διαδικασιών συμμόρφωσης.
WELL Core / WELL v2	Έλεγχο παραμέτρων που συνδέονται με την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος, όπως αέρας, νερό, φωτισμός, θερμική και ακουστική άνεση, καθώς και σύνδεση αυτών των απαιτήσεων με τις τεχνικές επιλογές, τις δοκιμές, την τεκμηρίωση και τη μελλοντική λειτουργία του κτιρίου.

2.2 Ιστορική διαδρομή και διαχειριστικές συνέπειες

Η ιστορική διαδρομή του Πύργου χρειάζεται εδώ μόνο στον βαθμό που εξηγεί τη σύγχρονη ανακατασκευή, χωρίς να συγκροτεί ανεξάρτητο ιστορικό κεφάλαιο. Δείχνει πώς ένα ημιτελές και για χρόνια ανενεργό κτίριο δημιούργησε τεχνικές εκκρεμότητες, συμβολικές προσδοκίες και αυξημένο βάρος παράδοσης.

2.2.1 Αστικά τοπόσημα και πλαίσιο Πειραιά

Ο Πειραιάς διαμορφώθηκε ως πόλη άμεσα συνδεδεμένη με το λιμάνι, τη ναυτιλία, το εμπόριο και τις καθημερινές μετακινήσεις. Στο περιβάλλον αυτό, τα αστικά τοπόσημα λειτουργούσαν ως σημεία συλλογικής μνήμης και χωρικής ταυτότητας. Για την παρούσα εργασία, κρίσιμη είναι η ένταξη του Πύργου σε περιοχή υψηλής ορατότητας και έντονης συμβολικής φόρτισης.

Η κλίμακα και η θέση του κτιρίου το κατέστησαν από την αρχή μέρος της δημόσιας εικόνας του Πειραιά. Για τη σύγχρονη ανακατασκευή αυτό σήμαινε ότι η τεχνική λύση έπρεπε να συνοδεύεται από αξιόπιστη λειτουργική επανένταξη και από τελικό αποτέλεσμα ικανό να απαντήσει στις προσδοκίες της πόλης. Η βιβλιογραφία για τα ψηλά κτίρια δείχνει ότι η κλίμακα και η ορατότητά τους τα καθιστούν στοιχεία του

αστικού περιβάλλοντος με επιπτώσεις πέρα από το ίδιο το οικόπεδο, γεγονός που ενισχύει την ανάγκη αξιόπιστης λειτουργικής και όχι μόνο μορφολογικής ολοκλήρωσης (Ali & Al-Kodmany, 2012).

Η Εικόνα 2.1 χρησιμοποιείται ως τεκμήριο του αστικού περιβάλλοντος στο οποίο εντάχθηκε ο Πύργος.



Εικόνα 2.1: Το λιμάνι του Πειραιά σε παλαιότερη περίοδο και το Ρολόι του Πειραιά ως ιστορικό τοπόσημο του λιμανιού, πριν την κατεδάφισή του. Πηγή: *ExploringGreece* (2026) και *Portnet* (2025), ιδία επεξεργασία.

Η Εικόνα 2.2 συμπληρώνει την ίδια ανάγνωση, επειδή δείχνει την κλίμακα του παραλιακού μετώπου πριν από τις μεταγενέστερες μεγάλες παρεμβάσεις.



Εικόνα 2.2: Η Ακτή Μιαούλη και το λιμάνι του Πειραιά σε παλαιότερη φάση της δεκαετίας του 1960. Πηγή: ExploringGreece (2026) και Portnet (2025), ιδία επεξεργασία.

Συνεπώς, η αστική θέση του κτιρίου λειτούργησε ως πρόσθετος παράγοντας διαχειριστικής πίεσης. Η τελική εικόνα, η ποιότητα, η λειτουργική αξιοπιστία και η συμβολή στο παραλιακό μέτωπο αποτελούσαν μέρος του ίδιου του αντικειμένου διοίκησης του έργου.

2.2.2 Η Δημοτική Αγορά ως αστική τομή

Η Δημοτική Αγορά αποτέλεσε σημαντικό κόμβο καθημερινής ζωής και εμπορικής δραστηριότητας. Η κατεδάφισή της υπήρξε αστική τομή, επειδή μετέβαλε τη συνέχεια του χώρου και δημιούργησε το υπόβαθρο για νέες μορφές αξιοποίησης στο παραλιακό μέτωπο.

Για την παρούσα εργασία, το κρίσιμο στοιχείο είναι ότι ο Πύργος αναπτύχθηκε σε χώρο ήδη φορτισμένο από προηγούμενες χρήσεις. Η μεταγενέστερη ατελής λειτουργία του προσλήφθηκε ως τεχνική εκκρεμότητα και ως αστικό κενό με αυξημένη συμβολική βαρύτητα.

Από διαχειριστική άποψη, αυτό μετέτρεπε την επανενεργοποίηση του κτιρίου σε ζήτημα τεχνικής αποκατάστασης και λειτουργικής επανασύνδεσης με την πόλη.

2.2.3 Πολιτικό και θεσμικό πλαίσιο 1967–1974

Η αρχική σύλληψη και ανέγερση του Πύργου τοποθετείται σε περίοδο έντονων αστικών μετασχηματισμών. Για την παρούσα εργασία, η σημασία αυτής της συγκυρίας έγκειται στην κατανόηση του πώς ένα ψηλό κτίριο στο παραλιακό μέτωπο φορτίστηκε από νωρίς με προσδοκίες εκσυγχρονισμού και δημόσιας προβολής.

Έτσι, ο Πύργος απέκτησε από νωρίς αμφίσημο χαρακτήρα. Προβλήθηκε ως ένδειξη αναπτυξιακής φιλοδοξίας, αλλά συνδέθηκε και με μια παρέμβαση που δεν ολοκληρώθηκε λειτουργικά.

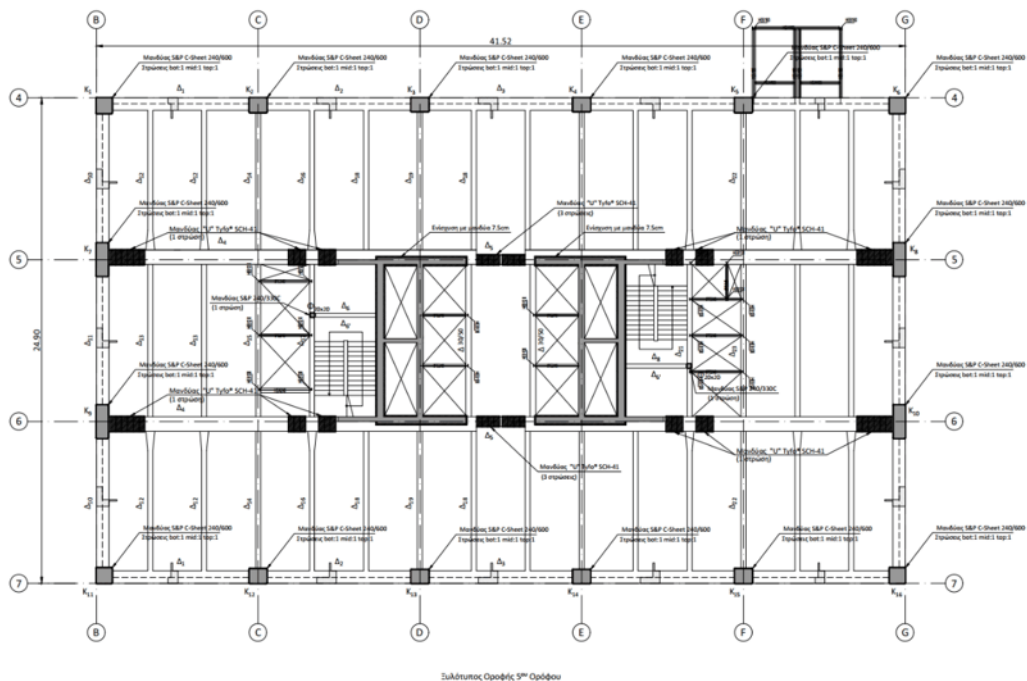
Η σύγχρονη επέμβαση έπρεπε επομένως να αποδείξει ότι το κτίριο μπορούσε πλέον να λειτουργήσει ως ενεργό και αξιόπιστο αστικό στοιχείο. Η ιστορική φόρτιση εξηγεί γιατί η ανακατασκευή είχε αυξημένες απαιτήσεις ποιότητας, εικόνας, λειτουργικής συνέπειας και δημόσιας αποδοχής.

2.2.4 Αρχικός σχεδιασμός και ατελής ολοκλήρωση

Η κατασκευή του Πύργου του Πειραιά ξεκίνησε στις αρχές της δεκαετίας του 1970, με στόχο τη δημιουργία ενός ψηλού κτιρίου αναφοράς στο παραλιακό μέτωπο και στο εμπορικό κέντρο της πόλης. Η ολοκλήρωση του φέροντος οργανισμού διαμόρφωσε τη μόνιμη δομική παρουσία του κτιρίου, χωρίς όμως να εξασφαλίσει αντίστοιχη λειτουργική ολοκλήρωση. Οι εσωτερικοί χώροι, οι τεχνικές υποδομές και οι χρήσεις δεν αναπτύχθηκαν με την ίδια συνέπεια, με αποτέλεσμα ο Πύργος να παραμένει για μεγάλο διάστημα μερικώς αξιοποιημένος και ουσιαστικά ανολοκλήρωτος ως λειτουργικό σύνολο (Piraeus Tower A.E., 2026b).

Η διαφοροποίηση αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία για την παρούσα εργασία. Ο Πύργος χρειαζόταν πολύ περισσότερα από αισθητική ανανέωση ή περιορισμένες εσωτερικές παρεμβάσεις. Ήταν υφιστάμενο ψηλό κτίριο με διατηρημένο φέροντα οργανισμό, χωρίς όμως τη λειτουργική και τεχνική πληρότητα που απαιτεί ένα σύγχρονο κτίριο μικτής χρήσης. Η σύγχρονη ανακατασκευή έπρεπε επομένως να αξιοποιήσει το υφιστάμενο δομικό υπόβαθρο και ταυτόχρονα να ενσωματώσει νέες απαιτήσεις στατικής επάρκειας, όψεων, Η/Μ εγκαταστάσεων, πυροπροστασίας, ενεργειακής απόδοσης, προσβασιμότητας, πιστοποιήσεων και λειτουργικής παράδοσης σύμφωνα με τη σημερινή νομοθεσία.

Η Εικόνα 2.3 παρουσιάζει την κάτοψη του φέροντος οργανισμού τυπικού ορόφου γραφείων. Η εικόνα έχει διαχειριστική σημασία, επειδή αποτυπώνει το πραγματικό δομικό πλαίσιο μέσα στο οποίο έπρεπε να οργανωθούν οι νέες χρήσεις, οι Η/Μ οδεύσεις, τα κατακόρυφα δίκτυα, οι απαιτήσεις όψεων και οι περιορισμοί χώρου. Το σχήμα του υφιστάμενου φορέα αποτέλεσε βασική συνθήκη που επηρέασε τον συντονισμό της μελέτης και της κατασκευής.



Εικόνα 2.3: Σχέδιο/ κάτοψη φέροντος οργανισμού τυπικού ορόφου γραφείων.

Η Εικόνα 2.4 δείχνει τον Πύργο σε φάση ανέγερσης ή πρώιμης παρουσίας. Η χρησιμότητά της είναι συγκεκριμένη, καθώς κάνει ορατή την κλίμακα του φέροντος οργανισμού που έπρεπε να μετατραπεί, δεκαετίες αργότερα, σε ασφαλές και πλήρες κτίριο σύγχρονων απαιτήσεων.



Εικόνα 2.4: Ο Πύργος του Πειραιά σε ιστορική φάση ανέγερσης ή πρώιμης παρουσίας, αποτύπωση της κλίμακας του φέροντος οργανισμού. Πηγή: φωτογραφικό/τεχνικό αρχείο έργου, ιδία επεξεργασία.

Η ατελής ολοκλήρωση της αρχικής φάσης δημιούργησε μια αντίφαση που επηρέασε τη μεταγενέστερη διοίκηση του έργου. Ο υφιστάμενος φέρων οργανισμός ήταν σημαντικός πόρος, επειδή επέτρεπε επανάχρηση μεγάλης ποσότητας ενσωματωμένου υλικού και διατήρηση της βασικής δομικής υπόστασης του κτιρίου. Ταυτόχρονα, η παλαιότητα, οι πραγματικές γεωμετρίες, οι αποκλίσεις από διαθέσιμες αποτυπώσεις και η ανάγκη συμμόρφωσης με σύγχρονες απαιτήσεις δημιούργησαν αβεβαιότητες που απαιτούσαν αποτυπώσεις, τεχνικές αξιολογήσεις, στοχευμένες ενισχύσεις και συνεχή συντονισμό μεταξύ μελετητών, αναδόχου και επίβλεψης.

Έτσι, η αρχική κατασκευή και η ατελής λειτουργική ολοκλήρωση του Πύργου δεν αποτελούν απλώς ιστορικό προηγούμενο. Αποτελούν τεχνικό και διαχειριστικό δεδομένο της σύγχρονης ανακατασκευής. Η διοίκηση του έργου έπρεπε να μετατρέψει έναν υφιστάμενο φορέα με ιστορικό αδράνειας σε βάση για ένα σύγχρονο κτίριο υψηλών απαιτήσεων.

2.2.5 Η επένδυση όψεων και η παγίωση της αδράνειας

Η μεταγενέστερη επένδυση των όψεων βελτίωσε την εξωτερική εικόνα του Πύργου προς την πόλη, χωρίς όμως να επιλύσει τη βασική εκκρεμότητα της πλήρους λειτουργικής του ολοκλήρωσης. Το κτίριο απέκτησε ισχυρή παρουσία στο παραλιακό μέτωπο, αλλά η εξωτερική εικόνα δεν αντιστοιχούσε σε πλήρη εσωτερική λειτουργία. Δημιουργήθηκε έτσι μια χαρακτηριστική αντίφαση, ο Πύργος εμφανιζόταν ως ολοκληρωμένος αστικός όγκος, ενώ στην πράξη παρέμενε σε μεγάλο βαθμό ανενεργός και ανεπαρκώς αξιοποιημένος.

Η αντίφαση αυτή επηρέασε τη δημόσια πρόσληψη του κτιρίου. Ένας τόσο μεγάλος και ορατός όγκος δεν μπορούσε να περάσει απαρατήρητος, ενώ η μακρά αδράνεια συνδέθηκε με την απόσταση ανάμεσα στην αρχική αναπτυξιακή φιλοδοξία και στην πραγματική χρήση που τελικά επιτεύχθηκε. Το παλαιό σύστημα όψεων λειτούργησε για χρόνια ως εξωτερικό περίβλημα μιας ανεκπλήρωτης υπόσχεσης. Το κτίριο ήταν παρόν στο αστικό τοπίο, αλλά δεν συμμετείχε ουσιαστικά στη λειτουργική ζωή της πόλης.

Η Εικόνα 2.5 παρουσιάζει τον Πύργο με την παλαιά του όψη και τεκμηριώνει την περίοδο αδράνειας πριν από την ανακατασκευή. Η εικόνα χρησιμοποιείται για να δείξει ότι η αναβάθμιση απαιτούσε πλήρη τεχνική, λειτουργική και διαχειριστική επανενεργοποίηση, πέρα από την αντικατάσταση του εξωτερικού κελύφους.



Εικόνα 2.5: Ο Πύργος του Πειραιά με την παλιά του όψη. Πηγή: φωτογραφικό/τεχνικό αρχείο έργου, ιδία επεξεργασία.

Για τη σύγχρονη ανακατασκευή, το παλαιό σύστημα όψεων αποτελούσε στοιχείο της προηγούμενης εικόνας του κτιρίου και ένδειξη των ορίων της παλαιάς του λειτουργίας. Η αντικατάστασή του με νέο ενεργειακά αναβαθμισμένο σύστημα γυάλινων όψεων επηρέασε περισσότερα πεδία από την αρχιτεκτονική εμφάνιση. Συνδέθηκε με την ενεργειακή απόδοση, τον φυσικό φωτισμό, τη θερμική άνεση, τις απαιτήσεις των πιστοποιήσεων και τον συντονισμό με τις νέες Η/Μ εγκαταστάσεις και τους εσωτερικούς χώρους. Επομένως, η όψη αποτέλεσε σημείο σύνδεσης ανάμεσα στην εξωτερική εικόνα, την τεχνική απόδοση και τη λειτουργική επανενεργοποίηση του κτιρίου. Η διαχειριστική πρόκληση ήταν η ένταξη του νέου συστήματος στο συνολικό τεχνικό και λειτουργικό πλαίσιο της ανακατασκευής.

2.2.6 Ο Πύργος στον δημόσιο λόγο

Ο Πύργος του Πειραιά απέκτησε έντονη συμβολική παρουσία στον δημόσιο λόγο της πόλης. Η κλίμακα, η θέση και η μακρά αδράνεια του κτιρίου το μετέτρεψαν σε ορατό σημείο αναφοράς για την αστική πορεία του Πειραιά. Για την παρούσα εργασία, η σημασία αυτού του στοιχείου είναι διαχειριστική, επειδή ένα έργο με τόσο ισχυρή

δημόσια φόρτιση αξιολογείται ως τεχνική επέμβαση και ως υπόσχεση λειτουργικής επανενεργοποίησης.

Η αντίθεση ανάμεσα στην ισχυρή εξωτερική παρουσία του κτιρίου και στην περιορισμένη λειτουργική του ζωή διαμόρφωσε την εικόνα μιας ατελούς αστικής υπόσχεσης. Η δημόσια πρόσληψη του Πύργου προέκυψε κυρίως από το γεγονός ότι για δεκαετίες δεν λειτούργησε ανάλογα με την κλίμακα και τη θέση του.

Η σύγχρονη ανακατασκευή επαναπροσδιόρισε αυτή τη σχέση, μετατρέποντας ένα σύμβολο αδράνειας σε ενεργό κτίριο με νέα αστική και λειτουργική σημασία. Αυτό αύξησε την απαίτηση για ορατό αποτέλεσμα, τεχνική αξιοπιστία, ποιότητα κατασκευής και καθαρή μετάβαση στη λειτουργία. Σε τέτοιο κτίριο, μια αστοχία θα είχε τεχνικό κόστος και αντίκτυπο στην αποδοχή του έργου από την πόλη.

Επομένως, η συμβολική διάσταση του Πύργου εντάσσεται στο διαχειριστικό πλαίσιο της ανακατασκευής. Η διοίκηση του έργου έπρεπε να παραδώσει ένα κτίριο ικανό να υποστηρίξει τη νέα του δημόσια εικόνα με πραγματική τεχνική συνέπεια, λειτουργική αξιοπιστία και επαρκή τεκμηρίωση.

2.2.7 Αδράνεια, τεχνική αβεβαιότητα και κίνδυνος

Η μακρά περίοδος αδράνειας του Πύργου δημιούργησε πραγματικές τεχνικές αβεβαιότητες. Σε ένα υφιστάμενο ψηλό κτίριο, η κατάσταση του φέροντος οργανισμού, οι γεωμετρικές αποκλίσεις, οι οδεύσεις, τα ανοίγματα και οι διαθέσιμοι χώροι εγκατάστασης δεν μπορούν να θεωρηθούν πλήρως γνωστά μόνο από τα αρχικά σχέδια ή από μια γενική αποτύπωση. Η ανακατασκευή απαιτεί συνεχή επιβεβαίωση των πραγματικών συνθηκών και προσαρμογή της μελέτης σε αυτές.

Η αβεβαιότητα αυτή επηρέασε άμεσα τη διοίκηση του έργου. Κάθε απόκλιση μεταξύ μελέτης και πραγματικής κατάστασης μπορούσε να απαιτήσει νέα τεχνική απόφαση, πρόσθετη αποτύπωση, αναθεώρηση σχεδίων, αλλαγή αλληλουχίας εργασιών ή επανεκτίμηση τεχνικών αλληλεξαρτήσεων. Έτσι, η αδράνεια μετατράπηκε σε ανάγκη οργανωμένου ελέγχου κινδύνου, ελέγχου αλλαγών και τεκμηρίωσης αποφάσεων.

Στην περίπτωση του Πύργου, οι αβεβαιότητες αφορούσαν τον φέροντα οργανισμό, αλλά και την ένταξη νέων Η/Μ εγκαταστάσεων, τις απαιτήσεις πυροπροστασίας και εκκένωσης, τη χωροθέτηση κατακόρυφων δικτύων, το νέο σύστημα γυάλινων όψεων και τις διαφορετικές χρήσεις του κτιρίου. Η σύγχρονη ανακατασκευή έπρεπε να συνδυάσει παλαιό δομικό υπόβαθρο και νέα τεχνική λειτουργία, γεγονός που αύξησε τη σημασία του συντονισμού μεταξύ αρχιτεκτονικής, στατικών, Η/Μ εγκαταστάσεων, όψεων, πιστοποιήσεων και λειτουργικής παράδοσης (INSTA, 2021a).

Σε επίπεδο χρόνου, η σταδιακή αποκάλυψη πραγματικών συνθηκών μπορούσε να οδηγήσει σε αναπρογραμματισμό εργασιών, καθυστερήσεις εγκρίσεων ή επανέλεγχο λύσεων πριν από την κατασκευή. Σε επίπεδο κόστους, μπορούσε να προκαλέσει πρόσθετες εργασίες, νέες προμήθειες ή έμμεσες επιβαρύνσεις από επαναληπτικές εργασίες. Σε επίπεδο ποιότητας, ο κίνδυνος αφορούσε και την τελική λειτουργική επάρκεια των συστημάτων, δηλαδή τις διασυνδέσεις, τις ρυθμίσεις, τις δοκιμές και τα παραδοτέα λειτουργίας.

Οι επιτόπιες διαπιστώσεις έπρεπε να γίνονται τεκμηριωμένες αποφάσεις. Οι αλλαγές έπρεπε να αξιολογούνται, οι αναθεωρήσεις να αποτυπώνονται σε σχέδια και μοντέλα και τα ανοιχτά τεχνικά ζητήματα να κλείνουν πριν μετατραπούν σε καθυστερήσεις ή αστοχίες.

Συνεπώς, η μακρά αδράνεια του Πύργου αποτελεί αιτία τεχνικής και οργανωτικής πολυπλοκότητας. Εξηγεί γιατί η ανακατασκευή απαίτησε αυξημένο συντονισμό, αυστηρό έλεγχο αλλαγών, ψηφιακή ιχνηλασιμότητα, συστηματική τεκμηρίωση και διαδικασίες λειτουργικής επαλήθευσης.

2.2.8 Θεσμική και επενδυτική επανεκκίνηση

Η επανεκκίνηση του Πύργου μετά την πολυετή αδράνεια προϋπέθετε σταθερό θεσμικό και επενδυτικό πλαίσιο. Το πλαίσιο αυτό καθόρισε ρόλους, ευθύνες, χρηματοδότηση, συμβατικές υποχρεώσεις και μηχανισμούς παρακολούθησης. Χωρίς τέτοια βάση, η τεχνική αναβάθμιση θα παρέμενε αποσπασματική και δύσκολα ελέγξιμη.

Η θεσμική επανεκκίνηση είχε άμεση σημασία για τη διαχείριση του έργου. Ένα κτίριο που για δεκαετίες παρέμενε εκτός ενεργής χρήσης έπρεπε να ενταχθεί σε συγκεκριμένο σχήμα υλοποίησης, με σαφείς ευθύνες, ελεγχόμενες συμβάσεις, απαιτήσεις ποιότητας και διαδικασίες παρακολούθησης. Η παραχώρηση δημιούργησε πλαίσιο λογοδοσίας και μετέτρεψε την πρόθεση αξιοποίησης σε τεχνικό έργο με παραδοτέα, εγκρίσεις, ελέγχους και απαιτήσεις λειτουργικής παράδοσης.

Η επενδυτική διάσταση εκφράστηκε μέσα από τη συμμετοχή βασικών φορέων ανάπτυξης και επένδυσης. Κεντρικό ρόλο είχε η DIMAND, ως developer και φορέας ανάπτυξης του έργου, ενώ η EBRD και η PRODEA Investments συμμετείχαν ως επενδυτικοί εταίροι. Η συμμετοχή τους συνέβαλε στη διαμόρφωση αξιόπιστου σχήματος υλοποίησης, ικανού να υποστηρίξει οικονομικά, οργανωτικά και λειτουργικά την ολοκλήρωση της ανακατασκευής (DIMAND, 2026).

Η Piraeus Tower A.E. συνέδεσε τη θεσμική παραχώρηση με την επενδυτική υλοποίηση και την τεχνική ανακατασκευή. Η συνεργασία developer, επενδυτών, γενικού αναδόχου, μελετητών, συμβούλων πιστοποιήσεων και εξειδικευμένων τεχνικών ομάδων δείχνει ότι η επιτυχία εξαρτήθηκε από τις επιμέρους τεχνικές λύσεις και από τον συντονισμό των ρόλων σε κοινό πλαίσιο αποφάσεων (Piraeus Tower A.E., 2026b).

Η Εικόνα 2.6 αποτυπώνει τη μετάβαση από την προηγούμενη κατάσταση στη νέα μορφή του κτιρίου. Η σύγκριση καθιστά σαφές ότι η αλλαγή της εικόνας είχε νόημα επειδή συνοδεύτηκε από πλήρη τεχνική και λειτουργική επανενεργοποίηση.



Εικόνα 2.6: Η μετάβαση από την αρχική κατάσταση στην τελική. Πηγή: φωτογραφικό/τεχνικό αρχείο έργου.

Η σύγχρονη ανακατασκευή υπερέβη την αλλαγή της εξωτερικής εικόνας του Πύργου και περιέλαβε αξιοποίηση του υφιστάμενου φέροντος οργανισμού, νέο ενεργειακά αναβαθμισμένο σύστημα γυάλινων όψεων, νέες Η/Μ εγκαταστάσεις, κοινόχρηστους χώρους, υποδομές μισθωτών, απαιτήσεις πιστοποιήσεων, ψηφιακή τεκμηρίωση και διαδικασίες ελέγχου πριν από τη λειτουργία. Το έργο είχε επομένως χαρακτήρα πλήρους τεχνικής και λειτουργικής ανασύνταξης.

Ο δυναμικός φωτισμός ανάδειξης της όψης μέσω συστήματος ελέγχου φωτισμού DMX, με δυνατότητα προβολής χρωμάτων, μοτίβων και μηνυμάτων, είχε επίσης τεχνική σημασία. Η όψη απέκτησε μέσω αυτού και επικοινωνιακή λειτουργία, άρα

απαιτούσε συντονισμό ηλεκτρολογικών, ασθενών ρευμάτων, αυτοματισμών και αρχιτεκτονικής πρόθεσης (INSTA, 2021a).

Οι στόχοι βιωσιμότητας και υψηλής λειτουργικής απόδοσης εντάχθηκαν από τα πρώτα στάδια. Οι απαιτήσεις LEED και WELL, η επιλογή νέου κελύφους, η διαχείριση υλικών, η τεκμηρίωση και οι διαδικασίες λειτουργικής επαλήθευσης επηρέασαν την οργάνωση του έργου, τις προμήθειες, τις τεχνικές υποβολές, τις δοκιμές και την παράδοση. Η επενδυτική επανεκκίνηση συνδέθηκε έτσι με συγκεκριμένες διαχειριστικές απαιτήσεις και όχι μόνο με την οικονομική αξιοποίηση του ακινήτου (International WELL Building Institute, 2026; Piraeus Tower A.E., 2023a; U.S. Green Building Council, 2024).

Η θεσμική και επενδυτική επανεκκίνηση ήταν προϋπόθεση της τεχνικής ανακατασκευής. Χωρίς σαφές πλαίσιο παραχώρησης, χρηματοδότησης, ρόλων, συμβάσεων και παραδοτέων, η επανενεργοποίηση του κτιρίου θα έμενε ευχή και όχι ελεγχόμενο έργο. Σε σύνθετες επαναχρήσεις ψηλών κτιρίων, η τεχνική λύση εξαρτάται από το οργανωτικό και επενδυτικό σχήμα που τη στηρίζει.

Η ιστορική διαδρομή του Πύργου του Πειραιά δείχνει ότι η σύγχρονη ανακατασκευή δεν μπορεί να ερμηνευθεί μόνο ως τεχνική επέμβαση σε υφιστάμενο κτίριο. Η θέση του στο παραλιακό μέτωπο, η προηγούμενη αστική φόρτιση, η ατελής λειτουργική ολοκλήρωση, η μακρά αδράνεια, η θεσμική παραχώρηση και η συμμετοχή των βασικών επενδυτικών και αναπτυξιακών φορέων συγκρότησαν ένα σύνθετο υπόβαθρο. Πάνω σε αυτό το υπόβαθρο στηρίχθηκε η επιλογή ανακατασκευής, η οποία εξετάζεται στη συνέχεια και ως στρατηγική βιώσιμης αξιοποίησης υφιστάμενου φέροντος οργανισμού και υλικών πόρων.

2.3 Ενσωματωμένη ενέργεια και άνθρακας στην ανακατασκευή

Η βιώσιμη διάσταση της ανακατασκευής του Πύργου του Πειραιά αφορά τόσο την ενεργειακή απόδοση του τελικού κτιρίου όσο και την επιλογή επανάχρησης του υφιστάμενου φέροντος οργανισμού. Σε έργα μεγάλης κλίμακας, η διατήρηση

σημαντικού μέρους της υφιστάμενης κατασκευής μπορεί να περιορίσει την ανάγκη νέων υλικών, τα απόβλητα και μέρος του ενσωματωμένου περιβαλλοντικού αποτυπώματος.

Το ζήτημα αυτό εξετάστηκε σε ειδική ερευνητική εργασία, η οποία συνέκρινε το πραγματικό σενάριο ανακαίνισης και επανάχρησης με ένα υποθετικό σενάριο πλήρους κατεδάφισης και νέας κατασκευής. Για την παρούσα διπλωματική, η χρησιμότητα της μελέτης βρίσκεται στην τεκμηρίωση της ανακατασκευής ως επιλογής διαχείρισης πόρων και ως επενδυτικής απόφασης, χωρίς να υποκαθιστά πλήρη ανάλυση κύκλου ζωής.

Σύμφωνα με τη συγκεκριμένη έρευνα, η σύγκριση μεταξύ του πραγματικού σεναρίου ανακαίνισης, δηλαδή του Σεναρίου II, και του υποθετικού σεναρίου κατεδάφισης και νέας κατασκευής, δηλαδή του Σεναρίου I, έδειξε σαφές περιβαλλοντικό όφελος υπέρ της ανακατασκευής. Στο στάδιο των υλικών, το όφελος εκτιμήθηκε σε περίπου 42 GWh ενσωματωμένης ενέργειας και περίπου 21.000 τόνους CO₂. Στο στάδιο των μεταφορών, η αντίστοιχη εξοικονόμηση εκτιμήθηκε σε περίπου 8,45 GWh και 2.130 τόνους CO₂. Επιπλέον, η αξιοποίηση της υφιστάμενης θεμελίωσης απέτρεψε την επανάληψη ενός από τα ενεργειακά βαρύτερα τμήματα του έργου, ενώ εκτιμήθηκε και εξοικονόμηση νερού της τάξης των 5.500 τόνων (Kondili et al., 2023). Η ίδια έρευνα παραπέμπει σε συγκριτική μελέτη όπου καταγράφηκε μείωση 53–75% σε έξι κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων υπέρ της ανακαίνισης έναντι της νέας κατασκευής (Hasik et al., 2019; Kondili et al., 2023). Τα μεγέθη αυτά αφορούν τις συγκεκριμένες κατηγορίες που εξετάστηκαν και δεν ισοδυναμούν με πλήρη ανάλυση κύκλου ζωής.

Τα αποτελέσματα της έρευνας πρέπει να αξιοποιούνται με προσοχή. Παρέχουν ισχυρή ποσοτική ένδειξη για τα οφέλη της ανακατασκευής ως προς την ενσωματωμένη ενέργεια και τον ενσωματωμένο άνθρακα, χωρίς να μετατρέπουν την παρούσα εργασία σε πλήρη περιβαλλοντική αποτίμηση κύκλου ζωής. Η ορθή χρήση τους είναι να ενισχύσουν το διαχειριστικό επιχείρημα ότι η επιλογή επανάχρησης του φέροντος οργανισμού είχε τεχνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές συνέπειες.

Η προσοχή αυτή είναι αναγκαία και βιβλιογραφικά. Η επανάχρηση υφιστάμενων κτιρίων μπορεί να δημιουργήσει σημαντικά περιβαλλοντικά και διαχειριστικά οφέλη, αλλά τα οφέλη αυτά εξαρτώνται από το εύρος της επέμβασης, τα διατηρούμενα δομικά στοιχεία, τις νέες απαιτήσεις χρήσης και τη μεθοδολογία αποτίμησης. Για τον λόγο αυτό, η παρούσα εργασία αξιοποιεί την ανάλυση κύκλου ζωής ως τεκμήριο για συγκεκριμένο άξονα βιωσιμότητας και όχι ως γενική απόδειξη ότι κάθε ανακατασκευή είναι αυτομάτως περιβαλλοντικά ανώτερη από κάθε νέα κατασκευή (Langston et al., 2008; Vardopoulos, 2019; Hasik et al., 2019).

Στην ίδια λογική βιώσιμης διαχείρισης υλικών εντάσσεται η αποξήλωση και ανακύκλωση των παλαιών υαλοπινάκων της όψης. Η αντικατάσταση του παλαιού κελύφους δημιούργησε ενεργειακό και αισθητικό όφελος, αλλά και ανάγκη οργάνωσης καθαιρέσεων, διαλογής, μεταφοράς και τεκμηρίωσης υλικών.

Η Εικόνα 2.7 παρουσιάζει τη διαλογή των παλαιών υαλοπινάκων πριν από την ανακύκλωση. Η εικόνα τεκμηριώνει μια πρακτική εργοταξιακή διαδικασία με σαφή διαχειριστική σημασία, καθώς η αποξήλωση της παλαιάς όψης εντάχθηκε σε οργανωμένη ροή υλικών.



Εικόνα 2.7: Διαλογή του γυαλιού των παλαιών υαλοπινάκων της όψης πριν από την ανακύκλωση. Πηγή: Solar Control Glass (2026), ιδία επεξεργασία.

Η Εικόνα 2.8 συμπληρώνει την παραπάνω ακολουθία, παρουσιάζοντας το εργοστάσιο ανακύκλωσης γυαλιού της Saint-Gobain Glass στο Καλαράσι της Ρουμανίας. Η

σύνδεση των δύο εικόνων βοηθά να γίνει σαφές ότι η αποξήλωση των παλαιών όψεων αποτέλεσε στάδιο προετοιμασίας για το νέο κέλυφος και μέρος μιας ευρύτερης λογικής βιώσιμης διαχείρισης υλικών.



Εικόνα 2.8: Μονάδα ανακύκλωσης γυαλιού της Saint-Gobain Glass στο Călărași της Ρουμανίας, όπου οδηγήθηκαν οι παλαιοί υαλοπίνακες. Πηγή: Solar Control Glass (2026), ίδια επεξεργασία.

Η βιώσιμη στρατηγική επεκτάθηκε και στην ενεργειακή λειτουργία του ανακατασκευασμένου κτιρίου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πλαισίων στο ανώτερο δώμα του Πύργου, η οποία συνδέει την περιβαλλοντική στόχευση με μετρήσιμη παραγωγή ενέργειας και λειτουργικό όφελος.

Η Εικόνα 2.9 δείχνει τη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση στο δώμα ως πρακτικό στοιχείο αυτής της ενεργειακής στρατηγικής. Η εικόνα τεκμηριώνει ότι οι απαιτήσεις βιωσιμότητας συνδέθηκαν με συγκεκριμένες τεχνικές επιλογές που επηρέασαν τον σχεδιασμό, την εγκατάσταση και την τελική τεκμηρίωση του έργου.



Εικόνα 2.9: Φωτοβολταϊκός σταθμός στο δώμα του Πύργου του Πειραιά ως στοιχείο της στρατηγικής ενεργειακής αναβάθμισης και περιβαλλοντικής πιστοποίησης.

Συνολικά, η ανακατασκευή μπορεί να διαβαστεί ως αξιοποίηση υφιστάμενων πόρων και όχι μόνο ως τεχνική λύση επανάχρησης ακινήτου. Η διατήρηση του φέροντος οργανισμού, η αποφυγή νέας θεμελίωσης, η ανακύκλωση υλικών και η εγκατάσταση νέων αποδοτικών συστημάτων αποκτούν νόημα όταν συνδεθούν με αποφάσεις διοίκησης έργου και όχι με γενική ρητορική βιωσιμότητας.

2.4 Οργάνωση, επίβλεψη και βασικοί άξονες διαχείρισης του έργου

Ένα έργο αυτής της σύνθεσης χρειαζόταν οργανωτικό σχήμα που να κρατά μαζί την τεχνική πολυπλοκότητα, τους πολλούς εμπλεκόμενους και τη σταδιακή μετάβαση προς λειτουργία. Το ζητούμενο ήταν η σύγκλιση μελετών, εργολαβιών, υποβολών, αλλαγών, δοκιμών και παραδοτέων σε ελεγχόμενο αποτέλεσμα.

Η οργανωτική διάσταση είναι σημαντική για την παρούσα μελέτη, επειδή σε έργα αυτού του τύπου η τεχνική λύση δεν παράγεται από μία μόνο ειδικότητα ή από έναν

μόνο φορέα. Προκύπτει από τη συνεργασία αναπτυξιακού φορέα, επενδυτών, μελετητών, συμβούλων πιστοποιήσεων, γενικού αναδόχου, υπεργολάβων, ομάδων ψηφιακής μοντελοποίησης κτιριακής πληροφορίας (Building Information Modeling / Building Information Model – BIM), επίβλεψης και φορέα λειτουργίας.

Ρόλοι, εγκρίσεις, κανάλια επικοινωνίας και διαδικασίες υποβολών αποτέλεσαν προϋποθέσεις ελέγχου της πολυπλοκότητας. Χωρίς σαφή κατανομή ευθυνών, ένα τεχνικά ορθό στοιχείο μπορούσε να δημιουργήσει καθυστέρηση ή ασυμβατότητα αν εφαρμοζόταν με λάθος σειρά, λάθος έκδοση σχεδίων ή ελλιπή συντονισμό.

2.4.1 Χαρτογράφηση βασικών εμπλεκόμενων και ρόλων υλοποίησης

Για τις ανάγκες της εργασίας είναι χρήσιμη η χαρτογράφηση των βασικών εμπλεκόμενων. Δείχνει ποιος παρήγαγε πληροφορία, ποιος την έλεγχε, ποιος αποφάσιζε και ποιος υλοποιούσε. Σε έργο με τόσα τεχνικά όρια, η αλυσίδα ρόλων δεν είναι τυπική πληροφορία· είναι προϋπόθεση συντονισμού. Ο Πίνακας 2.2 αποτυπώνει τη χαρτογράφηση αυτή, συσχετίζοντας κάθε βασικό εμπλεκόμενο με τον ρόλο του στο έργο και τη διαχειριστική του σημασία.

Πίνακας 2.2: Χαρτογράφηση βασικών εμπλεκόμενων και διαχειριστική λειτουργία στο έργο του Πύργου του Πειραιά. Πηγή: ιδία επεξεργασία βάσει βιβλιογραφίας και τεκμηρίων έργου.

Συντελεστής / φορέας	Ρόλος στο έργο	Διαχειριστική σημασία
Piraeus Tower A.E.	Φορέας αξιοποίησης, διαχείρισης και εκμετάλλευσης του ακινήτου	Θεσμικό και συμβατικό σημείο αναφοράς για την αξιοποίηση, τη λειτουργία και την παράδοση του έργου.
DIMAND	Αναπτυξιακός φορέας και κεντρικός συντονιστής από την πλευρά του εργοδότη	Σύνδεση τεχνικής υλοποίησης με επενδυτική στρατηγική, χρονοδιάγραμμα, μισθωτικές απαιτήσεις, ποιότητα και τελική παράδοση.
EBRD	Επενδυτικός εταίρος	Συμμετοχή στο επενδυτικό σχήμα και ενίσχυση της χρηματοδοτικής και θεσμικής αξιοπιστίας του έργου.
PRODEA Investments	Επενδυτικός εταίρος	Συμμετοχή στο επενδυτικό σχήμα και σύνδεση του έργου με τη στρατηγική

		αξιοποίησης ακινήτων υψηλών προδιαγραφών.
TERNA S.A.	Γενικός ανάδοχος κατασκευής	Μετατροπή της μελέτης σε κατασκευασμένο αντικείμενο, συντονισμός υπεργολάβων, τεχνικές υποβολές, ποιότητα, πρόγραμμα και παραδοτέα.
BETAPLAN	Κύρια αρχιτεκτονική μελέτη και τεχνική τεκμηρίωση αρχιτεκτονικού αντικειμένου	Καθορισμός χωρικής και λειτουργικής οργάνωσης, κοινόχρηστων χώρων, όψεων και διεπαφών με Η/Μ εγκαταστάσεις.
PILA	Αρχιτεκτονικός σχεδιασμός της όψης του κτιρίου	Καθορισμός της αρχιτεκτονικής ταυτότητας του νέου κελύφους και ανάγκη στενού συντονισμού με στατικά, Η/Μ διελεύσεις, ενεργειακές απαιτήσεις και κατασκευασσιμότητα των όψεων.
ASPA-KST	Αρχιτεκτονικός σχεδιασμός εμπορικών χώρων	Διαμόρφωση των εμπορικών χρήσεων του κτιρίου, με κρίσιμες διεπαφές προς τις κοινές υποδομές, τα όρια μισθωτών και τις απαιτήσεις παράδοσης.
INSTA Consulting Engineers	Η/Μ μελέτη, τεχνικές περιγραφές και τεχνικές προδιαγραφές	Βασικός τεχνικός κορμός για HVAC, ηλεκτρικά, ασθενή ρεύματα, πυροπροστασία, αυτοματισμούς, διαχείριση καπνού και λειτουργική απόδοση.
DENCO Structural Engineering	Στατική / δομοστατική μελέτη και τεχνική τεκμηρίωση	Κρίσιμος ρόλος λόγω υφιστάμενου φέροντος οργανισμού, ενισχύσεων, ελέγχων, αποκλίσεων πεδίου και συντονισμού με νέες εγκαταστάσεις και όψεις.
EB/Architects	Υποστήριξη αρχιτεκτονικού σχεδιασμού, BIM ή ψηφιακής τεκμηρίωσης	Συμβολή στη χωρική τεκμηρίωση, στον συντονισμό πληροφορίας και στη διαχείριση σχεδιαστικών παραδοτέων.
AIDIGITS	Ομάδα BIM / ψηφιακής μοντελοποίησης	Υποστήριξη ψηφιακής μοντελοποίησης, συντονισμού μοντέλων, clash detection και ιχνηλασιμότητας τεχνικών αποφάσεων.
DCarbon	Σύμβουλος βιωσιμότητας / LEED / WELL	Μετατροπή απαιτήσεων βιωσιμότητας σε τεχνικές υποβολές, τεκμηρίωση υλικών, διαδικασίες συμμόρφωσης και απαιτήσεις πιστοποίησης.
VPC	Σύμβουλος commissioning / λειτουργικής επαλήθευσης	Σύνδεση μελέτης, κατασκευής, ελέγχων, δοκιμών, τεκμηρίωσης και handover.

ETEM Systems	Σύστημα γυάλινων όψεων / facade contractor ή βασικός συντελεστής όψεων	Κρίσιμος ρόλος για νέο κέλυφος, ενεργειακή απόδοση, ανεμοπιέσεις, κατασκευασιμότητα, ποιότητα και δημόσια εικόνα του κτιρίου.
Cimolai	Εξειδικευμένος συντελεστής μεταλλικών ή ειδικών κατασκευών/ facade contractor	Συμβολή σε ειδικά τεχνικά αντικείμενα που επηρεάζουν κατασκευασιμότητα, αλληλουχία εργασιών και συντονισμό με άλλες ειδικότητες.
Technikal	Υπεργολάβος / τεχνικός συντελεστής συστημάτων αλουμινίου	Συμβολή σε ειδικά συστήματα αλουμινίου και ανάγκη συντονισμού με όψεις, αρχιτεκτονικές λεπτομέρειες, κατασκευασιμότητα και ποιότητα τελικού κελύφους.
Avantech	Αρχιτεκτονικός σχεδιασμός συστημάτων υαλοπετάσματος και σκίασης, τρισδιάστατη ψηφιακή τεκμηρίωση και κατασκευή/τοποθέτηση πάνελ αλουμινίου σε συγκεκριμένες ζώνες	Κρίσιμος ρόλος στη σύνδεση όψεων, σκίασης, ψηφιακής μοντελοποίησης και κατασκευασιμότητας, με επίδραση στην ποιότητα του κελύφους και στον συντονισμό με αρχιτεκτονικές και Η/Μ απαιτήσεις.
Αθανάσιος Ντανίλωφ	Μελέτη / υποστήριξη φωτισμού	Επίδραση σε ποιότητα χώρων, εμπειρία χρήστη, ενεργειακή απόδοση και απαιτήσεις πιστοποίησης.
ΓΕΡΑΣΙΜΟΣ ΕΥΘΥΜΙΑΤΟΣ & ΣΙΑ Ε.Ε.	Μελέτη / υποστήριξη ακουστικής άνεσης	Σύνδεση με απαιτήσεις εσωτερικού περιβάλλοντος, WELL, λειτουργική ποιότητα και τεχνικές επιλογές υλικών.
Υπεργολάβοι fit-out / μισθωτών	Εσωτερικές διαμορφώσεις και ειδικές απαιτήσεις μισθωτών	Δημιουργία κρίσιμων διεπαφών με το βασικό κτίριο, τις παροχές, την πυρανίχνευση, το σύστημα PAVA, τον αερισμό, τα ηλεκτρικά φορτία και τη διαδικασία παράδοσης (handover).
Ομάδα επίβλεψης εργοδότη / DIMAND	Παρακολούθηση υλοποίησης, έλεγχος τεχνικών θεμάτων, συντονισμός και επίβλεψη πεδίου	Κρίσιμη λειτουργία για έλεγχο ποιότητας, διαχείριση αλλαγών, επίλυση διεπαφών, παρακολούθηση υποβολών και διασφάλιση παραδοτέων.

2.4.2 Πλαίσιο επίβλεψης Η/Μ και τεχνικός συντονισμός

Η επίβλεψη των Η/Μ εγκαταστάσεων είχε πραγματικό βάρος, επειδή το Η/Μ αντικείμενο συνδεόταν με τον υφιστάμενο φέροντα οργανισμό, το νέο σύστημα όψεων, τις αρχιτεκτονικές διαμορφώσεις, την πυροπροστασία, τις πιστοποιήσεις, τις

απαιτήσεις μισθωτών και τη μελλοντική λειτουργία. Έτσι, η επίβλεψη έλεγχε αν οι τεχνικές αποφάσεις μπορούσαν να σταθούν μαζί στο ίδιο κτίριο, πέρα από την τοποθέτηση εξοπλισμού.

Σε ψηλό κτίριο μικτής χρήσης, οι βασικές Η/Μ υποδομές αποτελούσαν τον κοινό τεχνικό κορμό. Αερισμός, ψύξη και θέρμανση, ηλεκτρικές παροχές, ασθενή ρεύματα, πυρανίχνευση, PAVA, αυτοματισμοί, ανελκυστήρες, διαχείριση καπνού και κεντρικό σύστημα διαχείρισης κτιρίου (BMS) έπρεπε να συντονιστούν με διαφορετικές χρήσεις και διαφορετικές απαιτήσεις. Τα τεχνικά τεύχη αποτυπώνουν αυτή την πυκνότητα συστημάτων και, κυρίως, την ανάγκη να εγκατασταθούν, να ελεγχθούν και να παραδοθούν με συμβατές παραδοχές λειτουργίας (INSTA, 2021a, 2021b, 2021c, 2021d).

Τα δυσκολότερα ζητήματα εμφανίζονταν κυρίως σε χώρους όπου συγκεντρώνονταν πολλά τεχνικά αντικείμενα. Τέτοια σημεία ήταν τα φρεάτια, οι ψευδοροφές, τα μηχανοστάσια, οι ηλεκτρολογικοί χώροι, οι χώροι κατακόρυφων διελεύσεων, οι συνδέσεις με τις όψεις και οι περιοχές μετάβασης μεταξύ βασικού κτιρίου και εσωτερικών διαμορφώσεων μισθωτών. Εκεί, μια φαινομενικά μικρή αλλαγή μπορούσε να δημιουργήσει αλυσιδωτές επιπτώσεις. Για παράδειγμα, η μετατόπιση ενός αεραγωγού μπορούσε να επηρεάσει ψευδοροφές, φωτισμό, πυρανίχνευση, sprinklers, καλωδιακές σχάρες ή διαθέσιμα ύψη. Αντίστοιχα, μια απαίτηση μισθωτή για διαφορετική διαρρύθμιση μπορούσε να επηρεάσει αερισμό, θερμικό έλεγχο, ηλεκτρικές παροχές, πρόσβαση συντήρησης και απαιτήσεις πυρασφάλειας.

Η Η/Μ επίβλεψη λειτουργούσε ως σύνδεσμος μεταξύ μελέτης, εργοταξίου και τελικής λειτουργίας. Έλεγχε αν οι προτεινόμενες λύσεις ήταν κατασκευάσιμες, αν αντιστοιχούσαν στις εγκεκριμένες μελέτες και προδιαγραφές, αν δημιουργούσαν νέες συγκρούσεις με άλλες ειδικότητες και αν μπορούσαν να παραδοθούν με επαρκή τεκμηρίωση. Αυτό απαιτούσε συνεχή συνεργασία με γενικό ανάδοχο, μελετητές, υπεργολάβους, συμβούλους πιστοποιήσεων και ομάδες ψηφιακής τεκμηρίωσης.

Η διάκριση μεταξύ βασικού κτιρίου και εσωτερικών διαμορφώσεων μισθωτών αύξησε ακόμη περισσότερο τη σημασία της επίβλεψης. Το βασικό κτίριο έπρεπε να παραδοθεί με σαφείς τεχνικές δυνατότητες και όρια, ενώ οι μισθωτικές απαιτήσεις έπρεπε να

ενσωματώνονται χωρίς να διαταράσσεται η λειτουργία των κοινών υποδομών. Κάθε αλλαγή σε χώρο μισθωτή αξιολογούνται ως τοπική προσαρμογή και ως πιθανή επίδραση στο συνολικό τεχνικό σύστημα του κτιρίου.

Η Η/Μ επίβλεψη συνδέθηκε επίσης με τη λειτουργική επαλήθευση και την παράδοση. Κάθε δίκτυο ή σύστημα έπρεπε να μπορεί να δοκιμαστεί, να ρυθμιστεί, να τεκμηριωθεί και να ενταχθεί στη λειτουργία του κτιρίου. Η απαίτηση αυτή είναι συμβατή με τη λογική της λειτουργικής επαλήθευσης συστημάτων (commissioning), όπου η ποιότητα επιβεβαιώνεται μέσω οργανωμένου ελέγχου απαιτήσεων, εγκατάστασης, δοκιμών και τεκμηρίωσης πριν από την τελική λειτουργία (ASHRAE, 2019; Mills, 2011).

Η Η/Μ επίβλεψη, με αυτή την έννοια, δεν μετρούσε απλώς πρόοδο. Έπιανε τις εκκρεμότητες όσο ήταν ακόμη ζητήματα σχεδίου ή έγκρισης, πριν μεταφερθούν στο εργοτάξιο και πριν γίνουν λειτουργικά προβλήματα που κοστίζουν πολύ περισσότερο όταν λύνονται στο τέλος.

2.4.3 Βασικοί άξονες διαχείρισης που προκύπτουν από τη μελέτη περίπτωσης

Από την τεχνική και οργανωτική διάρθρωση του έργου προκύπτει ότι η ανακατασκευή ήταν παράλληλος έλεγχος αντικειμένου, χρόνου, ποιότητας, κόστους, κινδύνων, τεχνικών αλληλεξαρτήσεων και παραδοτέων λειτουργίας.

Το πρώτο ζήτημα ήταν οι τεχνικές αλληλεξαρτήσεις. Οι Η/Μ εγκαταστάσεις συναντούσαν τον φέροντα οργανισμό, τις όψεις, τις αρχιτεκτονικές διαμορφώσεις, την πυροπροστασία, τους κοινόχρηστους χώρους και τις ανάγκες μισθωτών. Η κρίσιμη απαίτηση ήταν να μη μετατραπούν τα σημεία συνάντησης των ειδικοτήτων σε καθυστερήσεις ή αστοχίες πεδίου.

Δεύτερο ζήτημα ήταν η αβεβαιότητα του υφιστάμενου κτιρίου. Οι αρχικές παραδοχές έπρεπε να ελέγχονται συνεχώς απέναντι στην πραγματική κατάσταση, ενώ οι αλλαγές έπρεπε να αντιμετωπίζονται ως οργανωμένες, τεκμηριωμένες αποφάσεις.

Τρίτο ζήτημα ήταν η πληροφορία. Σε έργο με πολλούς εμπλεκόμενους και συνεχείς αναθεωρήσεις, η αξία της ψηφιακής μοντελοποίησης κτιριακής πληροφορίας (BIM) και του κοινού περιβάλλοντος δεδομένων (CDE) βρισκόταν στον έλεγχο εκδόσεων, στην ιχνηλασιμότητα και στην επίλυση συγκρούσεων. Η σχετική ανάλυση δεν χρειάζεται να προαναγγελλθεί ξανά εδώ· αναπτύσσεται εκεί όπου εξετάζονται τα παραδείγματα του έργου.

Τέταρτο ζήτημα ήταν τα όρια βασικού κτιρίου και μισθωτών. Η μικτή χρήση απαιτούσε καθαρές παροχές, σημεία σύνδεσης, διαδικασίες έγκρισης και έλεγχο επιπτώσεων κάθε μισθωτικής απαίτησης στα κοινά συστήματα.

Πέμπτο ζήτημα ήταν η βιωσιμότητα και η λειτουργική επαλήθευση. Οι απαιτήσεις LEED και WELL, οι υποβολές υλικών, η ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος, η ενεργειακή παρακολούθηση και η λειτουργική επαλήθευση συστημάτων (commissioning) επηρέασαν προμήθειες, δοκιμές, εγχειρίδια, εκπαίδευση και παράδοση. Αποτέλεσαν απαιτήσεις διαχείρισης και όχι επικοινωνιακούς στόχους (Piraeus Tower A.E., 2023a).

Το έργο διαβάζεται ως ενιαίο σύστημα αποφάσεων, με τις τεχνικές ενότητες να συνδέονται μεταξύ τους.

Με αυτό το υπόβαθρο, ο Πύργος έχει πάψει να είναι κτίριο και έχει γίνει πρόβλημα, δηλαδή ένας υφιστάμενος φορέας που πρέπει να υποδεχθεί νέα συστήματα, πολλούς εμπλεκόμενους και μια μετάβαση σε λειτουργία. Το επόμενο κεφάλαιο φέρνει τις θεωρητικές έννοιες με τις οποίες θα διαβαστεί αυτό το πρόβλημα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

3.1 Σκοπός και ρόλος του θεωρητικού πλαισίου

Η περίπτωση χρειάζεται ένα λεξιλόγιο για να διαβαστεί. Το κεφάλαιο δεν επιχειρεί γενική ανασκόπηση της διοίκησης έργων· κρατά τις λίγες έννοιες με τις οποίες θα ερμηνευθούν, στα επόμενα κεφάλαια, οι αποφάσεις και οι δυσκολίες της ανακατασκευής.

Ο Πύργος εξετάζεται ως έργο διοίκησης, δηλαδή ως σύστημα ρόλων, τεχνικών εξαρτήσεων, κινδύνων, αλλαγών, ελέγχων ποιότητας, ψηφιακής πληροφορίας και παραδοτέων λειτουργίας.

3.2 Έννοιες και αρχές διοίκησης έργων

Η διοίκηση έργων αφορά την οργάνωση προσωρινών και σύνθετων προσπάθειών με στόχο την παραγωγή συγκεκριμένου παραδοτέου μέσα σε περιορισμούς χρόνου, κόστους, ποιότητας, πόρων και κινδύνου. Στα τεχνικά έργα, η ανάγκη αυτή αποκτά ιδιαίτερη ένταση, επειδή το παραδοτέο είναι φυσικό αντικείμενο που πρέπει να κατασκευαστεί, να ελεγχθεί και να λειτουργήσει, μαζί με τις διοικητικές και οικονομικές του διαστάσεις. Η διεθνής βιβλιογραφία και τα σχετικά πρότυπα αντιμετωπίζουν το έργο ως οργανωμένη προσπάθεια που απαιτεί συντονισμό ανθρώπων, διαδικασιών, πληροφορίας, συμβάσεων και τεχνικών αποφάσεων (International Organization for Standardization, 2020; Project Management Institute, 2021).

Η επιτυχία ενός τεχνικού έργου δεν εξαντλείται στον χρόνο και στον προϋπολογισμό. Σε κτίρια υψηλής πολυπλοκότητας έχει σημασία αν το παραδοτέο μπορεί να λειτουργήσει μετά την κατασκευή. Αυτό μεταφέρει την προσοχή από την απλή πρόοδο εργασιών στη σαφήνεια αντικειμένου, στις τεχνικές αλληλεξαρτήσεις, στις αλλαγές, στην τεκμηρίωση και στην ετοιμότητα παράδοσης (Flyvbjerg, 2014).

Στα έργα νέας κατασκευής, πολλές τεχνικές παραδοχές μπορούν να οριστούν πριν από την έναρξη των εργασιών και να ελεγχθούν μέσα από τη μελέτη. Στις ανακατασκευές, αντίθετα, το έργο εξελίσσεται πάνω σε υφιστάμενο υπόβαθρο, το οποίο συχνά περιέχει αβεβαιότητες που αποκαλύπτονται μόνο στο πεδίο. Αυτό σημαίνει ότι ο έλεγχος κινδύνου, οι αλλαγές, η τεκμηρίωση και η ποιότητα λειτουργούν ως αλληλένδετες λειτουργίες διοίκησης.

Η ιδιαιτερότητα είναι ακόμη εντονότερη σε ψηλά κτίρια μικτής χρήσης. Οι κατακόρυφες οδεύσεις, τα φρεάτια, οι τεχνικοί χώροι, οι ψευδοροφές, οι όψεις, τα συστήματα πυροπροστασίας, οι ανελκυστήρες, τα δίκτυα Η/Μ εγκαταστάσεων και οι απαιτήσεις διαφορετικών χρηστών δημιουργούν πυκνό πεδίο αλληλεξαρτήσεων. Μια τοπική αλλαγή δεν μένει πάντα τοπική. Μπορεί να επηρεάσει άλλες ειδικότητες, άλλους ορόφους, παραδοχές λειτουργίας, απαιτήσεις πιστοποίησης ή διαδικασίες παράδοσης. Επομένως, η διοίκηση τέτοιων έργων πρέπει να ελέγχει συστηματικά τα σημεία συνάντησης των επιμέρους συστημάτων και όχι να τα αντιμετωπίζει ως δευτερεύον ζήτημα συντονισμού.

Η σαφής κατανομή ρόλων και ευθυνών είναι απαραίτητη. Η διοίκηση έργου πρέπει να καθορίζει ποιος παράγει πληροφορία, ποιος την ελέγχει, ποιος εγκρίνει αλλαγές, ποιος αναλαμβάνει την υλοποίηση και ποιος επιβεβαιώνει την ολοκλήρωση. Σε έργα πολλών εμπλεκομένων, η ασάφεια ευθύνης οδηγεί γρήγορα σε τεχνική ασυμβατότητα ή καθυστέρηση.

Αντίστοιχα, η διαχείριση πληροφορίας αποτελεί βασική λειτουργία διοίκησης. Στα σύνθετα τεχνικά έργα, η παραγωγή εξαρτάται από υλικά, εργασίες και από το αν οι ομάδες εργάζονται με την ίδια, ενημερωμένη και εγκεκριμένη πληροφορία. Σχέδια, τεχνικές υποβολές, μοντέλα, αναθεωρήσεις, αιτήματα διευκρινίσεων, πρακτικά συναντήσεων και παραδοτέα πρέπει να παραμένουν συνδεδεμένα με σαφές σύστημα

ελέγχου. Διαφορετικά, το έργο κινδυνεύει να λειτουργεί με άτυπες παραδοχές, γεγονός που αυξάνει την πιθανότητα σφαλμάτων και συγκρούσεων.

Η ποιότητα σε ανακατασκευή πρέπει να κρίνεται πέρα από την τυπική συμμόρφωση προς σχέδια και προδιαγραφές. Η διάσταση αυτή αναπτύσσεται αναλυτικά στην ενότητα της ποιότητας και της λειτουργικής επαλήθευσης.

Άρα η διοίκηση έργου σε ανακατασκευή ψηλού κτιρίου συντονίζει περισσότερα από εργασίες και χρονοδιάγραμμα. Ελέγχει αντικείμενο, χρόνο, κόστος, ποιότητα, κίνδυνο, αλλαγές, πληροφορία, συμβάσεις και εμπλεκόμενους. Ο Πίνακας 3.1 συνοψίζει πώς οι κλασικές περιοχές διοίκησης αποκτούν ειδικό βάρος σε τέτοια έργα.

Πίνακας 3.1: Κύριες περιοχές διοίκησης έργου και ενδεικτική έμφαση σε έργα ανακατασκευής ψηλών κτιρίων. Πηγή: ίδια επεξεργασία βάσει βιβλιογραφίας και τεκμηρίων έργου.

Περιοχή διοίκησης έργου	Σκοπός σε τεχνικά έργα	Αυξημένη σημασία σε ανακατασκευή ψηλού κτιρίου	Ενδεικτικοί μηχανισμοί εφαρμογής
Οργάνωση και συντονισμός	Ενιαία κατεύθυνση, σαφείς ρόλοι και συντονισμός εμπλεκόμενων.	Η πολυπλοκότητα αυξάνεται λόγω πολλών ειδικοτήτων, υφιστάμενου κτιρίου και σταδιακών παραδόσεων.	Οργανωτική δομή, πίνακας ρόλων, συναντήσεις συντονισμού, πρακτικά και λίστες ενεργειών.
Διαχείριση αντικειμένου	Καθορισμός τι περιλαμβάνεται, τι εξαιρείται και τι παραδίδεται.	Το αντικείμενο μεταβάλλεται λόγω επιτόπιων ευρημάτων, απαιτήσεων μισθωτών και τεχνικών περιορισμών.	Όρια βασικού κτιρίου και μισθωτών, έλεγχος αλλαγών και μητρώο παραδοτέων.
Διαχείριση χρόνου	Οργάνωση δραστηριοτήτων, αλληλουχιών και οροσήμων.	Οι εργασίες εξαρτώνται από φρεάτια, κατακόρυφες οδεύσεις, πρόσβαση, προμήθειες και αλληλουχίες ειδικοτήτων.	Κύριο χρονοδιάγραμμα, βραχυπρόθεσμος προγραμματισμός, μητρώο περιορισμών και ορόσημα ετοιμότητας.
Διαχείριση κινδύνου	Αναγνώριση και μείωση αβεβαιοτήτων που επηρεάζουν στόχους έργου.	Οι πραγματικές συνθήκες του υφιστάμενου κτιρίου αποκαλύπτονται σταδιακά και μπορεί να ανατρέψουν παραδοχές.	Αποτυπώσεις, διερευνητικές εργασίες, risk register, εναλλακτικές λύσεις και παρακολούθηση εκκρεμοτήτων.
Διαχείριση αλλαγών	Έλεγχος τεχνικών, χρονικών και οικονομικών	Μικρή αλλαγή σε χώρο ή δίκτυο μπορεί να επηρεάσει πολλές	Αίτημα αλλαγής, τεχνική αξιολόγηση, έγκριση, αναθεώρηση

	επιπτώσεων κάθε μεταβολής.	ειδικότητες και τη λειτουργική παράδοση.	σχεδίων/μοντέλων και κλείσιμο θέματος.
Διαχείριση ποιότητας	Επιβεβαίωση συμμόρφωσης με μελέτη, προδιαγραφές και απαιτήσεις λειτουργίας.	Η ποιότητα κρίνεται και από τη δυνατότητα δοκιμής, ρύθμισης και συντήρησης των συστημάτων.	Έλεγχοι διασφάλισης και ελέγχου ποιότητας (QA/QC), αρχεία επιθεωρήσεων (inspection records), δοκιμές, λίστες εκκρεμοτήτων (punch lists) και τεκμηρίωση συμμόρφωσης.
Διαχείριση πληροφορίας	Διασφάλιση ότι όλοι εργάζονται με την ίδια έγκυρη και ενημερωμένη πληροφορία.	Πολλά σχέδια, μοντέλα, υποβολές και αναθεωρήσεις αυξάνουν τον κίνδυνο ασυνέπειας.	BIM και CDE, κανόνες ονοματοδοσίας, έλεγχος εκδόσεων και ιχνηλασιμότητα αποφάσεων.
Λειτουργική παράδοση	Μετάβαση από κατασκευαστική ολοκλήρωση σε ασφαλή και τεκμηριωμένη λειτουργία.	Τα συστήματα πρέπει να συνεργάζονται ως ενιαίο λειτουργικό σύνολο, όχι μόνο να έχουν εγκατασταθεί.	Λειτουργική επαλήθευση συστημάτων (commissioning), TAB, εγχειρίδια O&M, τεκμηρίωση τελικής κατασκευασμένης κατάστασης (as-built), εκπαίδευση και παράδοση στον φορέα λειτουργίας.

Ο Πίνακας 3.1 δείχνει ότι οι περιοχές διοίκησης έργου δεν εφαρμόζονται μηχανικά σε ανακατασκευές. Το βάρος τους αλλάζει ανάλογα με το υφιστάμενο υπόβαθρο, τις αλληλεξαρτήσεις, τις απαιτήσεις χρηστών, τις αλλαγές και την ανάγκη παράδοσης σε λειτουργία.

3.3 Κίνδυνος και αβεβαιότητα σε ανακατασκευές

Η διαχείριση κινδύνου αποτελεί βασική λειτουργία της διοίκησης τεχνικών έργων, επειδή επιτρέπει την αναγνώριση, αξιολόγηση και αντιμετώπιση αβεβαιοτήτων που μπορούν να επηρεάσουν τους στόχους του έργου. Σε ένα τεχνικό έργο, ο κίνδυνος δεν αφορά μόνο την πιθανότητα εμφάνισης ενός δυσμενούς γεγονότος. Αφορά κυρίως την επίδραση της αβεβαιότητας στον χρόνο, στο κόστος, στην ποιότητα, στην ασφάλεια, στη λειτουργική απόδοση και στην τελική παράδοση του έργου (International Organization for Standardization, 2020; Project Management Institute, 2021).

Στα έργα ανακατασκευής, η αβεβαιότητα είναι εντονότερη από ό,τι σε πολλά έργα νέας κατασκευής. Το έργο ξεκινά από υφιστάμενο κτίριο με πραγματικές γεωμετρίες, παλαιότερες κατασκευαστικές επιλογές, πιθανές αποκλίσεις από τα διαθέσιμα σχέδια και περιορισμούς που συχνά αποκαλύπτονται σταδιακά. Για τον λόγο αυτό, η ανακατασκευή απαιτεί συνεχή επιβεβαίωση των πραγματικών συνθηκών, τεχνική διερεύνηση, αξιολόγηση επιπτώσεων και ελεγχόμενη προσαρμογή της μελέτης και της κατασκευής.

Στην περίπτωση ψηλού κτιρίου, οι κίνδυνοι αποκτούν μεγαλύτερη ένταση λόγω της κατακόρυφης οργάνωσης και της μεγάλης πυκνότητας αλληλεξαρτώμενων συστημάτων. Μία τεχνική απόκλιση σε κρίσιμο σημείο μπορεί να επηρεάσει περισσότερες ειδικότητες, να δημιουργήσει ανάγκη αλλαγών, να επηρεάσει το χρονοδιάγραμμα ή να οδηγήσει σε επαναληπτικές εργασίες. Επομένως, ο κίνδυνος σε τέτοια έργα είναι τεχνικός και οργανωτικός, επειδή απαιτεί συντονισμό αποφάσεων μεταξύ πολλών εμπλεκόμενων.

Ιδιαίτερη κατηγορία κινδύνου αποτελεί η σχέση του βασικού κτιρίου με τις τελικές χρήσεις και τις απαιτήσεις μισθωτών. Σε κτίρια μικτής χρήσης, οι ανάγκες ανά χώρο διαφοροποιούνται ως προς τα φορτία, τον αερισμό, την ηλεκτρική ισχύ, τις ώρες λειτουργίας, την πυροπροστασία, τις μετρήσεις κατανάλωσης και τις συνδέσεις με κοινές υποδομές. Αν οι απαιτήσεις αυτές δεν οριοθετηθούν έγκαιρα, μπορεί να προκύψουν ασυμβατότητες μεταξύ του βασικού κτιρίου και των εσωτερικών διαμορφώσεων. Ο κίνδυνος αφορά την πιθανότητα να επηρεαστεί η συνοχή του συνολικού τεχνικού συστήματος, πέρα από μια τοπική αλλαγή σχεδίου.

Η διαχείριση κινδύνου περιλαμβάνει επαναλαμβανόμενα στάδια. Αρχικά, οι κίνδυνοι πρέπει να αναγνωρίζονται και να καταγράφονται με σαφή τρόπο, ώστε να μη μένουν ως γενικές ανησυχίες. Στη συνέχεια αξιολογούνται ως προς την πιθανότητα εμφάνισης και την επίπτωσή τους στους στόχους του έργου. Με βάση αυτή την αξιολόγηση, καθορίζονται ενέργειες απόκρισης, όπως αποφυγή, μετριασμός, μεταφορά ή αποδοχή του κινδύνου. Τέλος, απαιτείται συνεχής παρακολούθηση και αναθεώρηση, επειδή σε έργα ανακατασκευής νέες αβεβαιότητες μπορούν να εμφανιστούν καθώς προχωρά η κατασκευή και αποκαλύπτονται οι πραγματικές συνθήκες του πεδίου.

Κυκλική διαδικασία διαχείρισης κινδύνου σε έργα ανακατασκευής



Σχήμα 3.1: Κυκλική διαδικασία διαχείρισης κινδύνου σε έργα ανακατασκευής. Πηγή: ιδία επεξεργασία.

Η κυκλική μορφή του Σχήματος 3.1 δείχνει ότι η διαχείριση κινδύνου δεν ολοκληρώνεται με μια αρχική καταγραφή στην έναρξη του έργου. Αντίθετα, αποτελεί επαναλαμβανόμενη διαδικασία που συνδέεται με την πρόοδο της μελέτης, της κατασκευής και της λειτουργικής προετοιμασίας. Σε έργα ανακατασκευής, όπου τα επιτόπια ευρήματα μπορούν να μεταβάλουν τις αρχικές παραδοχές, η παρακολούθηση και αναθεώρηση των κινδύνων είναι εξίσου σημαντική με την αρχική αναγνώρισή τους.

Στις ανακατασκευές, η έγκαιρη πληροφόρηση αποτελεί έναν από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους μείωσης κινδύνου. Αποτυπώσεις, διερευνητικές τομές, επιτόπιοι έλεγχοι, επιβεβαίωση υφιστάμενων στοιχείων και έλεγχος κρίσιμων γεωμετριών πριν από την κατασκευή μειώνουν την πιθανότητα αιφνιδιασμών. Η αβεβαιότητα παραμένει, όμως η διοίκηση του έργου λαμβάνει αποφάσεις με καλύτερα δεδομένα και αποφεύγει να μεταφέρει όλες τις απαντήσεις στη φάση της κατασκευής.

Σε έργα μεγάλης τεχνικής πολυπλοκότητας, ορισμένοι κίνδυνοι δεν μπορούν να μηδενιστούν. Μπορούν όμως να γίνουν ελεγχόμενοι, εφόσον προβλεφθούν αποθέματα

χρόνου, οικονομικά περιθώρια, εναλλακτικές τεχνικές λύσεις και σαφείς διαδικασίες έγκρισης αλλαγών. Η πρόβλεψη κινδύνου πρέπει να νοείται ως τεκμηριωμένη παραδοχή για συγκεκριμένα αβέβαια σημεία, όπως οι πραγματικές γεωμετρίες, οι κρυφές ασυμβατότητες, οι καθυστερήσεις εγκρίσεων, οι απαιτήσεις μισθωτών ή οι εξοπλισμοί μακράς προμήθειας.

Κρίσιμη είναι και η διάσταση του λειτουργικού κινδύνου. Ένα έργο μπορεί να παραδοθεί κατασκευαστικά ολοκληρωμένο, αλλά να παρουσιάσει προβλήματα αν τα συστήματα δεν έχουν ελεγχθεί, ρυθμιστεί και τεκμηριωθεί ως ενιαίο λειτουργικό σύνολο. Σε ανακατασκευές ψηλών κτιρίων, η λειτουργική σταθερότητα εξαρτάται από τη συνεργασία πολλών συστημάτων, την ορθή ρύθμιση και την επαλήθευση σε πραγματικά σενάρια λειτουργίας. Η διαχείριση κινδύνου συνδέεται έτσι άμεσα με τη διαχείριση ποιότητας και τη λειτουργική επαλήθευση.

Συνεπώς, η διαχείριση κινδύνου σε έργα ανακατασκευής ψηλών κτιρίων δεν αποτελεί συμπληρωματική διαδικασία. Αποτελεί βασικό μηχανισμό ελέγχου της τεχνικής και οργανωτικής αβεβαιότητας. Επιτρέπει στο έργο να οδηγεί επιτόπια ευρήματα, τεχνικούς περιορισμούς, απαιτήσεις μισθωτών και λειτουργικές αβεβαιότητες σε ελεγχόμενες αποφάσεις, πριν αυτές εξελιχθούν σε καθυστερήσεις, πρόσθετο κόστος ή λειτουργικές αστοχίες.

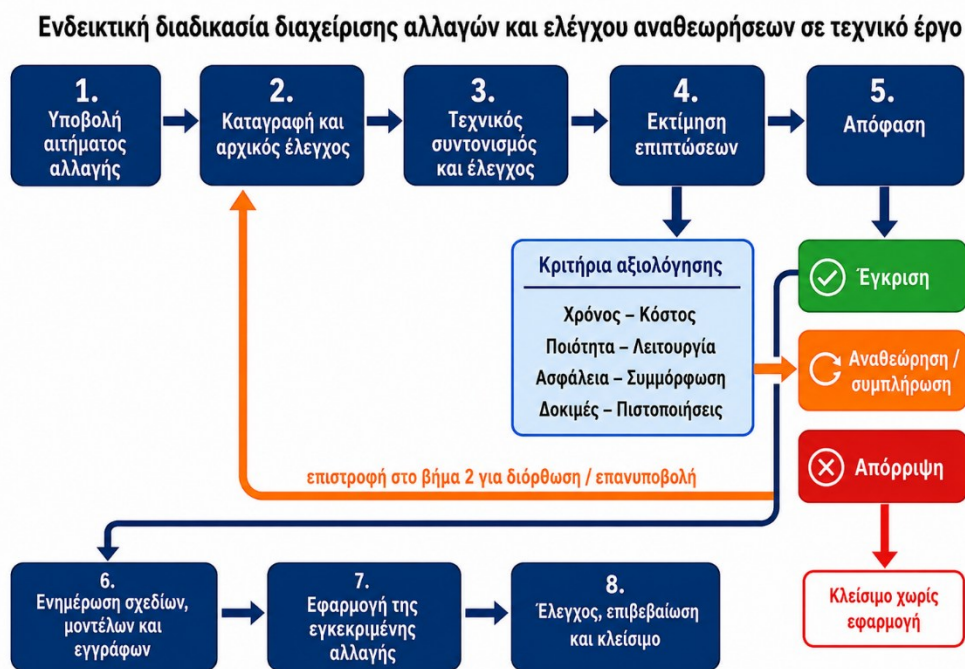
3.4 Αλλαγές και έλεγχος αναθεωρήσεων

Η διαχείριση αλλαγών αποτελεί κρίσιμη λειτουργία στη διοίκηση τεχνικών έργων, επειδή συνδέει την αβεβαιότητα με τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων. Σε ένα έργο ανακατασκευής, η αλλαγή είναι συχνά αναμενόμενο αποτέλεσμα της σύγκρουσης μεταξύ μελετητικών παραδοχών, πραγματικών συνθηκών πεδίου, τεχνικών περιορισμών, απαιτήσεων χρήσης και συμβατικών υποχρεώσεων. Το κρίσιμο ζήτημα είναι ο έγκαιρος εντοπισμός των αλλαγών, η αξιολόγηση των επιπτώσεών τους και η ενσωμάτωσή τους χωρίς απώλεια τεχνικής συνοχής.

Σε έργα ανακατασκευής ψηλών κτιρίων, οι αλλαγές αποκτούν αυξημένη σημασία λόγω της πυκνότητας των τεχνικών αλληλεξαρτήσεων. Μια μεταβολή σε φρεάτιο, ψευδοροφή, κατακόρυφη όδευση, μηχανοστάσιο, όψη ή χώρο μισθωτή μπορεί να επηρεάσει περισσότερες από μία ειδικότητες. Μπορεί να απαιτήσει νέα χάραξη δικτύων, τροποποίηση αρχιτεκτονικών στοιχείων, αλλαγή εξοπλισμού, επανέλεγχο πυροπροστασίας, προσαρμογή αυτοματισμών ή επικαιροποίηση ψηφιακών παραδοτέων. Επομένως, η αλλαγή πρέπει να αντιμετωπίζεται ως γεγονός με πιθανές επιπτώσεις σε αντικείμενο, χρόνο, κόστος, ποιότητα και ετοιμότητα παράδοσης.

Η ανάγκη ελέγχου αλλαγών είναι ακόμη πιο έντονη όταν το έργο περιλαμβάνει υφιστάμενο φέροντα οργανισμό, νέες Η/Μ εγκαταστάσεις, νέο σύστημα όψεων, απαιτήσεις πιστοποιήσεων και εσωτερικές διαμορφώσεις μισθωτών. Στην περίπτωση αυτή, η τεχνική απόφαση πρέπει να εξετάζεται ως προς την άμεση κατασκευαστική της λύση και ως προς τις δευτερογενείς επιπτώσεις της. Μια αλλαγή που φαίνεται μικρή σε επίπεδο χώρου μπορεί να επηρεάσει αερισμό, φωτισμό, πυρανίχνευση, sprinklers, ηχοπροστασία, προσβασιμότητα, συντήρηση ή δυνατότητα μελλοντικής λειτουργίας.

Η οργανωμένη διαδικασία αλλαγής ξεκινά από την αναγνώριση και καταγραφή του ζητήματος. Το αίτημα αλλαγής πρέπει να περιγράφει με σαφήνεια τι αλλάζει, για ποιον λόγο προτείνεται η αλλαγή και ποια στοιχεία του έργου επηρεάζονται. Ακολουθεί τεχνική αξιολόγηση, στην οποία εξετάζεται αν η προτεινόμενη λύση είναι συμβατή με τις εγκεκριμένες μελέτες, τις προδιαγραφές, τις κανονιστικές απαιτήσεις, τις πιστοποιήσεις και τις ανάγκες λειτουργίας. Στη συνέχεια απαιτείται εκτίμηση επιπτώσεων σε χρόνο, κόστος, ποιότητα, τεχνικές αλληλεξαρτήσεις και παραδοτέα.



Σχήμα 3.2: Ενδεικτική διαδικασία διαχείρισης αλλαγών και ελέγχου αναθεωρήσεων σε τεχνικό έργο.
Πηγή: ίδια επεξεργασία.

Το Σχήμα 3.2 δείχνει ότι η διαχείριση αλλαγών δεν ολοκληρώνεται με την απλή έγκριση μιας τεχνικής λύσης. Η απόφαση πρέπει να οδηγεί σε ενημέρωση σχεδίων, μοντέλων, τεχνικών υποβολών και λοιπών παραδοτέων, ώστε η εγκεκριμένη αλλαγή να ενσωματώνεται στο επίσημο σύστημα πληροφορίας του έργου. Αν η πληροφορία δεν ενημερωθεί με ελεγχόμενο τρόπο, υπάρχει κίνδυνος διαφορετικές ομάδες να εργάζονται με διαφορετικές εκδόσεις, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει ασυμβατότητες, καθυστερήσεις ή επαναληπτικές εργασίες.

Κάθε εγκεκριμένη αλλαγή πρέπει να αποτυπώνεται σε νέα έκδοση σχεδίου, μοντέλου ή τεχνικού εγγράφου, με σαφή ένδειξη του τι τροποποιήθηκε και γιατί. Η απαίτηση αυτή δεν είναι τυπική αρχειοθέτηση. Είναι ιχνηλασιμότητα, καθώς δείχνει ποια πληροφορία ισχύει, ποια αντικαταστάθηκε και σε ποια απόφαση στηρίχθηκε η τεχνική επιλογή.

Σε περιβάλλον ψηφιακής μοντελοποίησης κτιριακής πληροφορίας (BIM), η διαχείριση αλλαγών αποκτά πρόσθετη σημασία. Το μοντέλο λειτουργεί ως τρισδιάστατη απεικόνιση, μέσο συντονισμού, εργαλείο ελέγχου συγκρούσεων και φορέας επικαιροποίησης τεχνικής πληροφορίας. Όταν μια αλλαγή εγκρίνεται, πρέπει να

μεταφέρεται στο αντίστοιχο μοντέλο και στα σχετικά σχέδια, ώστε η επόμενη φάση συντονισμού να βασίζεται σε επικαιροποιημένα δεδομένα. Διαφορετικά, το BIM χάνει τη διαχειριστική του αξία και εκπίπτει σε παράλληλη απεικόνιση που δεν ελέγχει πραγματικά την παραγωγή πληροφορίας.

Η διαχείριση αλλαγών συνδέεται επίσης με τις υποχρεώσεις τεχνικών υποβολών και εγκρίσεων. Σε τεχνικά έργα, ο ανάδοχος δεν μπορεί να προχωρά σε προμήθεια, κατασκευή ή εγκατάσταση με βάση μη εγκεκριμένη ή ανεπίσημη πληροφορία. Οι τεχνικές προδιαγραφές του έργου προβλέπουν διαδικασίες υποβολών, ελέγχων, σχολιασμού και επανυποβολής, καθώς και διακριτές καταστάσεις αποδοχής ή μη αποδοχής σχεδίων και υλικών. Αυτό δείχνει ότι ο έλεγχος αλλαγών αποτελεί πρακτική συμβατική διαδικασία που επηρεάζει άμεσα την κατασκευή και την ευθύνη των εμπλεκόμενων.

Οι μισθωτές προσθέτουν ένα ακόμη επίπεδο στον έλεγχο αλλαγών. Οι απαιτήσεις εσωτερικής διαμόρφωσης μπορεί να διαφοροποιούνται από τις αρχικές παραδοχές του βασικού κτιρίου. Νέες διαρρυθμίσεις, πρόσθετες ανάγκες ψύξης ή αερισμού, αλλαγές σε φωτισμό, πυρανίχνευση, μεγαφωνικό σύστημα ανακοινώσεων και φωνητικού συναγερμού (Public Address and Voice Alarm System – PAVA), sprinklers ή παροχές ισχύος δεν πρέπει να εγκρίνονται αποσπασματικά. Πρέπει να αξιολογούνται ως προς τη συμβατότητά τους με τις κοινές υποδομές, τα όρια ευθύνης και τις απαιτήσεις παράδοσης. Διαφορετικά, υπάρχει κίνδυνος οι επιμέρους απαιτήσεις μισθωτών να αποσταθεροποιήσουν την τεχνική συνοχή του κτιρίου.

Η τελική φάση της αλλαγής είναι η επαλήθευση και το κλείσιμο. Η εφαρμογή μιας αλλαγής στο πεδίο χρειάζεται επιβεβαίωση ως προς την εγκεκριμένη λύση, τις πιθανές νέες ασυμβατότητες, την ενημέρωση των παραδοτέων και την κοινοποίηση της νέας κατάστασης στις επηρεαζόμενες ειδικότητες. Αν το στάδιο αυτό παραλειφθεί, η αλλαγή μπορεί να παραμείνει «ανοικτή» και να εμφανιστεί αργότερα ως πρόβλημα ποιότητας, συντονισμού ή λειτουργικής παράδοσης.

Άρα η διαχείριση αλλαγών σε ανακατασκευή δεν είναι απλή διαδικασία έγκρισης. Προστατεύει τη συνέχεια του έργου, επειδή εξασφαλίζει ότι επιτόπια ευρήματα, νέες

απαιτήσεις και ασυμβατότητες καταλήγουν σε αποφάσεις με επιπτώσεις, ενημερωμένα παραδοτέα και δυνατότητα επαλήθευσης.

3.5 Ποιότητα και λειτουργική επαλήθευση

Η διαχείριση ποιότητας στα τεχνικά έργα υπερβαίνει τον έλεγχο αντιστοίχισης των εργασιών με σχέδια και προδιαγραφές. Σε σύνθετα κτιριακά έργα, ιδίως σε έργα με εκτεταμένες H/M εγκαταστάσεις, η ποιότητα πρέπει να αξιολογείται και ως ικανότητα του τελικού παραδοτέου να λειτουργήσει σύμφωνα με τις απαιτήσεις του έργου. Ένα σύστημα μπορεί να έχει εγκατασταθεί σωστά ως προς τη θέση ή τη σύνδεσή του, αλλά να μην είναι λειτουργικά ώριμο αν δεν έχει ελεγχθεί, ρυθμιστεί, τεκμηριωθεί και ενταχθεί στο συνολικό πλαίσιο λειτουργίας.

Η διάκριση αυτή είναι κρίσιμη για έργα ανακατασκευής ψηλών κτιρίων. Σε τέτοια έργα, τα τεχνικά συστήματα αλληλεξαρτώνται, δηλαδή αερισμός, ψύξη και θέρμανση, πυροπροστασία, πυρανίχνευση, μεγαφωνικό σύστημα φωνητικού συναγερμού, αυτοματισμοί, σύστημα διαχείρισης κτιρίου, ανελκυστήρες, συστήματα ασφαλείας και υποδομές μισθωτών. Η ποιότητα επομένως πρέπει να κρίνεται ανά σύστημα και στο επίπεδο της συνεργασίας μεταξύ συστημάτων.

Η λειτουργική επαλήθευση συστημάτων (commissioning) είναι οργανωμένη διαδικασία επιβεβαίωσης ότι τα συστήματα σχεδιάστηκαν, εγκαταστάθηκαν, δοκιμάστηκαν και μπορούν να λειτουργήσουν σύμφωνα με τις απαιτήσεις του έργου. Η αξία της βρίσκεται στη μείωση του κενού ανάμεσα στο «κατασκευάστηκε» και στο «λειτουργεί αξιόπιστα» (ASHRAE, 2019; Crowe et al., 2020).

Σε επίπεδο διοίκησης έργου, η λειτουργική επαλήθευση συστημάτων (commissioning) απαιτεί σαφείς λειτουργικούς στόχους, παρακολούθηση εγκατάστασης και δοκιμών, καταγραφή αποκλίσεων, τεκμηρίωση ρυθμίσεων και μεταφορά χρήσιμης πληροφορίας στον φορέα λειτουργίας.

Η ποιότητα σε αυτό το πλαίσιο δεν είναι μόνο συμμόρφωση με τεχνικές προδιαγραφές. Είναι και διαχειριστική ικανότητα να κλείνουν οι εκκρεμότητες με ελεγχόμενο τρόπο.

Σε ένα σύνθετο έργο, οι εκκρεμότητες μπορεί να αφορούν μικροεργασίες, ρυθμίσεις, ελλιπή τεκμηρίωση, μη ολοκληρωμένες δοκιμές, ασυμβατότητες μεταξύ συστημάτων ή απαιτήσεις που προέκυψαν από μισθωτές. Αν αυτές δεν καταγραφούν και δεν παρακολουθηθούν, υπάρχει κίνδυνος να μεταφερθούν στη φάση λειτουργίας ως προβλήματα απόδοσης, συντήρησης ή ευθύνης.

Ιδιαίτερη σημασία έχει η σχέση μεταξύ δοκιμών και σεναρίων λειτουργίας. Οι δοκιμές δεν πρέπει να αντιμετωπίζονται μόνο ως απομονωμένοι έλεγχοι εξοπλισμού. Σε ψηλό κτίριο μικτής χρήσης, κρίσιμα είναι και τα συνδυαστικά σενάρια, όπως η απόκριση συστημάτων σε περίπτωση πυρκαγιάς, η συνεργασία πυρανίχνευσης και μεγαφωνικού συστήματος, η λειτουργία συστημάτων διαχείρισης καπνού, η ενεργοποίηση αυτοματισμών, η απόκριση εφεδρικών παροχών και η επικοινωνία των επιμέρους συστημάτων με το κεντρικό σύστημα διαχείρισης. Αυτά τα σενάρια δεν επιβεβαιώνονται μόνο με οπτικό έλεγχο εγκατάστασης. Απαιτούν συντονισμένη δοκιμή και τεκμηρίωση.

Η λειτουργική επαλήθευση συνδέεται επίσης με τη βιωσιμότητα και τις πιστοποιήσεις. Απαιτήσεις για ενεργειακή απόδοση, ποιότητα εσωτερικού αέρα, αερισμό, φίλτρανση, μετρήσεις, αυτοματισμούς και δυνατότητα παρακολούθησης έχουν αξία μόνο όταν επιβεβαιώνεται ότι λειτουργούν στην πράξη. Για τον λόγο αυτό, οι πιστοποιήσεις και οι περιβαλλοντικές απαιτήσεις πρέπει να εντάσσονται στον έλεγχο ποιότητας και στην ετοιμότητα παράδοσης του έργου (de Wilde, 2014).

Η βιβλιογραφία για τα πράσινα κτίρια επιβάλλει επίσης μεθοδολογική προσοχή. Οι πιστοποιήσεις μπορούν να οργανώσουν απαιτήσεις σχεδιασμού, υλικών, ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος και τεκμηρίωσης, όμως δεν πρέπει να ταυτίζονται άκριτα με εγγυημένη πραγματική ενεργειακή ή λειτουργική απόδοση. Μελέτες για κτίρια με πιστοποίηση LEED έχουν δείξει ότι τα αποτελέσματα λειτουργίας μπορεί να διαφοροποιούνται, ενώ η ικανοποίηση χρηστών και η ενεργειακή επίδοση επηρεάζονται από τη χρήση, τη λειτουργία, τη ρύθμιση συστημάτων και τη διαχείριση εγκαταστάσεων. Επομένως, η παρούσα εργασία ορθά αντιμετωπίζει τις πιστοποιήσεις ως πλαίσιο απαιτήσεων και ελέγχου, όχι ως αυτόματα απόδειξη λειτουργικής υπεροχής (Newsham et al., 2009; Scofield, 2013; Altomonte & Schiavon, 2013; Darko & Chan, 2017; Chan et al., 2017).

Στα έργα ανακατασκευής, η λειτουργική επαλήθευση έχει ακόμη μεγαλύτερη σημασία, επειδή το νέο τεχνικό σύστημα ενσωματώνεται σε υφιστάμενο κτίριο. Οι περιορισμοί χώρου, οι υφιστάμενες γεωμετρίες, οι προσαρμογές στο πεδίο και οι αλλαγές που έγιναν κατά την κατασκευή μπορούν να επηρεάσουν την τελική λειτουργία. Επομένως, η διαδικασία ποιότητας πρέπει να ελέγχει την εφαρμογή της εγκεκριμένης λύσης και τη συμβατότητα των προσαρμογών με τις απαιτήσεις λειτουργίας.

Η τελική παράδοση πρέπει να νοηθεί ως διαδικασία λειτουργικής μετάβασης με διάρκεια και περιεχόμενο. Περιλαμβάνει δοκιμές, ρυθμίσεις, παραδοτέα λειτουργίας και συντήρησης, εκπαίδευση προσωπικού, τεκμηρίωση της τελικής κατασκευασμένης κατάστασης (as-built documentation), κλείσιμο εκκρεμοτήτων και σαφή μεταβίβαση γνώσης στον φορέα λειτουργίας.

Συνεπώς, η διαχείριση ποιότητας και η λειτουργική επαλήθευση αποτελούν κεντρικό μέρος της διοίκησης τεχνικού έργου. Ειδικά σε ανακατασκευή ψηλού κτιρίου, η ποιότητα δεν αποδεικνύεται μόνο με την τήρηση σχεδίων και προδιαγραφών. Αποδεικνύεται με την ικανότητα των συστημάτων να συνεργάζονται, να δοκιμάζονται, να τεκμηριώνονται και να παραδίδονται με τρόπο που υποστηρίζει την ασφαλή, αξιόπιστη και αποδοτική λειτουργία του κτιρίου.

3.6 Πληροφορία, BIM και κοινό περιβάλλον δεδομένων

Σε ένα σύνθετο τεχνικό έργο, η πληροφορία είναι από τα πρώτα πράγματα που ξεφεύγουν από έλεγχο. Σε έργα με πολλούς εμπλεκόμενους, διαφορετικές ειδικότητες, συνεχείς τεχνικές υποβολές και διαδοχικές αναθεωρήσεις, η ποιότητα της πληροφορίας επηρεάζει άμεσα την ποιότητα των αποφάσεων. Αν οι ομάδες εργάζονται με διαφορετικές εκδόσεις σχεδίων, μη εγκεκριμένα μοντέλα ή άτυπες οδηγίες, αυξάνεται ο κίνδυνος συγκρούσεων, καθυστερήσεων, επαναληπτικών εργασιών και ασάφειας ευθύνης.

Το BIM έχει διαχειριστική σημασία επειδή συνδυάζει γεωμετρία, τεχνική πληροφορία και διαδικασίες ελέγχου και δεν περιορίζεται σε τρισδιάστατη απεικόνιση. Όταν

συννοδεύεται από σωστές διαδικασίες, δίνει κοινό σημείο αναφοράς σε μελετητές, ανάδοχο, επίβλεψη και τεχνικές ομάδες, ιδίως για συγκρούσεις και κατασκευασιμότητα (Sacks et al., 2018).

Σε έργα ανακατασκευής, όπου η νέα μελέτη πρέπει να προσαρμοστεί σε υφιστάμενο κτίριο, το BIM αποκτά αξία που δεν έχει στη νέα κατασκευή. Οι πραγματικές γεωμετρίες, οι περιορισμένοι χώροι, τα φρεάτια, οι ψευδοροφές, οι όψεις και οι κατακόρυφες οδεύσεις δημιουργούν συνθήκες στις οποίες η δισδιάστατη πληροφορία δεν επαρκεί πάντα για την έγκαιρη κατανόηση συγκρούσεων. Ο τρισδιάστατος συντονισμός μπορεί να βοηθήσει τις ομάδες να εντοπίσουν ζητήματα πριν εμφανιστούν στο εργοτάξιο, χωρίς όμως να αντικαθιστά τον ανθρώπινο έλεγχο και την τεχνική κρίση (Volk et al., 2014).

Η σχετική βιβλιογραφία συμφωνεί ότι το BIM μπορεί να βελτιώσει τον συντονισμό, την οπτικοποίηση, τον έλεγχο συγκρούσεων και την ανταλλαγή πληροφορίας, εφόσον συνοδεύεται από ώριμες διαδικασίες, σαφείς ρόλους και αποδεκτούς κανόνες συνεργασίας. Η αξία του βρίσκεται στη διοικητική ικανότητα να μετατραπεί το ψηφιακό μοντέλο σε κοινό σημείο αναφοράς για αποφάσεις, αναθεωρήσεις και έλεγχο κατασκευασιμότητας (Eastman et al., 2011; Azhar, 2011; Becerik-Gerber & Rice, 2010; Bryde et al., 2013; Gu & London, 2010; Yalcinkaya & Singh, 2015; Wong & Zhou, 2015).

Το κοινό περιβάλλον δεδομένων (CDE) οργανώνει την αποθήκευση, τον έλεγχο, την αναθεώρηση και τη διανομή σχεδίων, μοντέλων, εγγράφων και τεχνικών υποβολών. Η αξία του έγκειται στη σαφή κατάσταση κάθε πληροφορίας, δηλαδή υπό επεξεργασία, κοινή χρήση, έλεγχος, έγκριση ή αντικατάσταση.

Η διάκριση αυτή έχει άμεση διαχειριστική σημασία. Σε ένα έργο χωρίς σαφή έλεγχο εκδόσεων, μια ομάδα μπορεί να βασιστεί σε παλιό σχέδιο, μια άλλη σε νεότερο μοντέλο και μια τρίτη σε άτυπη οδηγία. Το αποτέλεσμα μπορεί να είναι τεχνική ασυμβατότητα ή καθυστέρηση που οφείλεται σε αστοχία διαχείρισης πληροφορίας. Όταν το CDE χρησιμοποιείται με σαφείς κανόνες ονομασίας, δικαιώματα πρόσβασης, ροές ελέγχου, καταστάσεις ωρίμανσης και καταγραφή αναθεωρήσεων, περιορίζεται ο κίνδυνος χρήσης μη έγκυρης πληροφορίας.

Ο συντονισμός μέσω BIM απαιτεί συγκεκριμένη ροή. Κάθε ομάδα ενημερώνει τα δικά της παραδοτέα, τα κοινοποιεί για έλεγχο, καταγράφει συγκρούσεις ή ασάφειες, επιλύει τεχνικά τα ζητήματα και επανυποβάλλει την ενημερωμένη πληροφορία. Μόνο τότε μπορεί ένα μοντέλο ή σχέδιο να χρησιμοποιηθεί ως βάση για κατασκευή ή επόμενο συντονισμό.

Η παραπάνω λογική δείχνει ότι το BIM και το CDE δεν αντικαθιστούν τη διοίκηση έργου. Αντίθετα, χρειάζονται σαφείς διοικητικούς κανόνες για να λειτουργήσουν. Χωρίς συμφωνημένες διαδικασίες, υπεύθυνους ελέγχου, χρονοδιαγράμματα υποβολών, κανόνες ονομασίας, όρια ευθύνης και μηχανισμό επίλυσης ζητημάτων, το ψηφιακό περιβάλλον κινδυνεύει να γίνει απλώς χώρος αποθήκευσης αρχείων. Η τεχνολογία από μόνη της δεν διασφαλίζει συντονισμό. Ο συντονισμός προκύπτει από τη σύνδεση τεχνολογίας, διαδικασιών και ανθρώπινης κρίσης.

Η χρήση του BIM συνδέεται επίσης με τη διαχείριση αλλαγών. Όταν μια αλλαγή εγκρίνεται, πρέπει να μεταφέρεται στα σχετικά μοντέλα, σχέδια και έγγραφα. Αν η αλλαγή εφαρμοστεί στο πεδίο χωρίς να αποτυπωθεί στα ψηφιακά παραδοτέα, δημιουργείται απόκλιση ανάμεσα στην πραγματική κατάσταση και στην επίσημη πληροφορία του έργου. Η απόκλιση αυτή μπορεί να επηρεάσει μελλοντικές εργασίες, δοκιμές, συντήρηση και τεκμηρίωση της τελικής κατασκευασμένης κατάστασης (as-built documentation). Επομένως, η ψηφιακή ενημέρωση αποτελεί μέρος του κλεισίματος της αλλαγής.

Στα έργα υψηλής πολυπλοκότητας, η διαχείριση πληροφορίας υποστηρίζει και τη λειτουργική παράδοση. Τα τελικά μοντέλα, σχέδια, εγχειρίδια, τεχνικά φυλλάδια, πιστοποιητικά, δοκιμές και στοιχεία εξοπλισμού πρέπει να συγκροτούν συνεκτικό σύνολο παραδοτέων. Η αξία τους δεν τελειώνει με την κατασκευή. Αποτελούν βάση για τη λειτουργία, τη συντήρηση, τη μελλοντική τροποποίηση χώρων και τη διαχείριση του κτιρίου στον χρόνο. Η ακρίβεια και η πληρότητα της τελικής πληροφορίας είναι έτσι μέρος της ποιότητας του έργου.

Σε πρακτικό επίπεδο, BIM και CDE αξίζουν όσο η πειθαρχία που τα συνοδεύει. Χωρίς κανόνες έκδοσης και ξεκάθαρη ευθύνη ενημέρωσης, παραμένουν ακριβά αρχεία.

3.7 Ενδιαφερόμενα μέρη και όρια ευθύνης

Η διαχείριση ενδιαφερομένων μερών αποτελεί βασικό πεδίο της διοίκησης τεχνικών έργων, επειδή κάθε έργο υλοποιείται μέσα από αποφάσεις, απαιτήσεις και περιορισμούς που προέρχονται από διαφορετικούς φορείς. Σε ένα σύνθετο κτιριακό έργο, τα ενδιαφερόμενα μέρη δεν είναι μόνο ο εργοδότης, ο ανάδοχος και οι μελετητές. Περιλαμβάνουν επίσης συμβούλους, προμηθευτές, υπεργολάβους, φορείς πιστοποίησης, αρχές, μελλοντικούς χρήστες, μισθωτές και φορείς λειτουργίας. Κάθε ομάδα μπορεί να επηρεάζει διαφορετικές πλευρές του έργου, όπως το αντικείμενο, τον χρόνο, την ποιότητα, τις εγκρίσεις, τη λειτουργικότητα και την τελική αποδοχή.

Στα έργα ανακατασκευής ψηλών κτιρίων, η διαχείριση ενδιαφερομένων δεν είναι μόνο επικοινωνιακό ζήτημα. Έχει άμεση τεχνική σημασία, επειδή οι απαιτήσεις κάθε ομάδας μεταφράζονται σε πραγματικές χωρικές, λειτουργικές και κατασκευαστικές ανάγκες. Ο εργοδότης θέτει στόχους αξιοποίησης, ποιότητας και παράδοσης. Οι μελετητές ορίζουν τεχνικές λύσεις και προδιαγραφές. Ο ανάδοχος και οι υπεργολάβοι αναλαμβάνουν την κατασκευαστική εφαρμογή. Οι σύμβουλοι πιστοποιήσεων επηρεάζουν υλικά, τεκμηρίωση και διαδικασίες. Οι μισθωτές εισάγουν ειδικές απαιτήσεις χρήσης. Ο φορέας λειτουργίας χρειάζεται παραδοτέα και συστήματα που να μπορούν να συντηρηθούν και να ελεγχθούν μετά την ολοκλήρωση.

Η πολυπλοκότητα αυτή κάνει αναγκαία τη σαφή οριοθέτηση ρόλων και ευθυνών. Όταν δεν είναι ξεκάθαρο ποιος αποφασίζει, ποιος εγκρίνει, ποιος υλοποιεί και ποιος παραλαμβάνει, αυξάνεται ο κίνδυνος καθυστερήσεων, παρερμηνειών και συγκρούσεων. Η ασάφεια ευθύνης είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη στα σημεία όπου συναντώνται διαφορετικά αντικείμενα, διαφορετικές ειδικότητες ή διαφορετικοί φορείς. Τέτοια σημεία είναι οι συνδέσεις μεταξύ βασικού κτιρίου και εσωτερικών διαμορφώσεων μισθωτών, οι παροχές H/M, τα συστήματα πυρανίχνευσης και PAVA, οι υποδομές αερισμού, τα sprinklers, οι αυτοματισμοί, οι μετρήσεις κατανάλωσης και τα παραδοτέα λειτουργίας.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα ορίου ευθύνης με τεχνικές συνέπειες αποτελεί η διάκριση βασικού κτιρίου και εσωτερικής διαμόρφωσης μισθωτή, όπως τεκμηριώθηκε στο Κεφάλαιο 2. Αν τα όρια δεν καθοριστούν εγκαίρως, οι αλλαγές ενός μισθωτή μπορεί

να επηρεάσουν κοινά συστήματα, να δημιουργήσουν ασυμβατότητες ή να προκαλέσουν πρόσθετες εργασίες σε προχωρημένο στάδιο.

Ο συντονισμός των σημείων επαφής μεταξύ ειδικοτήτων απαιτεί περισσότερο από απλή ανταλλαγή πληροφοριών. Χρειάζεται μηχανισμό αναγνώρισης, καταγραφής, αξιολόγησης και κλεισίματος ανοιχτών θεμάτων. Κάθε τέτοιο σημείο μπορεί να εξελιχθεί σε αστοχία, αν δεν υπάρχει σαφής ευθύνη και τεχνική λύση. Για παράδειγμα, μια αλλαγή στη διαρρύθμιση ενός χώρου μπορεί να επηρεάσει τη θέση στομίων αερισμού, την απόδοση συστημάτων μεταβλητής ροής ψυκτικού μέσου (Variable Refrigerant Volume / Variable Refrigerant Flow – VRV/VRF), τη διάταξη φωτισμού, την κάλυψη πυρανίχνευσης, τη διάταξη sprinklers και την πρόσβαση για συντήρηση. Η σωστή διοίκηση εγκρίνει την αλλαγή και ελέγχει τις τεχνικές συνέπειές της στο συνολικό σύστημα.

Στα έργα μικτής χρήσης, η διαχείριση ενδιαφερομένων γίνεται ακόμη πιο απαιτητική επειδή οι λειτουργίες δεν έχουν ίδιες ανάγκες. Χώροι γραφείων, εμπορικοί χώροι, χώροι εστίασης, κοινόχρηστοι χώροι, υπόγεια και τεχνικοί χώροι έχουν διαφορετικές απαιτήσεις ως προς φορτία, αερισμό, ωράρια, πυρασφάλεια, πρόσβαση, συντήρηση και επίπεδο εξυπηρέτησης. Η διοίκηση του έργου πρέπει να εξισορροπεί τις επιμέρους απαιτήσεις χωρίς να χάνει τη συνοχή του συνολικού τεχνικού συστήματος.

Η επικοινωνία μεταξύ ενδιαφερομένων πρέπει επομένως να είναι τεκμηριωμένη και ιχνηλατήσιμη. Οι αποφάσεις που επηρεάζουν τεχνικά αντικείμενα δεν μπορούν να μένουν σε άτυπες συζητήσεις ή σε αποσπασματικές οδηγίες. Πρέπει να καταγράφονται, να συνδέονται με σχέδια, υποβολές, αναθεωρήσεις ή πρακτικά και να κοινοποιούνται στις ομάδες που επηρεάζονται. Έτσι η επικοινωνία αποκτά ρόλο εργαλείου ελέγχου του έργου, πέρα από την απλή ανταλλαγή μηνυμάτων.

Η διαχείριση ενδιαφερομένων συνδέεται επίσης με τη λειτουργική παράδοση. Ο φορέας λειτουργίας χρειάζεται σαφή εικόνα συστημάτων, ορίων ευθύνης, παραδοτέων, εγχειριδίων, ρυθμίσεων και εκκρεμοτήτων. Αν η γνώση παραμένει διάσπαρτη σε πρόσωπα ή ανεπίσημες ανταλλαγές, η έναρξη λειτουργίας γίνεται πιο ευάλωτη σε αστοχίες και καθυστερήσεις.

Συνεπώς, ο συντονισμός ενδιαφερομένων, τεχνικών αλληλεξαρτήσεων και ορίων ευθύνης είναι βασική λειτουργία διοίκησης σε ανακατασκευές ψηλών κτιρίων. Η αξία του φαίνεται όταν διαφορετικές απαιτήσεις γίνονται ελεγχόμενες τεχνικές αποφάσεις και όταν τα ανοικτά σημεία κλείνουν πριν περάσουν στη λειτουργία.

Η βιβλιογραφία δεν οδηγεί σε άνετο και απόλυτο συμπέρασμα. Για το BIM, αναγνωρίζει σημαντική συμβολή στην αποτύπωση και στον συντονισμό, αλλά τονίζει περιορισμούς στην ποιότητα αρχικών δεδομένων, στη διαλειτουργικότητα και στην ανάγκη ανθρώπινου ελέγχου (Volk et al., 2014). Για τις περιβαλλοντικές πιστοποιήσεις, δείχνει ότι οργανώνουν απαιτήσεις, χωρίς να εγγυώνται από μόνες τους πραγματική λειτουργική επίδοση χωρίς μετρήσεις και λειτουργική επαλήθευση συστημάτων (commissioning) (de Wilde, 2014).

3.8 Σύνοψη κεφαλαίου

Οι έννοιες αυτές φωτίζουν γιατί ένα σύνθετο έργο μπορεί να αποτύχει στα όρια μεταξύ των συστημάτων του, ακόμη κι όταν κάθε επιμέρους λύση είναι, χωριστά, τεχνικά σωστή.

Η κεντρική θέση είναι καθαρή. Σε τέτοια έργα η τεχνική επάρκεια των επιμέρους λύσεων πρέπει να συνοδεύεται από έλεγχο αβεβαιότητας, πειθαρχημένες αλλαγές, αξιόπιστη πληροφορία, συντονισμό εμπλεκομένων και επιβεβαίωση λειτουργίας πριν από την παράδοση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

4.1 Ρόλος του κεφαλαίου και λογική ανάλυσης

Πώς γίνεται ένα τεχνικό έργο αντικείμενο έρευνας; Το κεφάλαιο απαντά πρακτικά. Ορίζει ποια τεκμήρια χρησιμοποιούνται, με ποια χρονική σειρά διαβάζονται και πώς το καθένα συνδέεται με ένα ερευνητικό ερώτημα, χωρίς να επιστρέφει στην τεχνική ταυτότητα ή στη θεωρία.

Η μεθοδολογική προσέγγιση βασίζεται σε ποιοτική μελέτη περίπτωσης. Η επιλογή αυτή είναι κατάλληλη όταν το ζητούμενο είναι η εις βάθος κατανόηση ενός πραγματικού και σύνθετου φαινομένου μέσα στο περιβάλλον όπου εξελίχθηκε (Yin, 2018). Στην παρούσα εργασία, το φαινόμενο αυτό είναι η διαχείριση ενός έργου υψηλής τεχνικής, οργανωτικής και λειτουργικής πολυπλοκότητας.

Η μονάδα ανάλυσης είναι η διαδικασία ανακατασκευής και παράδοσης του Πύργου. Η εργασία εξετάζει τι κατασκευάστηκε και πώς οργανώθηκαν οι αποφάσεις, οι αλλαγές, τα όρια ευθύνης, οι έλεγχοι και η μετάβαση προς λειτουργία.

Ένα τεχνικό στοιχείο μπαίνει στην ανάλυση μόνο όταν στηρίζει ένα συμπέρασμα διοίκησης. Η ύπαρξη σύνθετων Η/Μ εγκαταστάσεων, για παράδειγμα, δεν έχει από μόνη της ερευνητικό ενδιαφέρον· αποκτά νόημα όταν δείχνει πού δημιουργούνται τα κρίσιμα σημεία συντονισμού ανάμεσα σε αρχιτεκτονικά, στατικά και Η/Μ, και πώς αυτά μετακινούν το χρονοδιάγραμμα, τις πιστοποιήσεις και την παράδοση.

Η διαδικασία έχει τρία βήματα, δηλαδή τον εντοπισμό τεκμηρίου, την αναγνώριση του διαχειριστικού ζητήματος που φωτίζει και τη διατύπωση συμπεράσματος μόνο όπου η τεκμηρίωση το επιτρέπει.

4.2 Μελέτη περίπτωσης και ερμηνευτική προσέγγιση

Η επιλογή του Πύργου του Πειραιά ως μελέτης περίπτωσης στηρίζεται στη σύνθετη φύση του έργου. Το έργο συνδύασε υφιστάμενο φέροντα οργανισμό, νέα αρχιτεκτονική και ενεργειακή ταυτότητα, εκτεταμένες Η/Μ εγκαταστάσεις, απαιτήσεις μισθωτών, ψηφιακό συντονισμό, πιστοποιήσεις βιωσιμότητας και διαδικασίες λειτουργικής επαλήθευσης. Αυτό το σύνολο παραγόντων καθιστά την περίπτωση κατάλληλη για ανάλυση διοίκησης τεχνικού έργου και όχι μόνο για τεχνική παρουσίαση.

Η ποιοτική μελέτη περίπτωσης επιτρέπει την ανάλυση σύνθετων σχέσεων που δεν μπορούν να αποτυπωθούν επαρκώς μόνο με αριθμητικούς δείκτες. Ζητήματα όπως η αβεβαιότητα του υφιστάμενου κτιρίου, η διαχείριση των ορίων ευθύνης μεταξύ βασικού κτιρίου και μισθωτών, η εξέλιξη των τεχνικών αποφάσεων στο πεδίο και η αξιοπιστία της πληροφορίας απαιτούν ερμηνευτική προσέγγιση. Η ποιοτική έρευνα είναι κατάλληλη όταν ο ερευνητής εξετάζει διαδικασίες, αποφάσεις και σχέσεις μέσα στο πραγματικό τους πλαίσιο, αντί να απομονώνει μεταβλητές έξω από το περιβάλλον τους (Creswell & Poth, 2018).

Η εργασία δεν επιχειρεί να αποδείξει ότι όλες οι ανακατασκευές ψηλών κτιρίων ακολουθούν το ίδιο πρότυπο. Χρησιμοποιεί έναν πραγματικό πυρήνα εμπειρίας και τεκμηρίων για να εξετάσει θέματα που εμφανίζονται συχνά σε αντίστοιχα έργα, όπως αβεβαιότητα υφιστάμενου φορέα, συντονισμό ειδικοτήτων, αλλαγές, απαιτήσεις μισθωτών, πιστοποιήσεις και παράδοση σε λειτουργία.

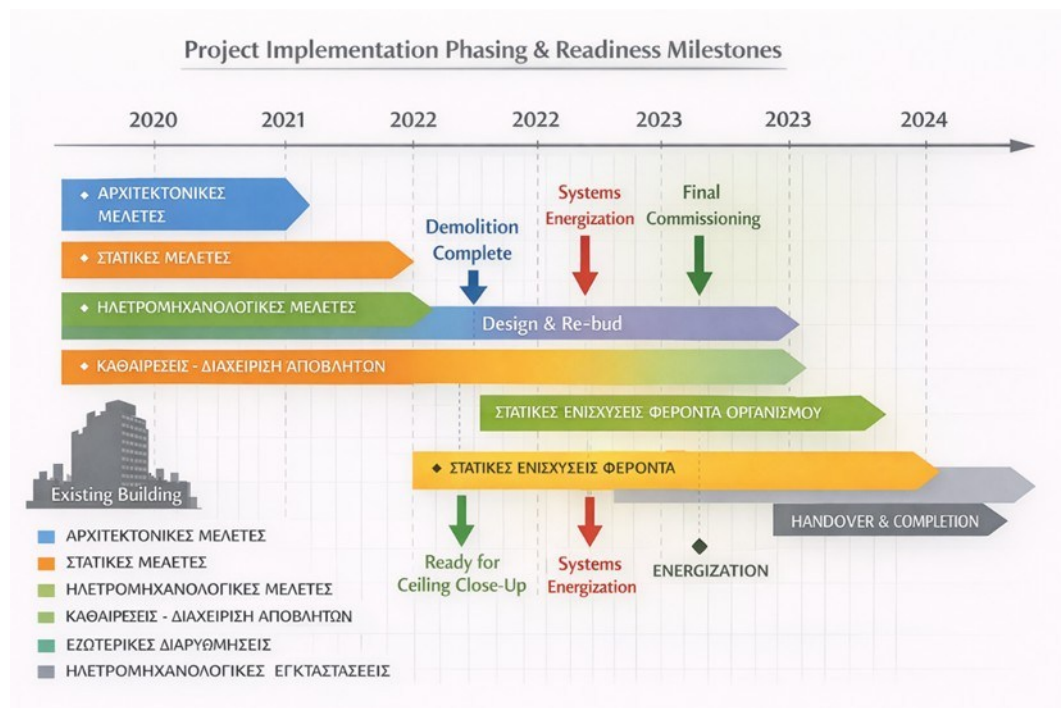
Η συμβολή της βρίσκεται στη συστηματική ανάγνωση ενός πραγματικού έργου ως πεδίου εφαρμογής διοίκησης τεχνικών έργων, με συγκεκριμένες αποφάσεις, τεκμήρια και περιορισμούς.

4.3 Ποιοτική χρονική αποτύπωση του έργου

Η μελέτη περίπτωσης χρειάζεται και χρονική οργάνωση. Σε ανακατασκευή ψηλού κτιρίου, οι αποφάσεις δεν εμφανίζονται απομονωμένα. Η αβεβαιότητα επηρεάζει τον σχεδιασμό, ο σχεδιασμός τον συντονισμό, ο συντονισμός την κατασκευή και η

κατασκευή τις διαδικασίες commissioning και την παράδοση. Οι απαιτήσεις πιστοποίησης διατρέχουν όλες τις φάσεις.

Το ποιοτικό χρονοδιάγραμμα εισάγεται επειδή βοηθά να διαβαστεί η αλληλουχία του έργου χωρίς να υποκαθιστά το επίσημο πρόγραμμα. Δείχνει πότε τέθηκαν κρίσιμες απαιτήσεις, πότε ωρίμασαν τεχνικές αποφάσεις και πότε η κατασκευή άρχισε να μετατρέπεται σε διαδικασία παράδοσης.



Σχήμα 4.1: Απόσπασμα κύριου χρονοδιαγράμματος με ορόσημα ετοιμότητας. Πηγή: ιδία επεξεργασία βάσει τεκμηρίων προγραμματισμού έργου.

Το Σχήμα 4.1 οργανώνει την ανάγνωση του έργου σε διαδοχικές αλλά αλληλένδετες φάσεις, δηλαδή υφιστάμενη κατάσταση και αβεβαιότητα, σχεδιασμός βασικού κτιρίου, ψηφιακός και τεχνικός συντονισμός, κατασκευή και επίλυση ζητημάτων πεδίου, απαιτήσεις μισθωτών και πιστοποιήσεων, λειτουργική επαλήθευση και αρχική παρακολούθηση απόδοσης.

Η αξία του σχήματος είναι ότι αποτρέπει μια γραμμική και απλουστευμένη ανάγνωση του έργου. Η ανακατασκευή δεν εξελίχθηκε ως διαδοχή ανεξάρτητων σταδίων, όπου πρώτα ολοκληρώνεται ο σχεδιασμός, μετά αρχίζει η κατασκευή και στο τέλος ελέγχεται η λειτουργία. Αντίθετα, πολλές απαιτήσεις έπρεπε να συντονίζονται

παράλληλα. Η τεχνική επίλυση των Η/Μ εγκαταστάσεων συνδεόταν με τις αρχιτεκτονικές επιλογές, τις απαιτήσεις όψεων, τα όρια των μισθωτών, τις απαιτήσεις LEED και WELL, τις διαδικασίες υποβολών και τη λειτουργική παραλαβή.

Το ποιοτικό χρονοδιάγραμμα δεν δείχνει μόνο πότε συνέβησαν οι φάσεις αλλά πώς συνδέθηκαν διαχειριστικά· γι' αυτό το Κεφάλαιο 5 διαβάζεται ως εφαρμογή μιας λογικής διοίκησης έργου, όχι ως σειρά τεχνικών στιγμιοτύπων.

4.4 Κατηγορίες τεκμηρίων και τρόπος αξιοποίησης

Η εργασία αξιοποιεί διαφορετικές κατηγορίες τεκμηρίων. Η χρήση τους δεν γίνεται μηχανικά. Κάθε τεκμήριο εντάσσεται στην ανάλυση μόνο όταν εξυπηρετεί συγκεκριμένο ερευνητικό σκοπό. Αυτή η επιλογή είναι αναγκαία, διότι το έργο διαθέτει μεγάλο όγκο τεχνικού υλικού. Αν το υλικό αυτό ενταχθεί αυτούσιο στην εργασία, το αποτέλεσμα θα μοιάζει με τεχνικό αρχείο και όχι με διπλωματική εργασία στη διαχείριση τεχνικών έργων.

Οι βασικές κατηγορίες τεκμηρίων περιλαμβάνουν αρχιτεκτονικά τεύχη, Η/Μ τεχνικές περιγραφές, τεχνικές προδιαγραφές, συγγραφές υποχρεώσεων, τεύχη LEED και λειτουργικής επαλήθευσης συστημάτων (commissioning), οδηγίες LEED και WELL προς μισθωτές, τεκμήρια BIM και CDE, ειδικές τεχνικές μελέτες, λειτουργικά δεδομένα και εμπειρική γνώση επίβλεψης. Οι τεχνικές περιγραφές και προδιαγραφές τεκμηριώνουν το αντικείμενο, τις απαιτήσεις και τα τεχνικά όρια του έργου (BETAPLAN, 2021a, 2021b; INSTA, 2021a, 2021b). Οι συγγραφές υποχρεώσεων και τα τεύχη commissioning τεκμηριώνουν τις διαδικασίες ελέγχου, δοκιμών, υποβολών και λειτουργικής παραλαβής (INSTA, 2021c; Piraeus Tower A.E., 2021). Τα τεκμήρια BIM και CDE υποστηρίζουν την ανάλυση της διαχείρισης πληροφορίας και της συνεργασίας μεταξύ ειδικοτήτων (TERNA S.A. & EB/Architects, 2022; BIM Center, 2021).

Η βιβλιογραφία χρησιμοποιείται συμπληρωματικά προς τα τεκμήρια του έργου. Δίνει θεωρητική βάση σε όσα παρατηρούνται στην περίπτωση, δηλαδή διοίκηση απαιτήσεων, BIM και CDE, commissioning, LEED και WELL και ενεργειακό χάσμα.

Ο Πίνακας 4.1 παρουσιάζει τις κατηγορίες τεκμηρίων και τη χρήση τους στην εργασία, ελέγχοντας τη μεθοδολογική συνέπεια, δηλαδή ποια πληροφορία παρέχει κάθε κατηγορία και σε ποιο διαχειριστικό ζήτημα συμβάλλει.

Πίνακας 4.1: Κατηγορίες τεκμηρίων και αναλυτική χρησιμότητα στην παρούσα εργασία.

Κατηγορία τεκμηρίων	Πληροφορία που παρέχει	Αναλυτική χρησιμότητα
Αρχιτεκτονικά τεύχη και τεχνικές εκθέσεις	Χρήσεις, χωρική οργάνωση, όψεις, κοινόχρηστοι χώροι, λειτουργικά όρια	Τεκμηριώνουν τους χωρικούς περιορισμούς και τα σημεία που επηρεάζουν τον συντονισμό των ειδικοτήτων
H/M τεχνικές περιγραφές	Συστήματα κλιματισμού, αερισμού, πυρασφάλειας, ισχυρών και ασθενών ρευμάτων, BMS	Αναδεικνύουν την τεχνική πολυπλοκότητα και την ανάγκη ολοκληρωμένου συντονισμού ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων (MEP coordination)
Τεχνικές προδιαγραφές	Απαιτήσεις υλικών, εγκατάστασης, δοκιμών, ποιότητας και συντήρησης	Συνδέουν το τεχνικό αντικείμενο με διαδικασίες ελέγχου ποιότητας και ευθύνης αναδόχου
Συγγραφές υποχρεώσεων	Υποβολές, εγκρίσεις, διαδικασίες, δοκιμές, commissioning	Δείχνουν πώς οι συμβατικές απαιτήσεις μετατρέπονται σε μηχανισμό ελέγχου και παραλαβής
LEED, WELL και commissioning τεκμήρια	Περιβαλλοντικές απαιτήσεις, υλικά, αερισμός, εσωτερική ποιότητα, τεκμηρίωση	Συνδέουν τη βιωσιμότητα με την κατασκευή, τις προμήθειες, τις υποβολές και τη λειτουργική επαλήθευση
τεκμήρια BIM και CDE	Ροές υποβολών, αναθεωρήσεις, μοντέλα, συγκρούσεις, εγκρίσεις	Υποστηρίζουν την ανάλυση της διαχείρισης πληροφορίας και του συντονισμού μεταξύ ειδικοτήτων
Ειδικές τεχνικές μελέτες	Αεροδυναμική συμπεριφορά, εκκένωση, ειδικά σενάρια λειτουργίας	Δείχνουν πώς ειδικές απαιτήσεις επηρεάζουν αποφάσεις σχεδιασμού, ασφάλειας και διαχείρισης κινδύνου
Λειτουργικά δεδομένα	Φωτοβολταϊκό σύστημα, PMS, ενεργειακή παρακολούθηση	Συνδέουν την κατασκευαστική και πιστοποιητική στρατηγική με τη λειτουργική απόδοση
Εμπειρική γνώση επίβλεψης	Παρατηρήσεις πεδίου, τεχνικές δυσκολίες, αλλαγές, πρακτικός συντονισμός	Βοηθά στην ερμηνεία των τεκμηρίων χωρίς να αντικαθιστά την ανάγκη τεκμηρίωσης

Η διάκριση των τεκμηρίων κρατά καθαρή την ανάλυση. Τα τεχνικά τεύχη δείχνουν τι προβλεπόταν. Τα διαδικαστικά έγγραφα δείχνουν πώς έπρεπε να ελεγχθεί. Τα στοιχεία BIM και CDE δείχνουν πώς κινήθηκε και αναθεωρήθηκε η πληροφορία. Τα λειτουργικά δεδομένα δείχνουν τι μπορεί να παρακολουθηθεί μετά την κατασκευή. Η εμπειρική γνώση βοηθά να εξηγηθεί πώς αυτά συναντήθηκαν στο εργοτάξιο.

4.5 Πλαίσιο σύνδεσης ερευνητικών ερωτημάτων και εφαρμοσμένης ανάλυσης

Για να παραμείνει η εργασία συνεκτική, κάθε ερευνητικό ερώτημα αντιστοιχίζεται σε άξονα ανάλυσης, τεκμήρια και ενότητες του Κεφαλαίου 5. Χωρίς αυτή την αντιστοίχιση, η εφαρμοσμένη ανάλυση θα κινδύνευε να γίνει σειρά τεχνικών παραδειγμάτων χωρίς ιεράρχηση.

Ο Πίνακας 4.2 χρησιμοποιείται ως χάρτης ελέγχου. Δείχνει πού μεταφέρονται τα ερωτήματα της εισαγωγής στην εφαρμοσμένη ανάλυση και πού αναμένεται να απαντηθούν.

Πίνακας 4.2: Αντιστοίχιση ερευνητικών ερωτημάτων, τεκμηρίων και εφαρμοσμένης ανάλυσης. Πηγή: ίδια επεξεργασία.

Ερευνητικό ερώτημα	Άξονας ανάλυσης	Κύρια τεκμήρια	Σημείο εφαρμοσμένης ανάλυσης
Πώς διαμορφώθηκε το όριο βασικού κτιρίου και εργασιών μισθωτών και ποιον ρόλο έπαιξε στη διαχείριση κινδύνου, ιδίως στις διασυνδέσεις πυρασφάλειας–PAVA και στη διατήρηση των πιστοποιήσεων;	Όρια ευθύνης, βασικό κτίριο και μισθωτές, λειτουργικές διασυνδέσεις ασφαλείας	Τεχνικά τεύχη, οδηγίες μισθωτών, μελέτη πυρασφάλειας/εκκένωσης, εμπειρική γνώση επίβλεψης	Ενότητες 5.1, 5.5 και 5.6
Με ποιον τρόπο ο τρισδιάστατος συντονισμός των H/M σε ζώνες συμφόρησης επηρέασε μετρήσιμα ή ελέγξιμα χαρακτηριστικά του κτιρίου, όπως τα καθαρά ύψη, η	Συντονισμός H/M (MEP coordination), BIM, CDE, κατασκευαστικότητα	Τεκμήρια BIM και CDE, σχέδια, μοντέλα, φωτογραφική αποτύπωση πεδίου	Ενότητες 5.1 έως 5.4

προσβασιμότητα και η κατασκευασιμότητα;			
Υπό ποιες προϋποθέσεις οι απαιτήσεις πυρασφάλειας και ελεγχόμενης εκκένωσης και οι απαιτήσεις των πλαισίων LEED και WELL λειτούργησαν ως ενεργός μηχανισμός ποιότητας και ελέγχου, αντί να εκπέσουν σε απολογιστική αναζήτηση τεκμηρίων στο τέλος του έργου;	Στρατηγική πυρασφάλειας/εκκένωσης, πιστοποιήσεις ως μηχανισμός ελέγχου	Μελέτη χρονισμού εκκένωσης, οδηγίες LEED και WELL, υποβολές υλικών και τεκμηρίωση	Ενότητες 5.5 και 5.6
Σε ποιον βαθμό και για ποιους λόγους η κατασκευαστική ολοκλήρωση διαφοροποιήθηκε από τη λειτουργική παραλαβή, και τι ρόλο έπαιξαν η λειτουργική επαλήθευση συστημάτων και τα μεταγενέστερα δεδομένα παρακολούθησης (φωτοβολταϊκά, PMS);	Λειτουργική επαλήθευση (commissioning), λειτουργική παράδοση, μεταγενέστερη παρακολούθηση	Τεύχη commissioning, δεδομένα PMS, δεδομένα φωτοβολταϊκού συστήματος	Ενότητα 5.7

Η αντιστοίχιση αυτή λειτούργησε ως αυστηρό κριτήριο επιλογής, καθώς κάθε τεχνικό παράδειγμα έπρεπε να υπηρετεί συγκεκριμένο ερευνητικό ερώτημα. Υλικό που δεν συνδεόταν με τους άξονες του Πίνακα 4.2 δεν εντάχθηκε στο κύριο σώμα της ανάλυσης.

Το κριτήριο αυτό αφορούσε ιδιαίτερα τα παραδείγματα BIM, συντονισμού ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων (MEP coordination), πυρασφάλειας, LEED και WELL και λειτουργικής παρακολούθησης. Ένα στιγμιότυπο BIM έχει αξία όταν δείχνει τεχνική σύγκρουση ή απόφαση. Μία απαίτηση LEED έχει αξία όταν επηρεάζει προμήθειες, υποβολές ή κατασκευή. Ένα λειτουργικό δεδομένο έχει αξία όταν δείχνει τη μετάβαση από σχεδιασμό σε παρακολούθηση απόδοσης.

4.6 Διαδικασία διασταύρωσης και ερμηνείας

Η αξιοπιστία της ανάλυσης εξαρτάται από τη διασταύρωση των τεκμηρίων. Η εργασία συνδυάζει τεχνικά τεύχη, διαδικαστικά έγγραφα, βιβλιογραφία, ψηφιακά τεκμήρια και εμπειρική γνώση επίβλεψης. Η διασταύρωση αυτή είναι απαραίτητη, επειδή σε ένα πραγματικό έργο η πληροφορία σπάνια βρίσκεται συγκεντρωμένη σε ένα μόνο έγγραφο.

Η ερμηνεία ακολουθεί τέσσερα βήματα, δηλαδή τεκμηριωμένο δεδομένο, διαχειριστικό ζήτημα, διασταύρωση με άλλη πηγή και συμπέρασμα εντός των ορίων της διαθέσιμης τεκμηρίωσης.

Η διάκριση αυτή αποτρέπει υπερβολικούς ισχυρισμούς. Η ύπαρξη BIM δεν σημαίνει ότι εξαφανίστηκαν τα προβλήματα συντονισμού. Σημαίνει ότι υπήρξε οργανωμένη πληροφορία, έλεγχος συγκρούσεων και υποστήριξη αποφάσεων. Η τελική επίλυση παρέμεινε ζήτημα τεχνικής κρίσης, συνεργασίας και απόφασης πεδίου (Sacks et al., 2018; Succar, 2009; Volk et al., 2014).

Αντίστοιχα, η επίτευξη ή επιδίωξη πιστοποίησης δεν ταυτίζεται με πλήρη απόδειξη λειτουργικής απόδοσης. Οι απαιτήσεις των πλαισίων LEED και WELL εισάγουν απαιτήσεις, κριτήρια και διαδικασίες τεκμηρίωσης. Η πραγματική λειτουργική απόδοση απαιτεί παρακολούθηση, μετρήσεις, συσχέτιση με συνθήκες χρήσης και αξιολόγηση σε βάθος χρόνου. Για τον λόγο αυτό, τα λειτουργικά δεδομένα που αξιοποιούνται στην εργασία αντιμετωπίζονται ως ενδείξεις λειτουργικής παρακολούθησης και όχι ως πλήρης μετα-κατοικησιακή αξιολόγηση.

Η ίδια προσοχή απαιτείται και για τη χρήση εμπειρικής γνώσης. Η συμμετοχή του συγγραφέα στην επίβλεψη των Η/Μ εγκαταστάσεων προσφέρει ουσιαστική κατανόηση των πραγματικών δυσκολιών του έργου. Η εμπειρία αυτή χρησιμοποιείται ερμηνευτικά και σε σύνδεση με τεχνικά τεκμήρια, διαδικασίες και παρατηρήσιμα προβλήματα. Με αυτόν τον τρόπο η εργασία αξιοποιεί την επαγγελματική εμπειρία χωρίς να μετατρέπεται σε προσωπική αφήγηση.

4.7 Περιορισμοί της μεθοδολογίας

Η μεθοδολογία έχει σαφή όρια. Εξετάζει ένα έργο και όχι μεγάλο δείγμα ανακατασκευών ψηλών κτιρίων. Τα συμπεράσματα επομένως δεν είναι στατιστικά γενικεύσιμα· έχουν όμως αναλυτική αξία, επειδή φωτίζουν πραγματικές σχέσεις ανάμεσα σε τεκμήρια, διαδικασίες και αποφάσεις.

Ο δεύτερος περιορισμός αφορά τη διαθεσιμότητα των δεδομένων. Η εργασία αξιοποιεί τεχνικά, διαδικαστικά και λειτουργικά τεκμήρια που ήταν διαθέσιμα για τις ανάγκες της ακαδημαϊκής ανάλυσης. Δεν υποκαθιστά πλήρη τεχνικό φάκελο έργου και δεν παρουσιάζει το σύνολο των εσωτερικών εμπορικών, συμβατικών ή διοικητικών αποφάσεων. Για τον λόγο αυτό, η ανάλυση περιορίζεται σε στοιχεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ασφάλεια και χωρίς υπέρβαση του σκοπού της εργασίας. Επίσης, η εργασία δεν πραγματοποιεί ανεξάρτητο επανυπολογισμό H/M συστημάτων, νέα ενεργειακή προσομοίωση, πλήρη οικονομική αξιολόγηση ή πλήρη ανάλυση κύκλου ζωής. Όπου χρησιμοποιούνται ποσοτικά στοιχεία, αυτά αξιοποιούνται ως τεκμήρια της μελέτης περίπτωσης και όχι ως νέο πρωτογενές υπολογιστικό αποτέλεσμα της παρούσας εργασίας.

Ο τρίτος περιορισμός αφορά τα λειτουργικά δεδομένα. Τα στοιχεία από το φωτοβολταϊκό σύστημα, το σύστημα διαχείρισης ισχύος (Power Management System – PMS) ή άλλα συστήματα παρακολούθησης αξιοποιούνται για να φανεί η σημασία της λειτουργικής μετάβασης. Δεν αποτελούν πλήρη αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου σε βάθος χρόνου. Για τέτοια αξιολόγηση θα απαιτούνταν μεγαλύτερη περίοδος δεδομένων, σταθερή μεθοδολογία σύγκρισης, συσχέτιση με πληρότητα, κλιματικές συνθήκες και πραγματικά προφίλ χρήσης.

Για τις πιστοποιήσεις, η εργασία περιορίζεται στον τρόπο με τον οποίο LEED και WELL επηρέασαν απαιτήσεις, τεκμηρίωση και έλεγχο. Δεν επιχειρεί ανεξάρτητη περιβαλλοντική ή υγειονομική αξιολόγηση του κτιρίου. Η διάκριση αυτή προστατεύει το κείμενο από την εύκολη αλλά λανθασμένη εξίσωση της πιστοποίησης με πλήρη απόδειξη λειτουργικής επίδοσης.

Η θέση του συγγραφέα είναι επίσης όριο και πλεονέκτημα μαζί. Η επαγγελματική συμμετοχή στο έργο προσφέρει πραγματική εμπειρία πεδίου, αλλά απαιτεί αυτοσυγκράτηση. Η εργασία δεν πρέπει να υπερασπίζεται το έργο. Πρέπει να το αναλύει με τεκμήρια, παρατηρήσεις και σαφή συμπεράσματα.

4.8 Σύνοψη κεφαλαίου

Η μεθοδολογία αυτή λειτούργησε λιγότερο ως τυπική ενότητα και περισσότερο ως φίλτρο, καθώς όρισε ποια στοιχεία του έργου άξιζε να μπουν στο κύριο σώμα και ποια, αν και τεχνικά σωστά, δεν οδηγούσαν σε συμπέρασμα διοίκησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΡΓΟΥ

5.1 Η/Μ συστήματα σε ανακατασκευή ψηλού κτιρίου

5.1.1 Οργάνωση ομάδας/ρόλοι και καθημερινός συντονισμός στο εργοτάξιο

Στα Η/Μ, η οργάνωση δεν στηρίχθηκε μόνο στην τυπική ιεραρχία του έργου. Χρειάστηκε καθημερινός συντονισμός μεταξύ διοίκησης έργου, επιβλέψεων, μελετητών, εργοταξιακών ομάδων και υπεργολάβων. Τα ζητήματα εμφανίζονταν ως συνδυασμός χώρου, αλληλουχίας εργασιών, προσβάσεων, προσωρινών λύσεων και τελικής λειτουργίας. Μία απόφαση για ένα δίκτυο μπορούσε να επηρεάσει αρχιτεκτονικά τελειώματα, στατικές ενισχύσεις, όψεις, κεντρικό σύστημα διαχείρισης κτιρίου (BMS), πυρασφάλεια ή λειτουργική επαλήθευση συστημάτων (commissioning).

Η ανάγκη διατήρησης ευελιξίας για τη μελλοντική εμπορική εκμετάλλευση του κτιρίου επηρέασε επίσης τον Η/Μ σχεδιασμό. Στον τυπικό όροφο γραφείων, τα δίκτυα κλιματισμού και αερισμού οργανώθηκαν με τρόπο που επέτρεπε τον λειτουργικό διαχωρισμό ενός ορόφου σε δύο ανεξάρτητες μισθωτικές ενότητες. Η επιλογή αυτή ήταν τεχνική και ταυτόχρονα διαχειριστική, επειδή αύξανε την προσαρμοστικότητα του ακινήτου σε μελλοντικές μισθωτικές ανάγκες χωρίς εκτεταμένες επεμβάσεις στον βασικό κορμό των Η/Μ εγκαταστάσεων.

5.1.2 Συνδέσεις με αρχιτεκτονικά, στατικά, όψεις και κρίσιμες ζώνες

Τα σημαντικότερα σημεία τεχνικής επαφής εντοπίστηκαν στις κατακόρυφες οδεύσεις, στα μηχανοστάσια και ηλεκτροστάσια, στους Η/Μ χώρους του Β' υπογείου και του μεσώροφου, στις ψευδοροφές και στις ζώνες σύνδεσης με την όψη. Επειδή το έργο αφορούσε υφιστάμενο κτίριο με περιορισμούς που δεν είχαν σχεδιαστεί εξ αρχής για τις σημερινές απαιτήσεις, οι διαθέσιμοι χώροι των κατακόρυφων φρεατίων έπρεπε να

εξυπηρετήσουν μεγαλύτερο όγκο και περισσότερα είδη δικτύων από ό,τι συνήθως σε νέο κτίριο. Η χωρική πειθαρχία έγινε έτσι παράμετρος διοίκησης και όχι απλώς γεωμετρικό ζήτημα.

Χαρακτηριστική ήταν η ανάγκη βελτιστοποίησης των κατακόρυφων διανομών με συμπαγείς λύσεις, όπως η επιλογή ροηφόρων αγωγών (bus ducts) αντί των συμβατικών καλωδίων, και με αυστηρή οργάνωση ισχυρών και ασθενών ρευμάτων. Στις ψευδοροφές, κλιματισμός, αερισμός, πυρόσβεση, φωτισμός και καλωδιώσεις έπρεπε να χωρέσουν χωρίς να θυσιαστούν καθαρά ύψη ή πρόσβαση συντήρησης. Το BIM και το Revit χρησιμοποιήθηκαν για να δοκιμαστούν προτεραιότητες ανά ζώνη, όχι απλώς για να εντοπιστούν συγκρούσεις.

Ειδική περίπτωση αυτής της αλληλεξάρτησης ήταν ο φωτισμός ανάδειξης της όψης μέσω συστήματος DMX. Παρότι γίνεται αντιληπτός κυρίως ως αρχιτεκτονικό ή επικοινωνιακό χαρακτηριστικό, στην κατασκευή λειτούργησε ως H/M ζήτημα πρώιμου συντονισμού. Οι οδεύσεις, οι καλωδιώσεις, οι τροφοδοσίες, οι παροχές UPS όπου απαιτούνταν, οι δικτυακοί διακόπτες (switches), τα σημεία ελέγχου και οι διασυνδέσεις με αυτοματισμούς και ασθενή ρεύματα έπρεπε να προβλεφθούν πριν οριστικοποιηθούν πολλές εσωτερικές διαρρυθμίσεις. Το παράδειγμα δείχνει ότι σε κτίρια υψηλών απαιτήσεων ένα φαινομενικά αισθητικό σύστημα μπορεί να επηρεάσει τη σειρά εργασιών, τον συντονισμό με την όψη, τις ηλεκτρολογικές υποδομές και τα μελλοντικές εσωτερικές διαμορφώσεις μισθωτών (fit-out).

5.1.3 Διαχείριση αλλαγών και τεχνικές αποφάσεις πεδίου

Οι αλλαγές στο έργο αντιμετωπίστηκαν ως καθημερινή διαδικασία προσαρμογής στις πραγματικές συνθήκες του πεδίου. Σε ανακατασκευή τέτοιας κλίμακας, πολλές αποφάσεις δεν μπορούσαν να ληφθούν μόνο με βάση την αρχική μελέτη, επειδή σημαντικά δεδομένα επιβεβαιώνονταν κατά την εκτέλεση. Για να μην καταλήγει κάθε αλλαγή σε καθυστέρηση, απαιτούνταν καταγραφή, τεχνική αξιολόγηση, έγκριση και ενσωμάτωση στη σωστή έκδοση σχεδίων και παραδοτέων.

Η ανάγκη πρόβλεψης διαφορετικών σεναρίων χρήσης και μίσθωσης αποτελεί ενδεικτικό παράδειγμα αυτής της λογικής. Σε περιβάλλον πολλών μισθωτών, ο υπερβολικά στενός σχεδιασμός μπορεί να παράγει βραχυπρόθεσμη οικονομία αλλά μακροπρόθεσμη ακαμψία. Επομένως, αποφάσεις για Η/Μ υποδομές, κατακόρυφες διανομές και εξοπλισμούς αξιολογήθηκαν και με κριτήριο την προσαρμοστικότητα του βασικού κτιρίου σε μεταγενέστερες απαιτήσεις.

5.1.4 Διδάγματα από την πλευρά των Η/Μ

Από την πλευρά των Η/Μ, το βασικό δίδαγμα είναι ότι σε έργα ανακατασκευής ψηλών κτιρίων ο σχεδιασμός πρέπει να αντιμετωπίζει το κτίριο ως δυναμικό σύστημα με μελλοντικές μεταβολές χρήσης, μίσθωσης και λειτουργίας, πέρα από την τοποθέτηση εξοπλισμού. Η τεχνική λύση κρίνεται επιτυχής όταν ισορροπεί ανάμεσα στην άμεση κατασκευασιμότητα, στην επιχειρησιακή ευελιξία του ακινήτου και στη δυνατότητα συντήρησης σε βάθος χρόνου.

Δεύτερο δίδαγμα αφορά την ψηφιακή ωριμότητα της αγοράς. Παρά τη χρήση προηγμένων εργαλείων, δεν είχαν όλοι οι εμπλεκόμενοι την ίδια εξοικείωση με διαδικασίες βασισμένες στο BIM και στο CDE. Αυτό αύξησε την ανάγκη για επεξηγήσεις, επανελέγχους και πειθαρχία στην τήρηση κανόνων ονοματοδοσίας, αναθεωρήσεων και κοινοποίησης. Η αποτελεσματική χρήση του εργαλείου απαιτεί κοινή κατανόηση του τρόπου με τον οποίο παράγεται, ελέγχεται και χρησιμοποιείται η πληροφορία.

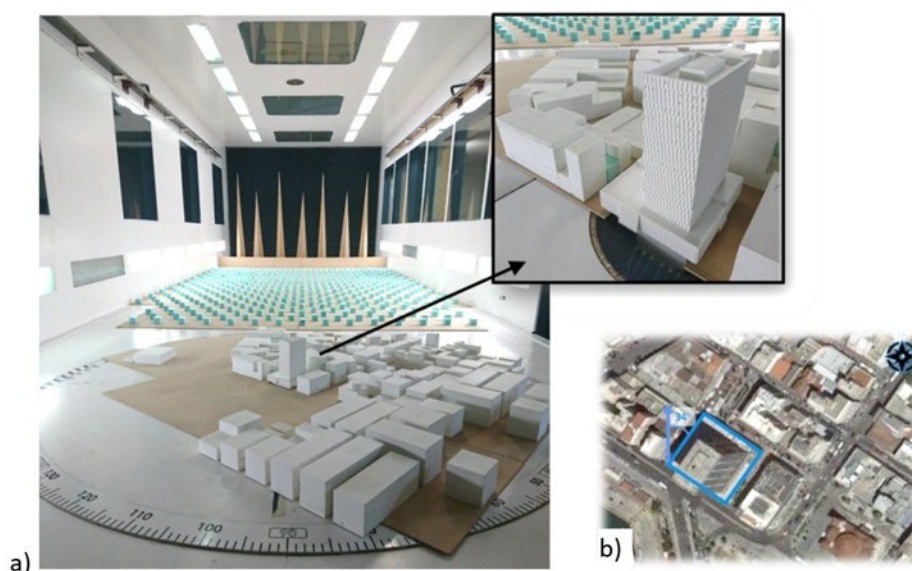
5.2 Κατασκευή και τεχνικοί κίνδυνοι

5.2.1 Τεχνικές αβεβαιότητες υφιστάμενου κτιρίου και διερεύνηση

Η τεχνική αβεβαιότητα του υφιστάμενου κτιρίου ήταν θεμελιώδες χαρακτηριστικό του έργου. Η πολυετής αδράνεια, οι μεταβολές κανονισμών και οι σύγχρονες απαιτήσεις για ασφάλεια, ενέργεια και λειτουργικότητα σήμαιναν ότι η αρχική γεωμετρία και οι

διαθέσιμες υποδομές έπρεπε να επανεκτιμηθούν ως προς την επάρκεια και τη δυνατότητα ενσωμάτωσης νέων συστημάτων. Η διερεύνηση, επομένως, λειτούργησε ως διαδικασία που συνέχισε να τροφοδοτεί αποφάσεις κατά την υλοποίηση.

Η αεροδυναμική μελέτη σε αεροσήραγγα πριν από την οριστικοποίηση παραδοχών για το κέλυφος και τα φορτία ανέμου δείχνει ότι η αβεβαιότητα αφορούσε και το εξωτερικό περιβάλλον του κτιρίου. Η διερεύνηση του ανέμου, σε συνδυασμό με τη μοντελοποίηση της ευρύτερης περιοχής, περιόρισε τον κίνδυνο για το κέλυφος και τεκμηρίωσε τεχνικά τις επιλογές σχεδιασμού. Η Εικόνα 5.1 δείχνει το μοντέλο της αεροσήραγγας και βοηθά να γίνει κατανοητή η κλίμακα της δοκιμής.



Εικόνα 5.1: α) Φωτογραφική απεικόνιση του εσωτερικού του θαλάμου δοκιμών 2 της αεροσήραγγας του ΕΜΠ, με το δοκιμαστικό πρόπλασμα του κτιρίου του Πύργου του Πειραιά και τα κτίρια της γύρω περιοχής. Ο προσανατολισμός που παρουσιάζεται αντιστοιχεί σε βόρειο άνεμο, με τη διεύθυνση ροής προς την κάμερα. β) Δορυφορική απεικόνιση του πραγματικού κτιρίου και του αντίστοιχου προσανατολισμού του. Πηγή: National Technical University of Athens (2021).

Η ειδική αεροδυναμική μελέτη βασίστηκε σε μετρήσεις ανεμοπιέσεων σε πρόπλασμα κλίμακας 1:350, με ανάπτυξη μοντέλου της ευρύτερης περιοχής και τοποθέτηση 332 αισθητήρων πίεσης στην επιφάνεια του κτιρίου, για οκτώ διαφορετικές διευθύνσεις ανέμου (National Technical University of Athens, 2021). Για την παρούσα εργασία, το στοιχείο αυτό έχει διαχειριστική σημασία, επειδή δείχνει πώς ένας εξωτερικός τεχνικός

κίνδυνος, δηλαδή η ανεμοπίεση στο κέλυφος ψηλού κτιρίου, μετατράπηκε σε ελεγχόμενο δεδομένο σχεδιασμού και συντονισμού.

5.2.2 Κατασκευασιμότητα και επίλυση συγκρούσεων στο πεδίο

Η κατασκευασιμότητα στον Πύργο συνδέθηκε με την ικανότητα μετατροπής της θεωρητικής λύσης σε εφαρμόσιμη ακολουθία εγκατάστασης μέσα σε περιβάλλον περιορισμένου χώρου. Σε πολλές περιπτώσεις, το ερώτημα αφορούσε τη χωρική επάρκεια ενός δικτύου και τη δυνατότητα εγκατάστασης, επιθεώρησης, δοκιμής και συντήρησής του χωρίς να θυσιάζεται η λειτουργία γειτονικών συστημάτων.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα συγκρούσεων προέκυψαν στις ψευδοροφές, όπου δίκτυα κλιματισμού, αερισμού, πυρόσβεσης, σχαρών, ισχυρών και ασθενών ρευμάτων έπρεπε να συμβιβαστούν με το απαιτούμενο καθαρό ύψος και τις αρχιτεκτονικές προδιαγραφές. Η επίλυση τέτοιων ζητημάτων έγινε μέσα από επαναληπτικό συντονισμό μοντέλου και πεδίου, ώστε να αποφεύγονται επαναληπτικές εργασίες και να προστατεύεται η συνέχεια του προγράμματος.

5.2.3 Ποιότητα κατασκευής, έλεγχοι, δοκιμές και τεκμηρίωση

Η ποιότητα στο έργο δεν αντιμετωπίστηκε ως τελικός έλεγχος αποδοχής. Οργανώθηκε ως ακολουθία ενδιάμεσων επιβεβαιώσεων, οι οποίες συνδέονταν με την ετοιμότητα παράδοσης των επόμενων σταδίων. Αυτό είχε βαρύτητα κυρίως σε συστήματα όπου η απόκλιση από τη μελέτη δεν μπορούσε να διορθωθεί εύκολα μετά το κλείσιμο των χώρων, όπως σε κατακόρυφα φρεάτια, πίσω από επενδύσεις, σε ψευδοροφές και σε περιοχές πυροπροστασίας ή αεροστεγανότητας.

Η ίδια λογική επεκτεινόταν και σε υποδομές που αφορούσαν την κατασκευαστική ολοκλήρωση και τη λειτουργική ζωή του κτιρίου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η μονάδα συντήρησης όψεων (Building Maintenance Unit – BMU) στο δώμα. Η πρόβλεψη της περιμετρικής κίνησης του BMU για τη συντήρηση των όψεων

αναφέρεται ρητά στην αρχιτεκτονική τεκμηρίωση του έργου, μαζί με τις υπαίθριες Η/Μ εγκαταστάσεις του δώματος και τις λοιπές τεχνικές διατάξεις της ανώτερης στάθμης του κτιρίου. Παράλληλα, η τεχνική περιγραφή των Η/Μ εγκαταστάσεων θέτει ως βασική αρχή τη μεγάλη διάρκεια ζωής, την αξιοπιστία λειτουργίας και την ευχερή συντήρηση των εγκαταστάσεων, στοιχεία που δείχνουν ότι η ποιότητα συνδέεται με τη δυνατότητα ασφαλούς και αποδοτικής λειτουργίας του κτιρίου στον χρόνο.

Η Εικόνα 5.2 αποτυπώνει τη μονάδα συντήρησης όψεων στο δώμα του Πύργου Πειραιά. Η εικόνα χρησιμοποιείται ως ένδειξη της μετάβασης από την κατασκευαστική ποιότητα στη λειτουργική ποιότητα. Σε ένα ψηλό κτίριο με εκτεταμένο υαλοπέτασμα, η δυνατότητα ασφαλούς πρόσβασης στις όψεις αποτελεί προϋπόθεση για τον καθαρισμό, την επιθεώρηση, τη συντήρηση και την αντιμετώπιση πιθανών αστοχιών μετά την παράδοση.



Εικόνα 5.2: Μονάδα συντήρησης όψεων (BMU) στο δώμα του Πύργου Πειραιά, Πηγή: Φωτογραφικό αρχείο έργου / ιδία λήψη [2025].

Επομένως, η ποιότητα κατασκευής αξιολογείται από την ορθή τοποθέτηση των υλικών, τη συμμόρφωση με τις προδιαγραφές και την ικανότητα των τεχνικών λύσεων να επιτρέπουν στο κτίριο να λειτουργεί, να ελέγχεται και να συντηρείται με ασφάλεια.

Στην περίπτωση του Πύργου Πειραιά, το BMU αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα υποδομής που συνδέει τον σχεδιασμό, την κατασκευή και τη μελλοντική διαχείριση του κτιριακού περιουσιακού στοιχείου.

5.2.4 Επιπτώσεις σε κόστος, χρόνο και μηχανισμοί ελέγχου

Σε έργα αυτής της κλίμακας, ο συσχετισμός τεχνικού κινδύνου με χρόνο και κόστος είναι άμεσος και συχνά μη γραμμικός. Μία τοπική δυσλειτουργία σε σημαντικό προμηθευτή ή σε σύστημα μεγάλης σημασίας μπορεί να επηρεάσει αλυσιδωτά το πρόγραμμα και να αυξήσει τον συνολικό κίνδυνο του έργου. Η εμπειρία από την ανάθεση των προσόψεων έδειξε ότι η χρηματοοικονομική ανθεκτικότητα του αναδόχου αποτελεί τεχνικοδιαχειριστική μεταβλητή, επειδή πιθανή αστοχία βασικού συνεργάτη θα μπορούσε να παγώσει το έργο σε ευαίσθητο στάδιο.

Το περιστατικό που οδήγησε σε ανάγκη έκτακτης υποστήριξης του αναδόχου όψεων δείχνει ότι σε έργα με ασφυκτικές προθεσμίες ο σχεδιασμός επιχειρησιακής συνέχειας δεν είναι πολυτέλεια. Εναλλακτικά σενάρια, παρακολούθηση κρίσιμων προμηθευτών και ταχεία απόκριση προστατεύουν χρόνο και κόστος. Ο Πίνακας 5.1 οργανώνει τα ευρήματα αυτά σε μήτρα κινδύνων, ώστε να φανεί η σύνδεση κάθε τεχνικού ζητήματος με συγκεκριμένη διαχειριστική συνέπεια.

Πίνακας 5.1: Μήτρα τεχνικών και διαχειριστικών κινδύνων του έργου. Πηγή: ιδία επεξεργασία βάσει βιβλιογραφίας και τεκμηρίων έργου.

Κατηγορία κινδύνου	Ενδεικτική εκδήλωση στο έργο	Πιθανή επίπτωση	Μηχανισμός αντιμετώπισης / μετριασμού
Υφιστάμενο κέλυφος / τελική αποτύπωση «ως κατασκευάστηκε» αβεβαιότητες	Αποκλίσεις γεωμετρίας, μη πλήρης γνώση υφιστάμενων συνθηκών, ανάγκη επαληθεύσεων πεδίου	Ανασχεδιασμός, καθυστερήσεις, τοπικές επαναληπτικές εργασίες, αύξηση κόστους	Αποτυπώσεις, διερευνητικές τομές, ψηφιακή μοντελοποίηση κτιριακής πληροφορίας (BIM), επαλήθευση και διαχείριση αλλαγών με τεκμηριωμένη αξιολόγηση επιπτώσεων
Συμφόρηση δικτύων σε κατακόρυφα φρεάτια /	Σύγκρουση δικτύων κλιματισμού και αερισμού με δίκτυα πυρόσβεσης, ισχυρών	Μείωση καθαρού ύψους, ασυντηρησιμότητα,	Συντονισμός μέσω ψηφιακής μοντελοποίησης κτιριακής πληροφορίας

μηχανοστάσια / ψευδοροφές	και ασθενών ρευμάτων σε περιορισμένο χώρο	καθυστερήση κλεισίματος	(BIM), ιεράρχηση προτεραιοτήτων, επαναληπτικός έλεγχος κατασκευασιμότητας
Όρια βασικού κτιρίου – εσωτερικής διαμόρφωσης μισθωτή	Ασάφεια ευθυνών σε παροχές, μετρησιμότητα, κεντρικό σύστημα διαχείρισης κτιρίου, αερισμούς και τελικές συνδέσεις	Καθυστερήσεις στις εργασίες εσωτερικής διαμόρφωσης των μισθωτών, ασυμβατότητες, συμβατικές τριβές	Οδηγίες προς μισθωτές, σαφής μήτρα τεχνικών διασυνδέσεων, έγκαιρη επιβεβαίωση συνθηκών ορίων
Αλυσίδα προμηθειών / κρίσιμα υλικά και εξοπλισμός μακράς προμήθειας	Καθυστερήσεις εξοπλισμού, ειδικά σε κρίσιμα H/M ή σε στοιχεία κελύφους	Μετατόπιση οροσήμεων, διατάραξη της φασικής υλοποίησης, πίεση στη λειτουργική επαλήθευση συστημάτων	Μητρώο τεχνικών υποβολών, επίσπευση προμηθειών, παρακολούθηση κρίσιμων προμηθευτών, εναλλακτικά σενάρια
Χρηματοοικονομική ανθεκτικότητα βασικού προμηθευτή	Κίνδυνος επιχειρησιακής ασυνέχειας σε ανάδοχο υψηλής κρισιμότητας, όπως στην όψη	Άμεση απειλή για χρονοδιάγραμμα και ολοκλήρωση κρίσιμου αντικειμένου	Έγκαιρη παρακολούθηση, σχέδιο διαχείρισης κινδύνου, δυνατότητα ενεργοποίησης εφεδρικών λύσεων
LEED / WELL συμμόρφωση και τεκμηρίωση	Ανεπαρκής συλλογή περιβαλλοντικών δηλώσεων προϊόντων (EPD – Environmental Product Declarations), δηλώσεων προϊόντων υγείας (HPD – Health Product Declarations), δηλώσεων χαμηλών εκπομπών πτητικών οργανικών ενώσεων (VOC – Volatile Organic Compounds), φωτογραφικών τεκμηρίων ή στοιχείων παρακολούθησης αποβλήτων	Απώλεια πιστωτικών μονάδων, διοικητικές επαναληπτικές εργασίες, αδυναμία τεκμηρίωσης συμμόρφωσης	Παρακολούθηση υλικών, σαφείς ευθύνες ανά εργολαβία, ενσωμάτωση απαιτήσεων στις υποβολές

5.3 BIM, CDE και συντονισμός μοντέλων

5.3.1 Στόχοι χρήσης BIM

Στην περίπτωση του Πύργου του Πειραιά, η χρήση της ψηφιακής μοντελοποίησης κτιριακής πληροφορίας (Building Information Modeling – BIM) είχε σαφή εργοταξιακή διάσταση. Η τρισδιάστατη αποτύπωση βοήθησε την ομάδα του έργου να διαπιστώνει εγκαίρως αν τα προβλεπόμενα δίκτυα χωρούσαν πραγματικά στις διαθέσιμες ζώνες διέλευσης, ιδίως σε χώρους με μικρό καθαρό ύψος, υψηλή συγκέντρωση Η/Μ εγκαταστάσεων ή αυξημένες απαιτήσεις πρόσβασης για συντήρηση. Έτσι, ο ψηφιακός έλεγχος προηγούνταν της φυσικής κατασκευής και περιόριζε τις παρεμβάσεις πεδίου τελευταίας στιγμής.

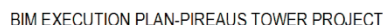
Επιπλέον, το BIM υποστήριξε τον προληπτικό εντοπισμό ειδικών τεμαχίων ή σύνθετων διαμορφώσεων δικτύων που θα μπορούσαν να εξελιχθούν σε στοιχεία με μεγάλο χρόνο προμήθειας. Η πληροφορία αυτή είχε διαχειριστική σημασία, διότι επέτρεπε την έγκαιρη κινητοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας και τη σύνδεση των τεχνικών αποφάσεων με τον προγραμματισμό των παραγγελιών και της εγκατάστασης.

Στο έργο, το BIM χρησιμοποιήθηκε κυρίως ως εργαλείο συντονισμού και χωρικής επίλυσης. Η αξία του βρισκόταν στη δυνατότητα εντοπισμού σημείων συμφόρησης, ασυμβατοτήτων και ειδικών απαιτήσεων πριν μεταφερθούν στο εργοτάξιο. Αυτό είχε ιδιαίτερη σημασία σε περιοχές με περιορισμένα ύψη, φρεάτια, μηχανοστάσια, ψευδοροφές και ζώνες επαφής με την όψη.

Παράλληλα, το BIM λειτούργησε ως ψηφιακό υπόβαθρο παρακολούθησης της ωρίμανσης της κατασκευής. Η ενημέρωση των μοντέλων και η οργανωμένη χρήση τους στις συναντήσεις συντονισμού βοηθούσαν ώστε οι ανοικτές τεχνικές εκκρεμότητες να γίνονται ορατά ζητήματα προς απόφαση, έλεγχο και κλείσιμο.

Το σχέδιο εφαρμογής BIM (BIM Execution Plan – BEP) προέβλεπε αξιοποίηση του μοντέλου για χωρικό συντονισμό και για συστηματικότερη σύνδεση της γεωμετρικής πληροφορίας με κατασκευαστικά και επιμετρητικά δεδομένα. Στην Εικόνα 5.3, στοιχεία του μοντέλου συνδέονται με αρχείο ποσοτήτων (Bill of Materials – BoM) μέσω αναγνωριστικών, ώστε ένα μέγεθος του πίνακα ποσοτήτων να εντοπίζεται στο

Η λειτουργία αυτή δείχνει ότι η χρήση του BIM μπορούσε να υπερβεί την απλή τρισδιάστατη απεικόνιση και να υποστηρίξει πιο ελεγχόμενες διαδικασίες επιμέτρησης, ελέγχου και τεχνικής τεκμηρίωσης. Ωστόσο, η συγκεκριμένη εικόνα τεκμηριώνει σύνδεση μοντέλου με ποσοτικά δεδομένα και όχι πλήρη εφαρμογή 4D αλληλουχίας ή 5D κοστολόγησης. Για τον λόγο αυτό, αξιοποιείται εδώ ως ένδειξη σύνδεσης BIM και επιμετρητικής πληροφορίας, χωρίς να αποδίδεται στο έργο επίπεδο εφαρμογής που δεν προκύπτει άμεσα από το συγκεκριμένο τεκμήριο.



- Clarification or additional information needed (see also comment) (?)

														I		J		K		L		M		N		O		P		Q	
														Data		Data		Metric													
														-61.83%		-1441.536763															
														-47.34%		-6053.750002		YES		YES											
														1980.08%		360.8529378		2.66%		36.52526278		YES									
																		NOT RYMCCEL		-47.34%											
																		?		-61.83%											
																		?		-4.80%											
																		?		1980.08%											
																		?		[Blank]											
																				</											

Fig.05: Example of detailed quantity take off.

[illegible]

Fig.06: Example of detailed quantity take off- Linked elements.

74

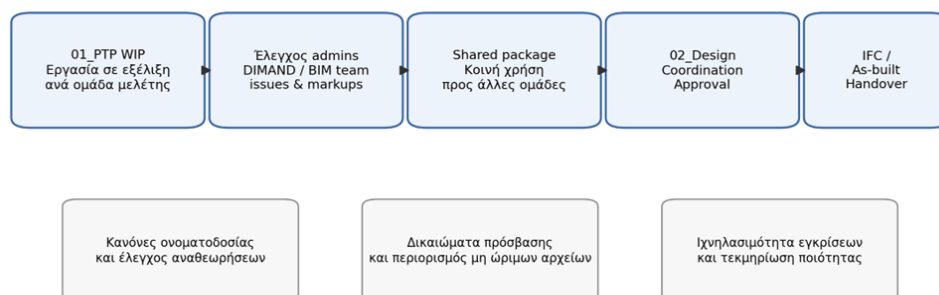
5.3.2 CDE, παραδοτέα και αναθεωρήσεις

Η ψηφιακή συνεργασία στηρίχθηκε σε λογική κοινόχρηστου περιβάλλοντος δεδομένων, με σαφή δομή φακέλων, δικαιώματα πρόσβασης, κανόνες ονοματοδοσίας και έλεγχο αναθεωρήσεων. Η πειθαρχία στην ονοματοδοσία και στην έκδοση παραδοτέων αποτελούσε προϋπόθεση ιχνηλασιμότητας. Σε έργο με πολλούς μελετητές, επιβλέψεις και αναδόχους, η έλλειψη σταθερών κανόνων θα οδηγούσε σε αβεβαιότητα ως προς το ποια έκδοση ισχύει, ποιο αρχείο είναι εγκεκριμένο και ποιο αποτελεί υπό επεξεργασία υλικό.

Η χρήση συγκεκριμένων καταστάσεων ωρίμανσης και η διάκριση μεταξύ αρχείων σε επεξεργασία, αρχείων σε κοινή χρήση και εγκεκριμένων παραδοτέων βοήθησε να αποφεύγεται η πρόωρη χρήση μη ώριμων αρχείων από άλλες ομάδες. Έτσι, η διαχείριση αναθεωρήσεων απέκτησε χαρακτήρα ελέγχου κινδύνου, επειδή περιόριζε την πιθανότητα να βασιστούν ουσιώδεις εργασίες σε παρωχημένα δεδομένα.

Η διαγραμματική αποτύπωση της ροής BIM 360 δείχνει ότι το κοινό περιβάλλον δεδομένων λειτουργούσε ως ελεγχόμενος μηχανισμός μετάβασης από την εργασία σε εξέλιξη προς την κοινή χρήση, τον συντονισμό, την έγκριση και την τελική τεκμηρίωση (BIM Center, 2021; International Organization for Standardization, 2018a, 2018b). Η ροή αυτή παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.1.

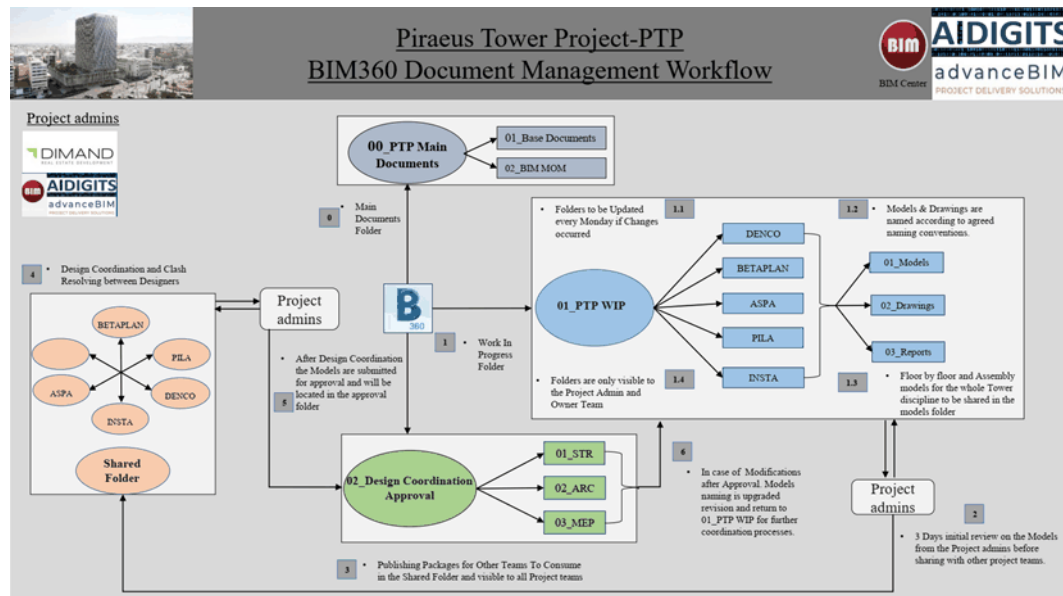
Ροή διαχείρισης μοντέλων και παραδοτέων σε κοινό περιβάλλον δεδομένων (CDE)



Προσαρμογή από τη ροή BIM 360 του έργου Πύργος Πειραιά.

Σχήμα 5.1: Ροή διαχείρισης μοντέλων και παραδοτέων σε κοινό περιβάλλον δεδομένων (CDE) για τον Πύργο του Πειραιά. Πηγή: προσαρμογή από BIM Center, Piraeus Tower Project – BIM 360 Workflow.

Η προσαρμοσμένη ροή του Σχήματος 5.1 συνοδεύεται από το αυθεντικό διάγραμμα του έργου στο Σχήμα 5.2. Το διάγραμμα τεκμηριώνει τη διαδρομή από τους φακέλους εργασίας σε εξέλιξη προς την κοινή χρήση και την έγκριση συντονισμού, με ρόλο ελέγχου από τους project admins και σαφή διαδικασία αναθεωρήσεων.



Σχήμα 5.2: Αυθεντική αποτύπωση της ροής διαχείρισης εγγράφων και μοντέλων στο BIM 360 κατά τη φάση σχεδιασμού του Πύργου του Πειραιά. Πηγή: BIM Center / AIDIGITS, Piraeus Tower Project – BIM360 Workflow.

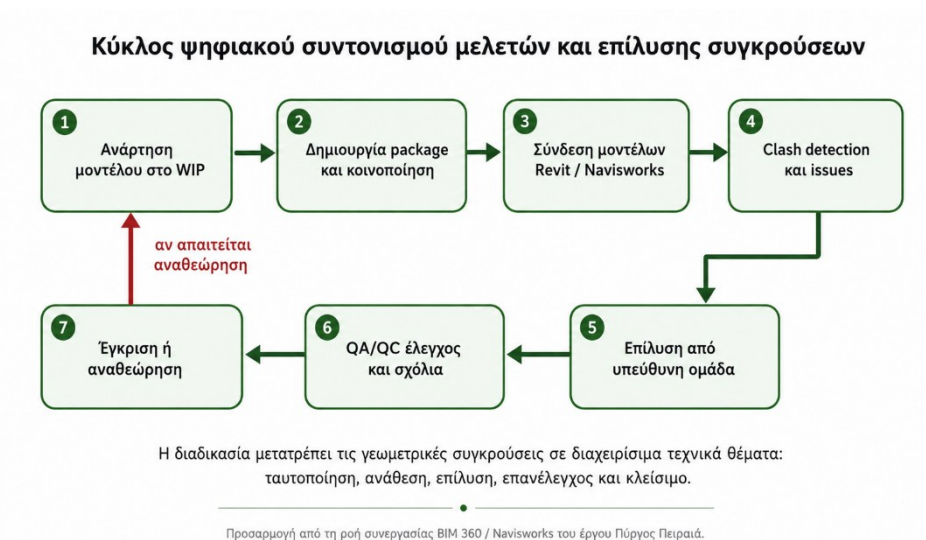
5.3.3 Συγκρούσεις και τεχνικά ζητήματα

Η διαδικασία διαχείρισης συγκρούσεων οργανώθηκε ως επαναλαμβανόμενος κύκλος διαχείρισης τεχνικών θεμάτων. Κάθε σύγκρουση ή ασυμβατότητα έπρεπε να ταυτοποιηθεί, να ανατεθεί στην κατάλληλη ομάδα, να αξιολογηθεί ως προς την προτεραιότητα και την επίπτωσή της, να επιλυθεί στο μοντέλο και, όπου απαιτείτο, να επιβεβαιωθεί και στο πεδίο πριν κλείσει οριστικά. Η λογική αυτή ενίσχυσε τη λογοδοσία και μείωσε την τάση μετάθεσης προβλημάτων σε επόμενες φάσεις (BIM Center, 2021).

Η μέθοδος αυτή είχε μεγαλύτερη αξία σε ζητήματα που επηρέαζαν πολλές ειδικότητες ταυτόχρονα. Μία σύγκρουση σε κατακόρυφο φρεάτιο ή ψευδοροφή αφορούσε τον συντάκτη του εκάστοτε μοντέλου και τις ομάδες που θα εγκαθιστούσαν διαδοχικά δίκτυα, αρχιτεκτονικά τελειώματα και συστήματα ελέγχου. Η οργανωμένη ανάθεση

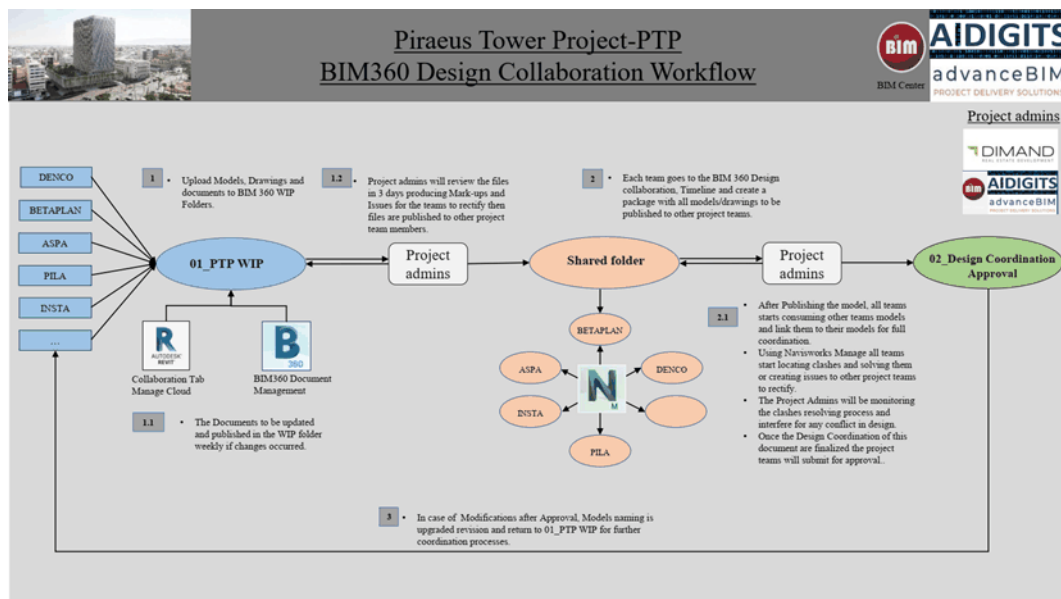
και το σαφές κλείσιμο ζητημάτων μείωσαν την αμφισημία και υποστήριξαν τη διατήρηση του χρονοδιαγράμματος.

Η διαδικασία αυτή μπορεί να αποδοθεί ως κύκλος ψηφιακού συντονισμού, δημοσίευση μοντέλων, σύνδεση, έλεγχος συγκρούσεων, ανάθεση ζητημάτων, τεχνική επίλυση και επανέλεγχος. Το Σχήμα 5.3 δείχνει την πειθαρχία που χρειάζεται για να έχει το μοντέλο διαχειριστική αξία.



Σχήμα 5.3: Κύκλος ψηφιακού συντονισμού μελετών και επίλυσης συγκρούσεων μέσω BIM 360 και Navisworks. Πηγή: προσαρμογή από BIM Center, Piraeus Tower Project – BIM 360 Workflow.

Η αυθεντική ροή συνεργασίας του Σχήματος 5.4 δείχνει ότι η επίλυση συγκρούσεων βασιζόταν σε οργανωμένη διαδικασία δημοσίευσης, κοινής χρήσης, κατανάλωσης μοντέλων και ελέγχου μέσω Navisworks και όχι σε άτυπη ανταλλαγή αρχείων. Το σχήμα μεταφέρει την προηγούμενη ανάλυση στο επίπεδο του πραγματικού παραδοτέου του έργου, όπου αποτυπώνεται η αλληλουχία δημοσίευσης, ελέγχου και επιστροφής των θεμάτων στις αρμόδιες ομάδες (BIM Center, 2021).



Σχήμα 5.4: Ροή συνεργασίας μελετητικών ομάδων και επίλυσης συγκρούσεων μέσω BIM 360 και Navisworks. Πηγή: BIM Center / AIDIGITS, Piraeus Tower Project – BIM360 Workflow.

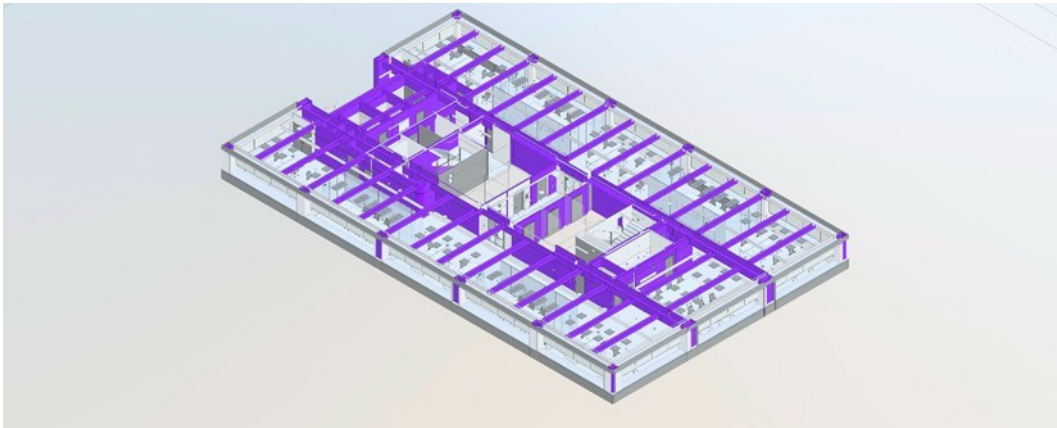
5.4 Η/Μ συγκρούσεις και αποφάσεις σε ζώνες συμφόρησης

Η συμβολή του BIM γίνεται πιο κατανοητή μέσα από τρία επίπεδα ανάλυσης. Το πρώτο είναι το Β' υπόγειο, όπου συγκεντρώνεται μεγάλο μέρος των κύριων Η/Μ υποδομών. Το δεύτερο είναι ο μεσώροφος (mezzanine), ως ενδιαμέση τεχνική ζώνη με υψηλή πυκνότητα δικτύων. Το τρίτο είναι ένας τυπικός όροφος γραφείων, όπου η δυσκολία μεταφέρεται κυρίως στις ψευδοροφές και στις οριζόντιες διανομές. Η επιλογή αυτών των επιπέδων επιτρέπει να εξεταστούν διαφορετικές μορφές συμφόρησης, περιορισμοί χώρου και τύποι τεχνικών αποφάσεων.

Στο Β' υπόγειο, το BIM συνέβαλε στην κατανόηση δύσκολων σημείων υψηλής πυκνότητας δικτύων και στη δοκιμή εναλλακτικών οδεύσεων πριν από την κατασκευή. Ο τρισδιάστατος έλεγχος αξιοποιήθηκε για αποφυγή γεωμετρικών συγκρούσεων, αλλά και για έλεγχο διαθέσιμων υψών, προσβάσεων, συντήρησης και ρεαλιστικής κατασκευαστικής αλληλουχίας (BIM Center, 2021).

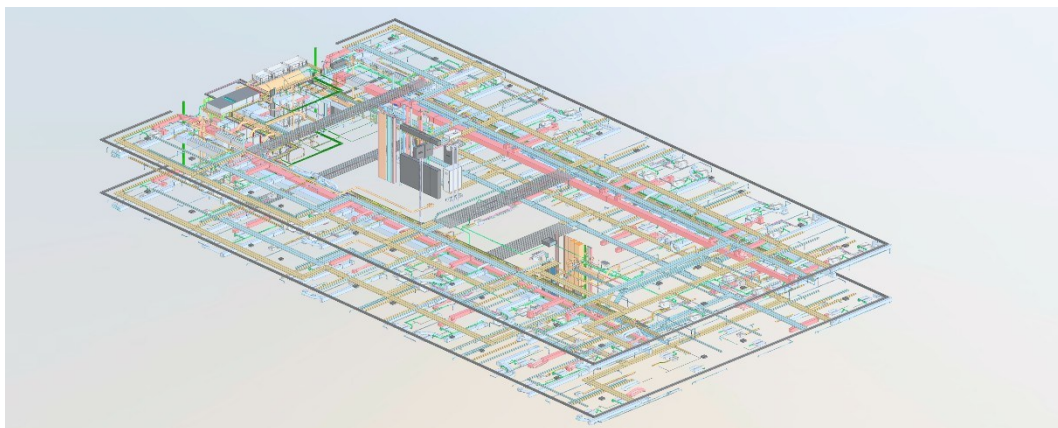
Το Β' υπόγειο χρησιμοποιείται ως πρώτο παράδειγμα επειδή συγκεντρώνει κύριες οδεύσεις, μηχανολογικούς χώρους και εγκαταστάσεις υποστήριξης. Πριν εξεταστούν οι τρισδιάστατες απεικονίσεις, το Σχήμα 5.5 δίνει την κάτοψη προσανατολισμού των περιοχών ελέγχου.

Στον τυπικό όροφο γραφείων, η πρόκληση ήταν διαφορετική. Το βασικό ζήτημα ήταν η συνύπαρξη πολλών δικτύων μέσα σε περιορισμένο χώρο ψευδοροφής. Πριν εξεταστούν οι επιμέρους συγκρούσεις, η Εικόνα 5.4 παρουσιάζει την αρχιτεκτονική τρισδιάστατη απεικόνιση ενός τυπικού ορόφου, ώστε να γίνει αντιληπτό το γενικό χωρικό πλαίσιο μέσα στο οποίο αναπτύσσονται οι εγκαταστάσεις.



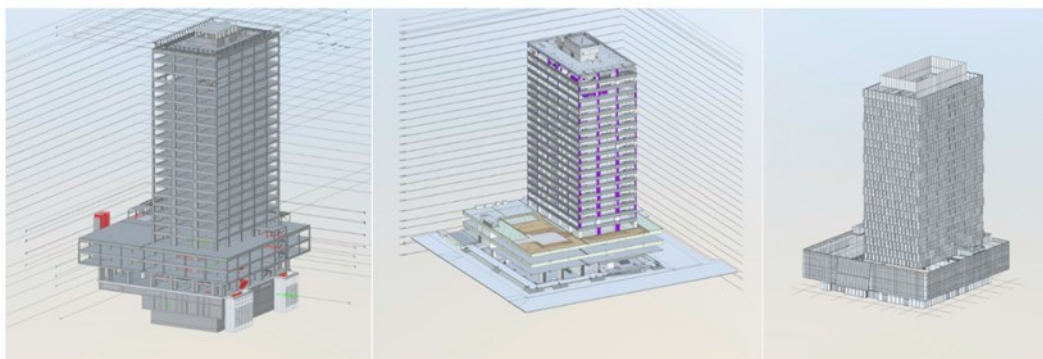
Εικόνα 5.4: Αρχιτεκτονική τρισδιάστατη απεικόνιση τυπικού ορόφου. Πηγή: φωτογραφικό/τεχνικό αρχείο έργου, ιδία επεξεργασία.

Η αντίστοιχη Η/Μ απεικόνιση στην Εικόνα 5.5 παρουσιάζει το ίδιο επίπεδο από την πλευρά των εγκαταστάσεων. Η σύγκριση των δύο εικόνων δείχνει γιατί η αρχιτεκτονική απεικόνιση δεν επαρκεί για την κατανόηση της τεχνικής δυσκολίας. Η πραγματική πρόκληση εμφανίζεται όταν κλιματισμός, αερισμός, πυρόσβεση, ηλεκτρολογικές οδεύσεις και λοιπά δίκτυα πρέπει να χωρέσουν στον ίδιο περιορισμένο χώρο, χωρίς απώλεια τελικών υψών, προσβάσεων και κατασκευασιμότητας.



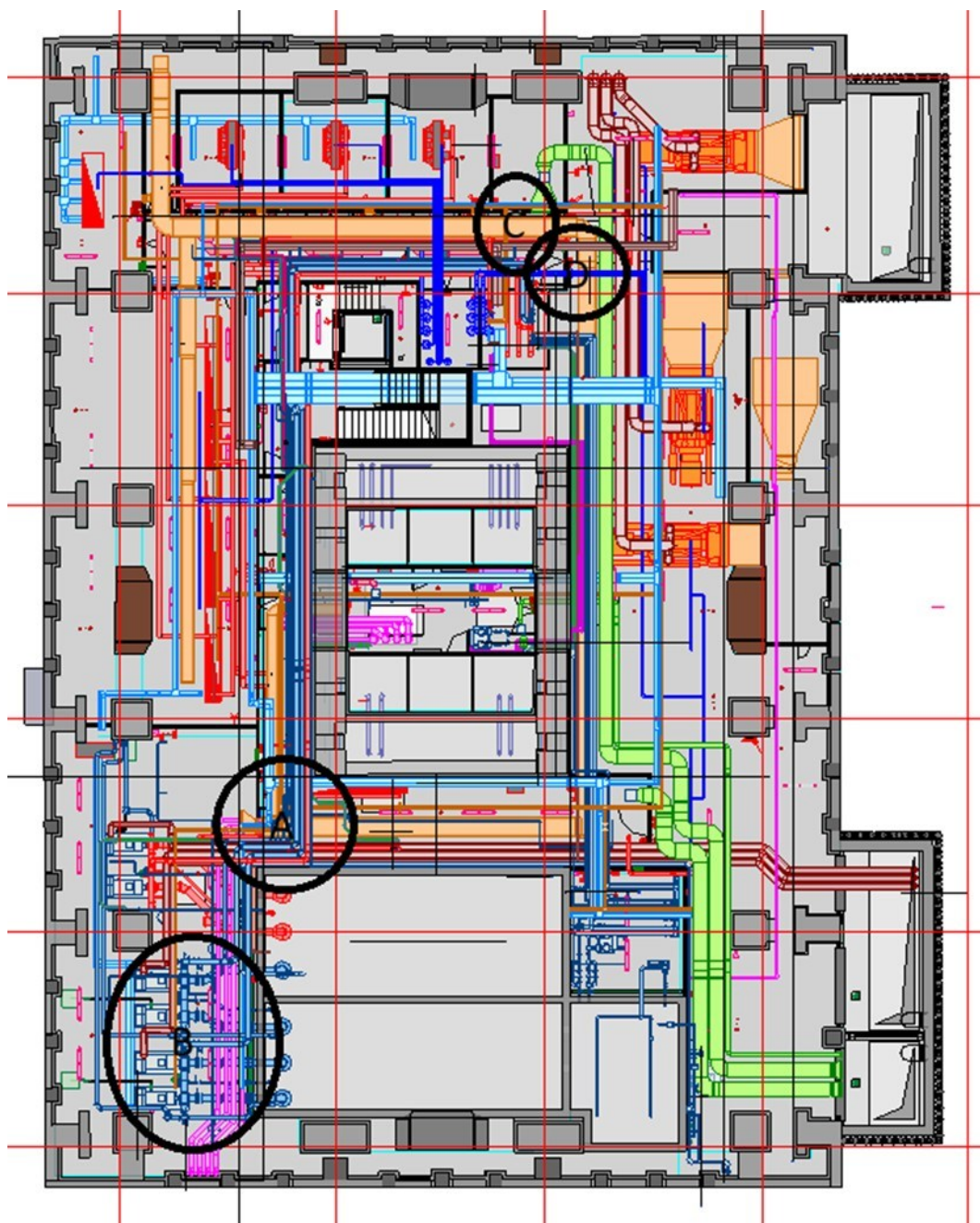
Εικόνα 5.5: Η/Μ τρισδιάστατη απεικόνιση τυπικού ορόφου. Πηγή: τεχνικό αρχείο έργου, ιδία επεξεργασία.

Πριν από την ανάλυση των επιμέρους παραδειγμάτων Η/Μ συντονισμού, παρουσιάζεται συνοπτικά η κατασκευαστική εξέλιξη του Πύργου. Η Εικόνα 5.6 αποτυπώνει τρία βασικά στάδια της κατασκευής, από τον φέροντα οργανισμό και το νέο κέλυφος έως την πιο ώριμη φάση ολοκλήρωσης, ώστε ο αναγνώστης να συνδέσει τα παραδείγματα BIM με την πραγματική αλληλουχία εργασιών.



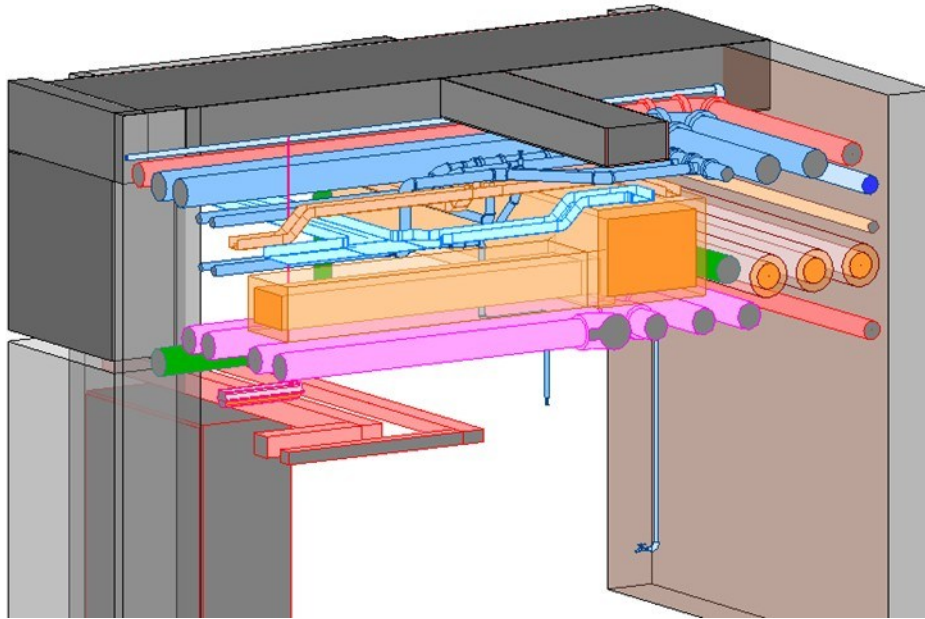
Εικόνα 5.6: Τα τρία κύρια στάδια της κατασκευής του Πύργου. Πηγή: φωτογραφικό/τεχνικό αρχείο έργου, ιδία επεξεργασία.

Η εξέταση ξεκινά από το Β' υπόγειο, όπου η πυκνότητα Η/Μ υποδομών και κατακόρυφων οδεύσεων δημιουργούσε αυξημένο κίνδυνο χωρικών συγκρούσεων. Η δισδιάστατη κάτοψη στο Σχήμα 5.5 δίνει τον βασικό προσανατολισμό του χώρου και προσδιορίζει τα σημεία ελέγχου που εξετάζονται στη συνέχεια. Με τον τρόπο αυτό, η κάτοψη λειτουργεί ως υπόβαθρο για την κατανόηση των βασικών περιοχών συντονισμού.



Σχήμα 5.5: Συντονιστικό διδιάστατο σχέδιο κάτοψης του Β' υπογείου, το οποίο αποτελεί τον κύριο μηχανολογικό χώρο του κτιρίου. Πηγή: τεχνικό αρχείο έργου, ιδία επεξεργασία.

Με βάση την ίδια κάτοψη, το Σχήμα 5.6 παρουσιάζει το σημείο Α σε τρισδιάστατη απεικόνιση. Η απεικόνιση αυτή δείχνει πώς το BIM χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο της συμβατότητας μεταξύ των επιμέρους Η/Μ δικτύων πριν από τη φυσική κατασκευή. Στόχος ήταν ο έγκαιρος εντοπισμός πιθανών συγκρούσεων, περιορισμένων ζωνών διέλευσης και σημείων που θα απαιτούσαν τεχνική απόφαση πριν από την εγκατάσταση.



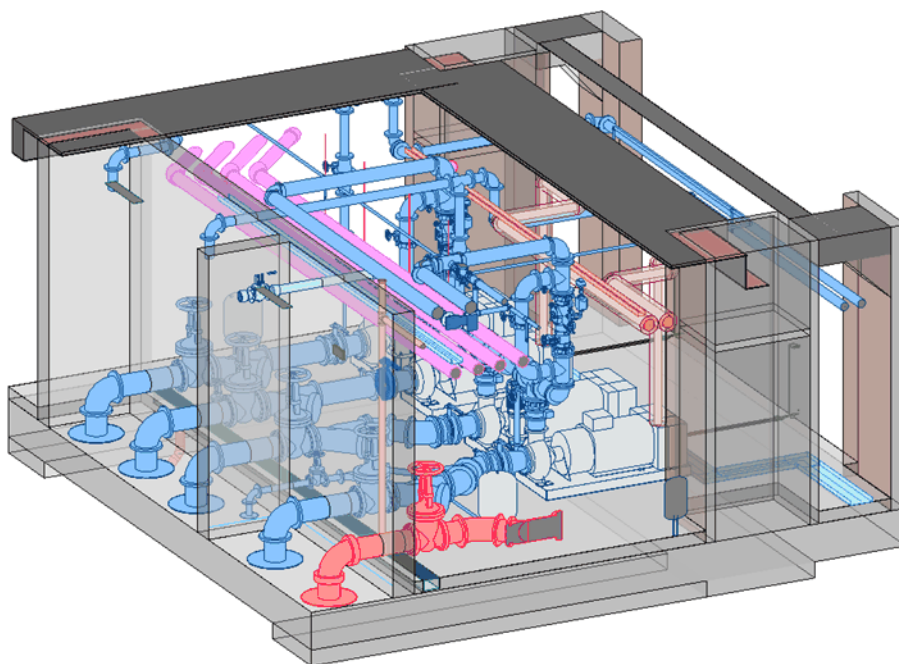
Σχήμα 5.6: Τρισδιάστατη απεικόνιση σημείου Α από την κάτοψη του Β' υπογείου για τον έλεγχο συντονισμού Η/Μ εγκαταστάσεων. Πηγή: τεχνικό αρχείο έργου, ιδία επεξεργασία.

Η Εικόνα 5.7 δείχνει το ίδιο σημείο όπως κατασκευάστηκε. Η αντιπαραβολή με το συντονιστικό μοντέλο επιβεβαιώνει την αυξημένη πυκνότητα δικτύων στο εργοτάξιο και, κυρίως, ότι ο ρόλος του BIM εδώ ήταν να εξασφαλίσει κατασκευασιμότητα και πρόσβαση για συντήρηση, όχι απλώς να αποτυπώσει γεωμετρία.



Εικόνα 5.7: Πραγματική αποτύπωση του σημείου Α στο Β' υπόγειο κατά τη φάση εγκατάστασης των Η/Μ δικτύων. Πηγή: φωτογραφικό αρχείο έργου / ιδία λήψη, ιδία επεξεργασία.

Στο ίδιο επίπεδο εξετάζεται και το σημείο Β, όπως αποτυπώνεται στο Σχήμα 5.7. Η ανάλυση του σημείου αυτού αφορά την αποφυγή χωρικών συγκρούσεων μεταξύ των εγκαταστάσεων και την επαρκή προσβασιμότητα για εγκατάσταση, έλεγχο και μελλοντική συντήρηση. Το σημείο Β αφορά τα πυροσβεστικά συγκροτήματα των δικτύων αυτόματου καταιονισμού και πυροσβεστικών φωλεών, τα οποία αποτελούν κρίσιμες εγκαταστάσεις ασφαλείας και απαιτούν σαφείς ζώνες πρόσβασης και χειρισμού. Η τεχνική δυσκολία περιλάμβανε τη χωροθέτηση των επιμέρους μηχανημάτων και τον συνολικό συντονισμό των δικτύων, των σωληνώσεων, των βανών, των συλλεκτών και των απαιτούμενων διαδρομών συντήρησης.



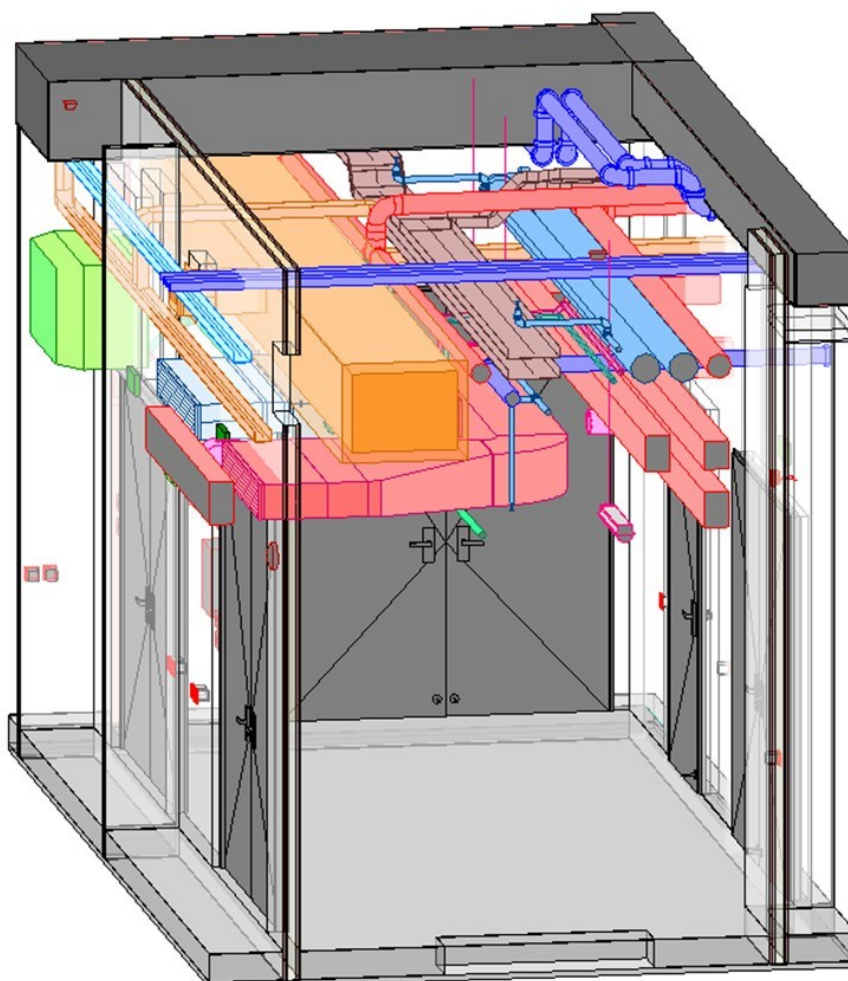
Σχήμα 5.7: Δεύτερη τρισδιάστατη απεικόνιση του σημείου B από την κάτοψη του B' υπογείου, για τον έλεγχο συντονισμού H/M εγκαταστάσεων. Πηγή: τεχνικό αρχείο έργου, ιδία επεξεργασία.

Στην Εικόνα 5.8, η άποψη του αντλιοστασίου πυρόσβεσης αποτυπώνει την πυκνότητα εγκαταστάσεων στα σημεία A και B και την ανάγκη να παραμείνουν προσβάσιμες οι ζώνες χειρισμού και συντήρησης· εδώ ο συντονισμός μέσω BIM συνδέεται άμεσα με την κατασκευασιμότητα και τη λειτουργική παραλαβή κρίσιμων εγκαταστάσεων ασφαλείας.



*Εικόνα 5.8: Πραγματική άποψη από το αντλιοστάσιο πυρόσβεσης του Β' υπογείου (Σημεία Α και Β).
Πηγή: φωτογραφικό/τεχνικό αρχείο έργου, ιδία επεξεργασία.*

Στην περιοχή ελέγχου C του Β' υπογείου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.8, η κύρια δυσκολία ήταν η σωστή οργάνωση πολλών Η/Μ δικτύων στον ίδιο χώρο, περισσότερο από το διαθέσιμο ύψος. Το τρισδιάστατο μοντέλο βοήθησε να ελεγχθεί πού θα περάσει κάθε δίκτυο, πώς θα τοποθετηθούν οι παράλληλες οδεύσεις και πώς θα παραμείνουν προσβάσιμες για μελλοντικό έλεγχο και συντήρηση. Έτσι, ο συντονισμός κάλυπτε την αποφυγή συγκρούσεων και τη δημιουργία μιας πιο καθαρής, λειτουργικής και συντηρήσιμης τελικής εγκατάστασης.



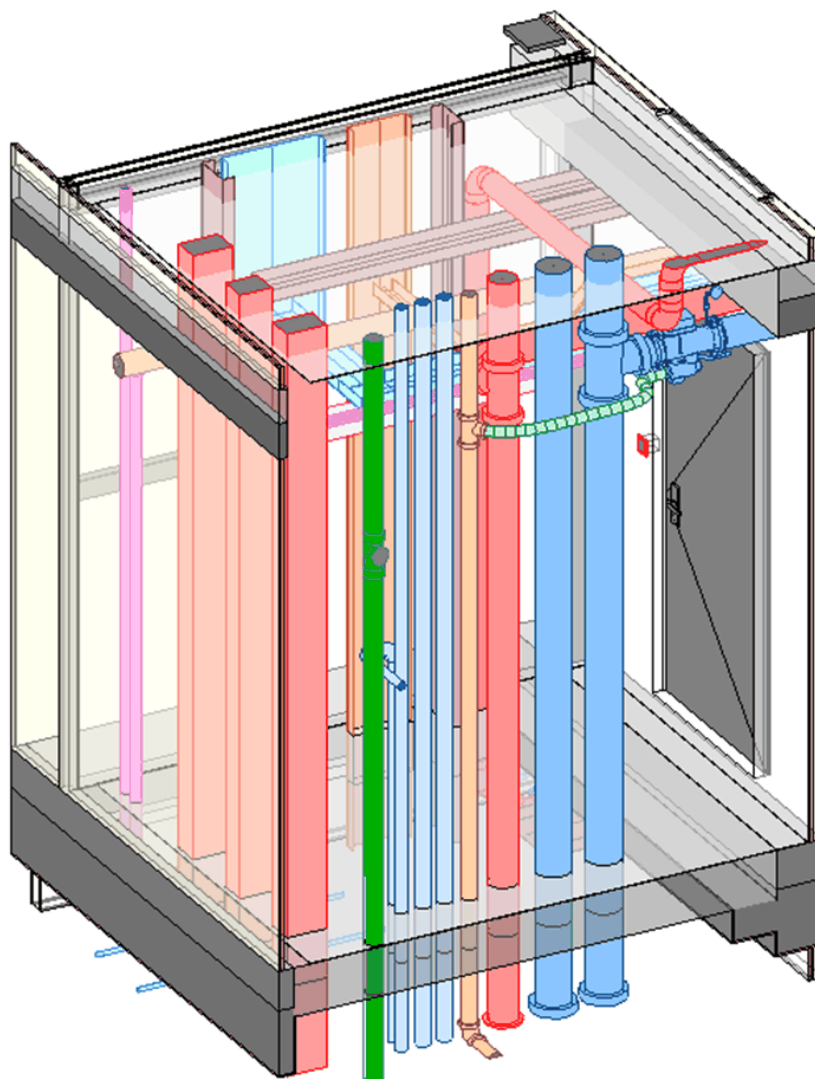
Σχήμα 5.8: Τρισδιάστατη απεικόνιση σημείου C από την κάτοψη του B' υπογείου για τον έλεγχο συντονισμού H/M εγκαταστάσεων. Πηγή: τεχνικό αρχείο έργου, ίδια επεξεργασία.

Η Εικόνα 5.9 παρουσιάζει πραγματική άποψη του διαδρόμου στο B' υπόγειο, έξω από τους χώρους των μετασχηματιστών και των πινάκων μέσης τάσης, που αντιστοιχούν στα σημεία C και D της ανάλυσης. Η εικόνα χρησιμοποιείται για να αποτυπώσει την πραγματική πυκνότητα των H/M δικτύων στην περιοχή και να συνδέσει τον έλεγχο που προηγήθηκε στο μοντέλο με τις πραγματικές συνθήκες κατασκευής. Στον συγκεκριμένο διάδρομο, η συνύπαρξη ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων ισχύος, οδεύσεων καλωδίων, bus duct (ροηφόρων αγωγών), σωληνώσεων και λοιπών δικτύων αποκαπνισμού ανέδειξε την ανάγκη αυστηρού χωρικού συντονισμού για την αποφυγή συγκρούσεων και τη διατήρηση ασφαλών και λειτουργικών ζωνών πρόσβασης στους κρίσιμους χώρους μέσης τάσης.



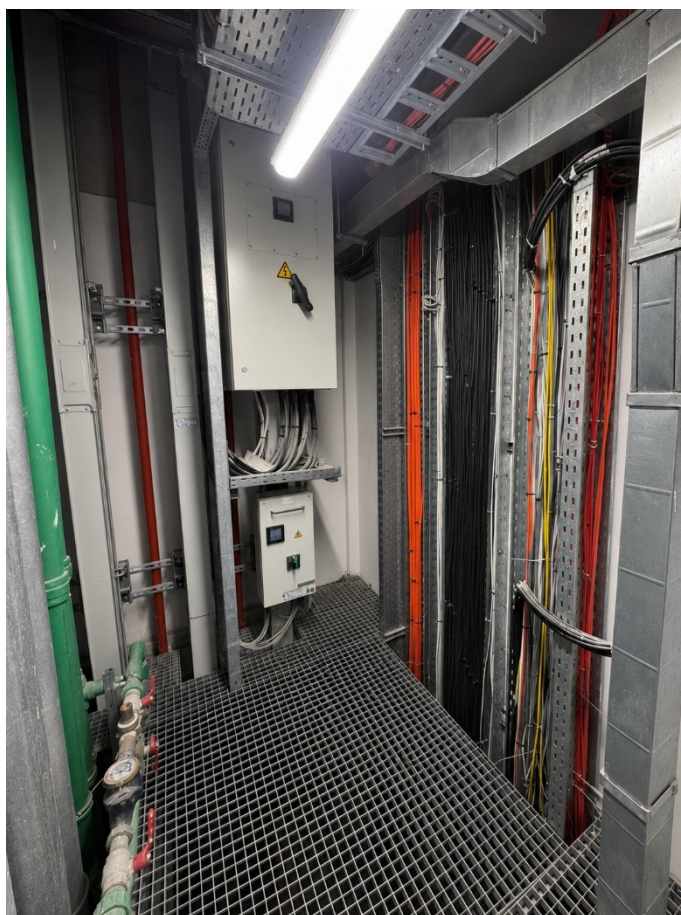
Εικόνα 5.9: Πραγματική άποψη διαδρόμου στο Β' υπόγειο, έξω από τους χώρους μετασχηματιστών και πινάκων μέσης τάσης, στην περιοχή ελέγχου C. Πηγή: φωτογραφικό/τεχνικό αρχείο έργου, ίδια επεξεργασία.

Η τεκμηρίωση του Β' υπογείου συμπληρώνεται με το Σχήμα 5.9, το οποίο παρουσιάζει το βόρειο κεντρικό shaft Η/Μ δικτύων στην περιοχή ελέγχου D. Το συγκεκριμένο shaft είναι βασική κατακόρυφη ζώνη διανομής, καθώς μέσω αυτού διέρχεται σημαντικό μέρος των δικτύων από το Β' υπόγειο προς τα ανώτερα επίπεδα και το δώμα του Πύργου. Οι αποφάσεις χωροθέτησης στο σημείο εκκίνησης επηρέαζαν τη συνέχεια των οδεύσεων σε πολλούς ορόφους.



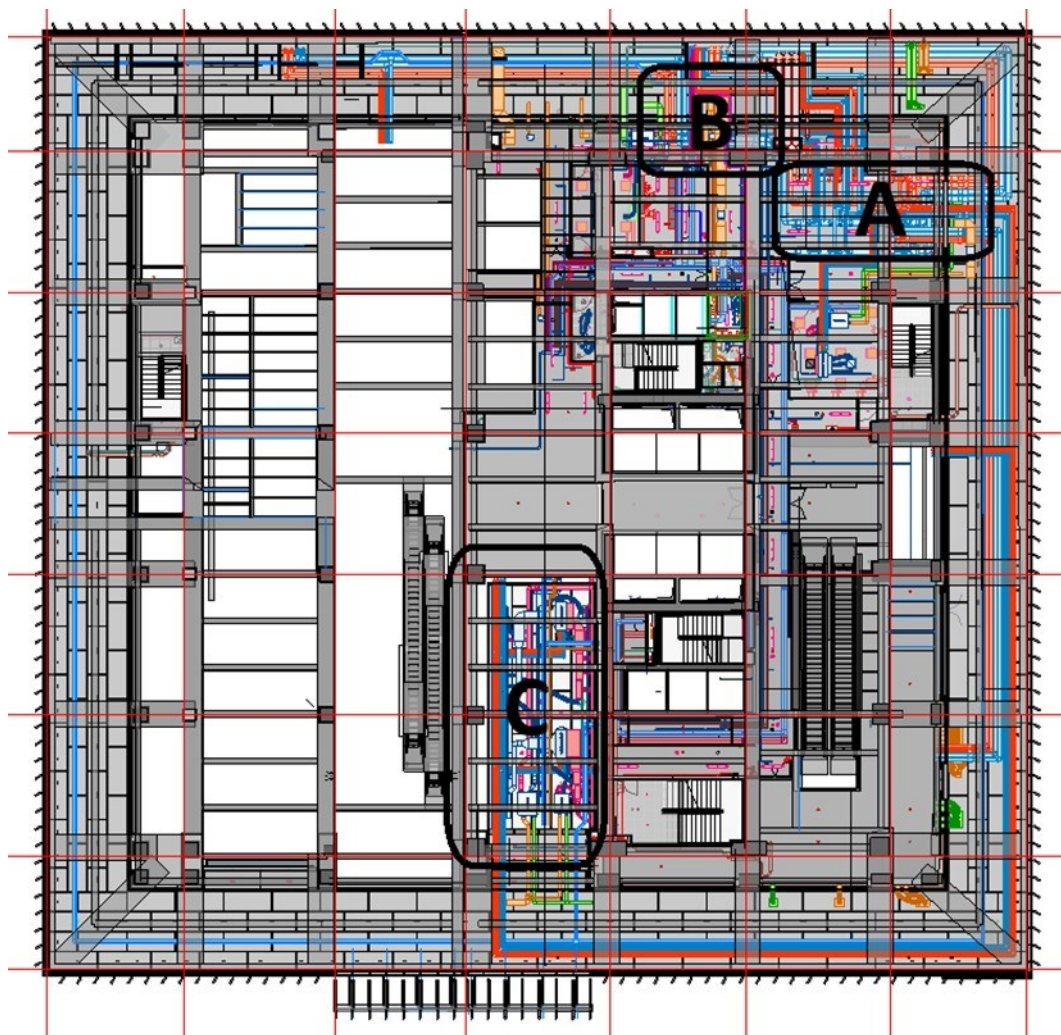
Σχήμα 5.9: Τρισδιάστατη απεικόνιση σημείου D από την κάτοψη του Β' υπογείου για τον έλεγχο συντονισμού H/M εγκαταστάσεων. Πηγή: τεχνικό αρχείο έργου, ίδια επεξεργασία.

Η Εικόνα 5.10 δείχνει το ίδιο shaft όπως κατασκευάστηκε. Η αντιπαράβολή με το Σχήμα 5.9 εξηγεί γιατί το σημείο εξετάστηκε ξεχωριστά. Από εδώ περνούν δίκτυα προς πολλούς ορόφους, οπότε η τάξη που μπήκε ψηφιακά πριν την εγκατάσταση αποτυπώθηκε άμεσα στην τελική, ευανάγνωστη και προσβάσιμη διάταξη.



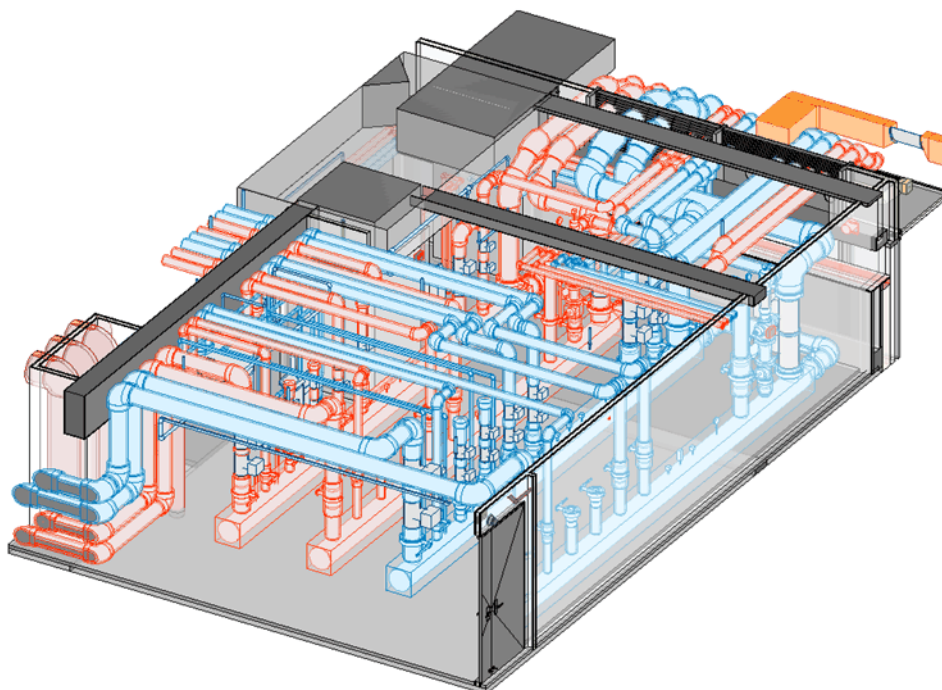
Εικόνα 5.10: Πραγματική άποψη του βόρειου κεντρικού shaft H/M δικτύων στο Β' υπόγειο, στην περιοχή ελέγχου D. Πηγή: φωτογραφικό/τεχνικό αρχείο έργου, ιδία επεξεργασία.

Στη συνέχεια εξετάζεται ο μεσώροφος, ο οποίος παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.10. Η ενδιάμεση θέση του, ανάμεσα στο ισόγειο και στον πρώτο όροφο, συγκέντρωνε δίκτυα και απαιτούσε αυξημένο συντονισμό.



Σχήμα 5.10: Χώρος μεσώροφου (mezzanine), ανάμεσα στο ισόγειο και τον 1ο όροφο, με έντονη πυκνότητα δικτύων. Πηγή: τεχνικό αρχείο έργου, ιδία επεξεργασία.

Στο Σχήμα 5.11 παρουσιάζεται η περιοχή ελέγχου Α του μεσώροφου, όπου η πυκνότητα των Η/Μ δικτύων έπρεπε να ελεγχθεί σε σχέση με τον διαθέσιμο χώρο, τις αρχιτεκτονικές δεσμεύσεις και τις απαιτήσεις πρόσβασης στον εξοπλισμό. Η τρισδιάστατη απεικόνιση επέτρεψε την καλύτερη κατανόηση της διάταξης των δικτύων και των μηχανημάτων πριν από την εγκατάσταση, σε έναν χώρο όπου η δισδιάστατη κάτοψη δυσκολευόταν να αποδώσει την πραγματική τεχνική πολυπλοκότητα.



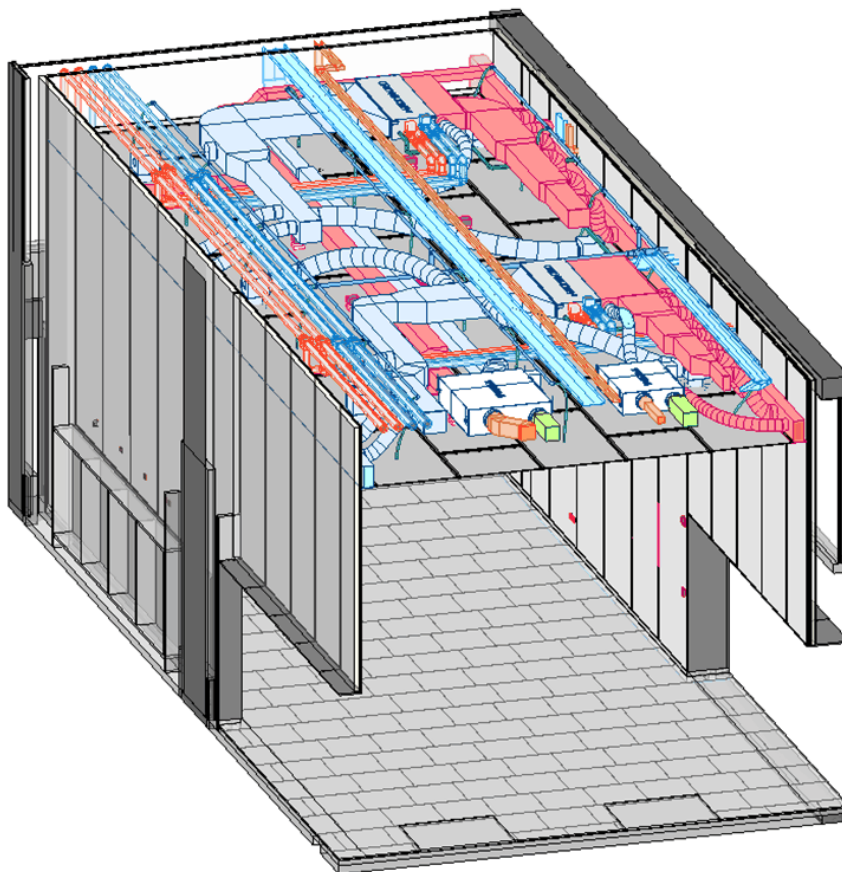
Σχήμα 5.11: Τρισδιάστατη απεικόνιση του σημείου Α από τον χώρο μεσόροφου (mezzanine), ανάμεσα στο ισόγειο και τον 1ο όροφο. Πηγή: τεχνικό αρχείο έργου, ιδία επεξεργασία.

Στην Εικόνα 5.11 ο ίδιος χώρος εμφανίζεται κατασκευασμένος. Το ζητούμενο ήταν η συμβίωση πολλών μηχανημάτων και σωληνώσεων με τις ζώνες πρόσβασης συντήρησης· το μοντέλο επέτρεψε να κλειδωθεί αυτή η διάταξη πριν αρχίσει η εγκατάσταση, αντί να επιλυθεί πρόχειρα στο πεδίο.



*Εικόνα 5.11: Πραγματική άποψη του μηχανοστασίου του συστήματος ψύξης και θέρμανσης νερού με αντλίες θερμότητας για τους εμπορικούς χώρους, στον μεσώροφο, στην περιοχή ελέγχου Α.
Πηγή: φωτογραφικό/τεχνικό αρχείο έργου, ιδία επεξεργασία.*

Στο δεύτερο σημείο του μεσώροφου, το Σχήμα 5.12 παρουσιάζει την περιοχή ελέγχου Β, η οποία αντιστοιχεί στην οροφή της κεντρικής εισόδου και του lobby του Πύργου. Παρότι η περιοχή αυτή ανήκει υψομετρικά στο επίπεδο του μεσώροφου, επηρεάζει άμεσα έναν από τους σημαντικότερους χώρους υποδοχής του κτιρίου, με μεγάλο καθαρό ύψος και αυξημένες απαιτήσεις τελικής αρχιτεκτονικής ποιότητας. Η δυσκολία αφορούσε τον συντονισμό των Η/Μ δικτύων με τρόπο που να διατηρείται η κατασκευασσιμότητα, να αποφεύγονται συγκρούσεις και να εξασφαλίζεται ένα καθαρό και ελεγχόμενο αποτέλεσμα στις οροφές και στα εμφανή τελειώματα του χώρου. Η πραγματική, διαμορφωμένη μορφή του χώρου αυτού παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.12.

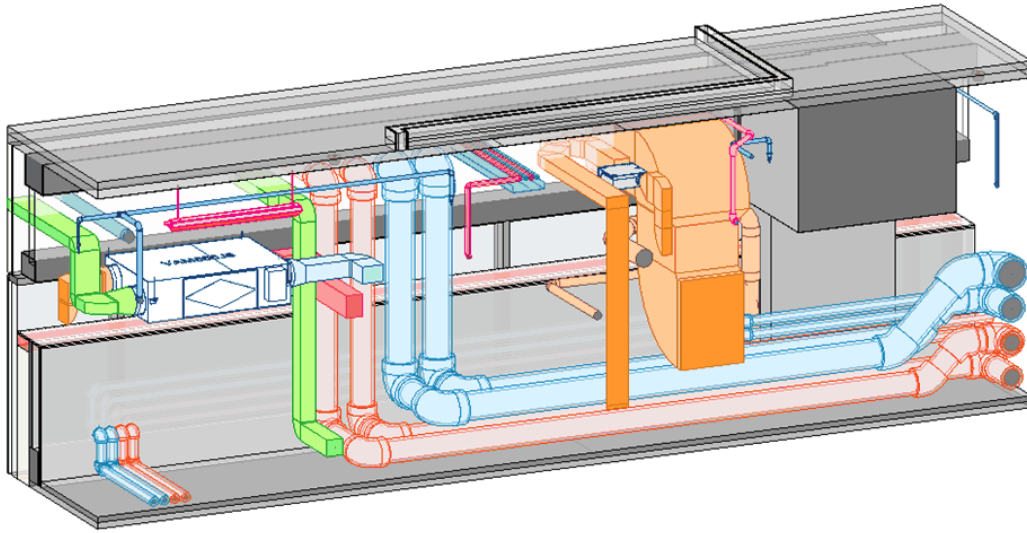


Σχήμα 5.12: Τρισδιάστατη απεικόνιση του σημείου Β από τον χώρο μεσώροφου (mezzanine), ανάμεσα στο ισόγειο και τον 1ο όροφο. Πηγή: τεχνικό αρχείο έργου, ιδία επεξεργασία.



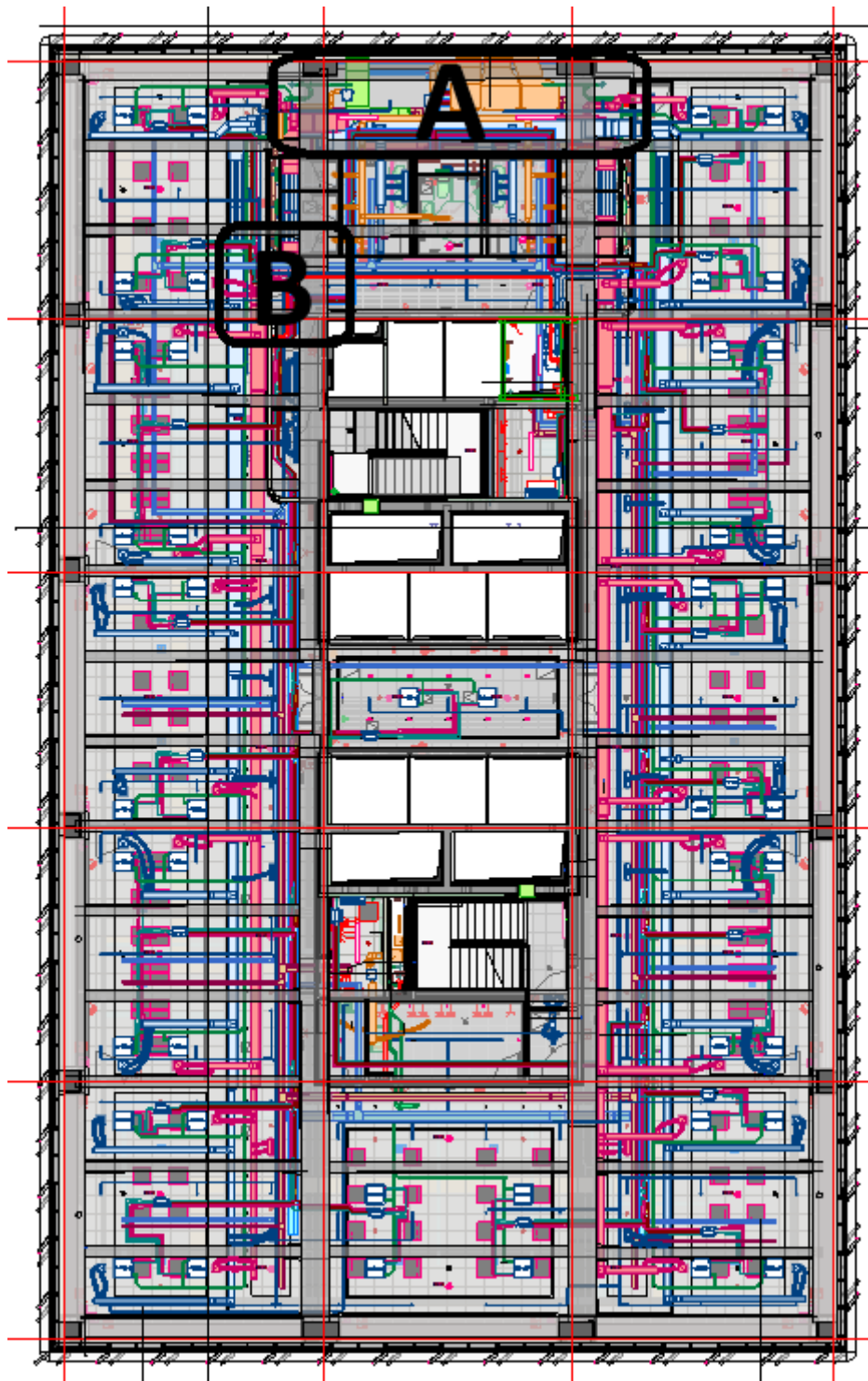
Εικόνα 5.12: Πραγματική άποψη του κεντρικού lobby της κύριας εισόδου του Πύργου, στην περιοχή ελέγχου Β. Πηγή: φωτογραφικό/τεχνικό αρχείο έργου, ιδία επεξεργασία.

Το Σχήμα 5.13 παρουσιάζει δεύτερη οπτική της περιοχής ελέγχου Β στον μεσώροφο. Η έμφαση μεταφέρεται στη συνέχεια των Η/Μ οδεύσεων και στην πρόσβαση για μελλοντικό έλεγχο και συντήρηση.



Σχήμα 5.13: Δεύτερη τρισδιάστατη απεικόνιση της περιοχής ελέγχου Β στον μεσώροφο, με έμφαση στη συνέχεια των Η/Μ οδεύσεων προς την περιμετρική στοά και το podium. Πηγή: τεχνικό αρχείο έργου, ιδία επεξεργασία.

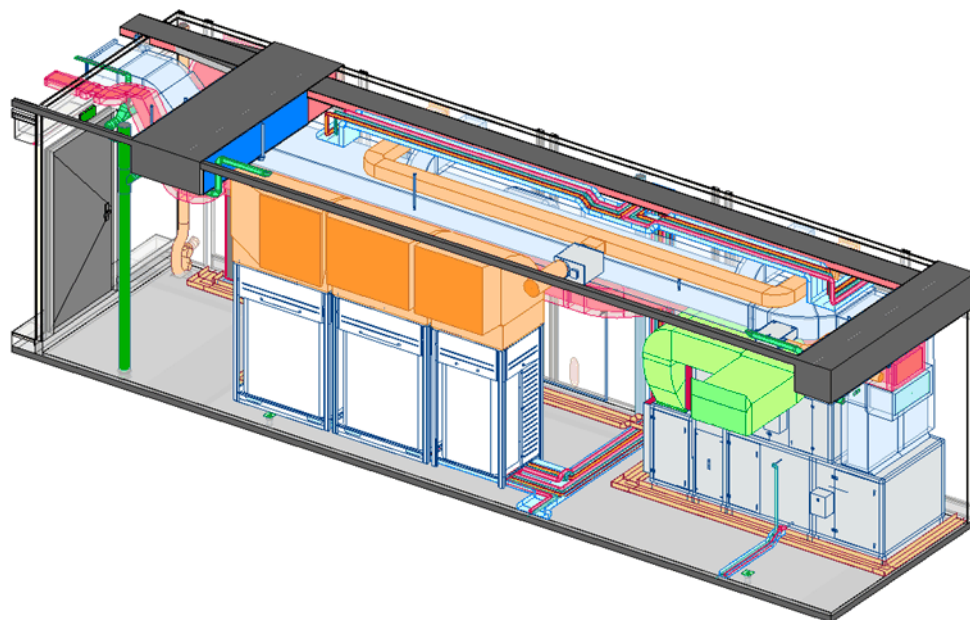
Μετά τα σημεία υψηλής πυκνότητας του υπογείου και του μεσώροφου, η ανάλυση περνά στον τυπικό όροφο, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.14, όπου ο συντονισμός μεταφέρεται κυρίως στις ψευδοροφές και στις οριζόντιες διανομές.



Σχήμα 5.14: Συντονιστικό δισδιάστατο σχέδιο κάτοψης του τυπικού ορόφου. Πηγή: τεχνικό αρχείο έργου, ιδία επεξεργασία.

Στο Σχήμα 5.15 παρουσιάζεται η περιοχή ελέγχου Α ενός τυπικού ορόφου, όπου η κύρια πρόκληση αφορούσε τη σχέση των Η/Μ διελεύσεων με τον διαθέσιμο χώρο της ψευδοροφής και με τις αρχιτεκτονικές απαιτήσεις του επιπέδου. Η τρισδιάστατη

απεικόνιση επέτρεψε να αξιολογηθεί με μεγαλύτερη σαφήνεια η χωροθέτηση των δικτύων και του εξοπλισμού, ώστε να ελεγχθεί έγκαιρα η συμβατότητά τους με τα διαθέσιμα ύψη, τις οδεύσεις και τις απαιτήσεις λειτουργίας του χώρου.



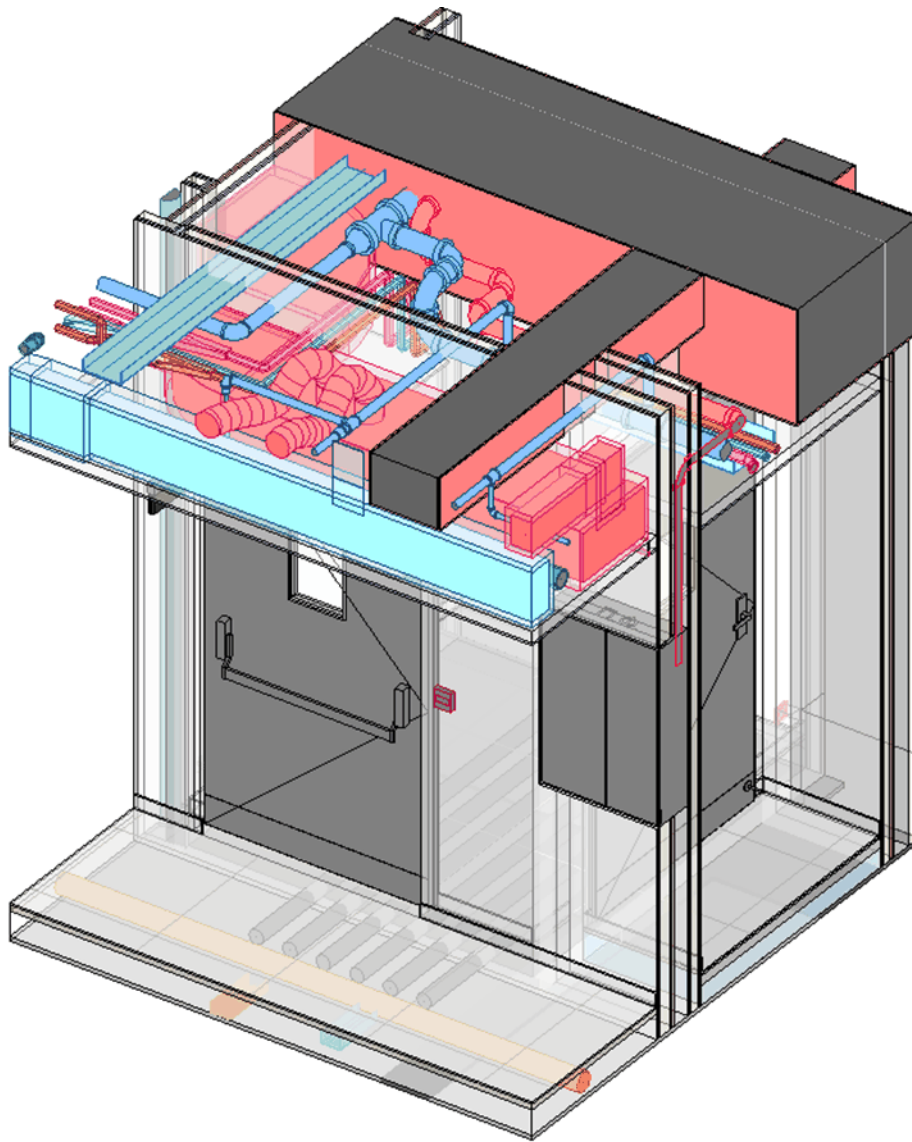
Σχήμα 5.15: Τρισδιάστατη απεικόνιση του σημείου Α από τον τυπικό όροφο. Πηγή: τεχνικό αρχείο έργου, ιδία επεξεργασία.

Η Εικόνα 5.13 παρουσιάζει πραγματική άποψη του κεντρικού μηχανολογικού χώρου του τυπικού ορόφου, στην περιοχή ελέγχου Α. Στον χώρο αυτό εγκαθίστανται οι εξωτερικές μονάδες μεταβλητού όγκου ψυκτικού μέσου (Variable Refrigerant Volume – VRV), οι οποίες εξυπηρετούν την ψύξη και θέρμανση των γραφειακών χώρων, καθώς και η κεντρική κλιματιστική μονάδα, η οποία εξασφαλίζει τον προκλιματισμό και τη φίλτρανση του αέρα. Όπως φαίνεται, ο διαθέσιμος χώρος είναι περιορισμένος, γεγονός που καθιστούσε αναγκαίο τον έγκαιρο έλεγχο του τελικού εξοπλισμού ήδη από τη φάση του σχεδιασμού. Η τρισδιάστατη αποτύπωση συνέβαλε στην επιβεβαίωση ότι ο εξοπλισμός μπορούσε να χωροθετηθεί με τρόπο λειτουργικό και συντηρήσιμο, ότι διασφαλίζονταν οι απαιτούμενες αποστάσεις μεταξύ απόρριψης και λήψης αέρα, και ότι οι μονάδες θα μπορούσαν να λειτουργήσουν υπό κατάλληλες συνθήκες αερισμού και ψύξης των στοιχείων τους.



Εικόνα 5.13: Πραγματική άποψη του κεντρικού μηχανολογικού χώρου του τυπικού ορόφου, ανατολική και δυτική πλευρά, στην περιοχή ελέγχου Α. Πηγή: φωτογραφικό/τεχνικό αρχείο έργου, ιδία επεξεργασία.

Το Σχήμα 5.16 συμπληρώνει τον έλεγχο του τυπικού ορόφου, εστιάζοντας στη σχέση των οριζόντιων Η/Μ διανομών με τα διαθέσιμα ύψη και τις λειτουργικές απαιτήσεις των χώρων γραφείων. Στην περιοχή αυτή, ο συντονισμός κάλυπτε την αποφυγή συγκρούσεων και τη σωστή κατανομή των δικτύων μεταξύ ψευδοδαπέδου και ψευδοροφής. Στο ψευδοδάπεδο οδεύουν κυρίως τα δίκτυα ισχυρών και ασθενών ρευμάτων για την εξυπηρέτηση των θέσεων εργασίας, ενώ στην ψευδοροφή συγκεντρώνονται αεραγωγοί, ψυκτικές σωληνώσεις, σχάρες καλωδίων ισχυρών και ασθενών ρευμάτων, καθώς και υδραυλικές σωληνώσεις συμπυκνωμάτων των κλιματιστικών μονάδων.



Σχήμα 5.16: Τρισδιάστατη απεικόνιση της περιοχής ελέγχου Β σε τυπικό όροφο, με έμφαση στις οριζόντιες Η/Μ διανομές. Πηγή: τεχνικό αρχείο έργου, ίδια επεξεργασία.

Η Εικόνα 5.14 αποτυπώνει την ψευδοροφή στην περιοχή ελέγχου Β. Σε αντιπαράβολή με το Σχήμα 5.16, η τρισδιάστατη απεικόνιση επέτρεψε να συγκεντρωθούν τα δίκτυα κυρίως στη ζώνη του διαδρόμου, κοντά στον πυρήνα, ώστε να μην επιβαρυνθούν οι χώροι γραφείων. Η λύση κράτησε το καθαρό ύψος των διαδρόμων στα 2,30 m περίπου και εξασφάλισε περίπου 2,60 m στους χώρους γραφείων· πρόκειται για απόφαση συντονισμού των Η/Μ εγκαταστάσεων που καθόρισε άμεσα την κατασκευασιμότητα και τη λειτουργικότητα των χώρων εργασίας.



Εικόνα 5.14: Πραγματική άποψη της ψευδοροφής του τυπικού ορόφου, στην περιοχή ελέγχου Β. Πηγή: φωτογραφικό/τεχνικό αρχείο έργου, ίδια επεξεργασία.

Τα παραπάνω σχήματα και οι αντίστοιχες πραγματικές εικόνες δείχνουν πώς το BIM υποστήριξε την έγκαιρη κατανόηση της κατασκευασιμότητας, ιδίως σε ζώνες συμφόρησης, όπου η τρισδιάστατη απεικόνιση μετέτρεψε ασαφείς τεχνικές ανησυχίες σε συγκεκριμένα ζητήματα προς απόφαση.

Από τα πλέον χαρακτηριστικά παραδείγματα Η/Μ συντονισμού ήταν οι συγκρούσεις στις ψευδοροφές μεταξύ αεραγωγών, σωληνώσεων πυρόσβεσης, καλωδιακών σχαρών, ηλεκτρολογικών διελεύσεων και λοιπών βοηθητικών δικτύων. Η επίλυσή τους απαιτούσε ταυτόχρονη συνεκτίμηση του καθαρού ύψους, των θέσεων των τελικών στομιών και φωτιστικών, των απαιτήσεων επιθεώρησης και της αλληλουχίας εγκατάστασης. Η τελική διευθέτηση επηρέασε τόσο τη μορφή των δικτύων όσο και τον προγραμματισμό κλεισίματος των οροφών.

Δεύτερη σημαντική κατηγορία αποτέλεσαν οι συγκρούσεις σε κατακόρυφα φρεάτια, μηχανοστάσια και τεχνικές ζώνες υψηλής πυκνότητας. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η περιορισμένη διατομή και η ανάγκη διατήρησης προσβάσεων οδηγούσαν σε αυστηρές αποφάσεις προτεραιότητας μεταξύ διαφορετικών συστημάτων. Η ψηφιακή μοντελοποίηση κτιριακής πληροφορίας (BIM) λειτούργησε ως εργαλείο αποτίμησης εναλλακτικών λύσεων, επιτρέποντας να εξεταστεί αν κάθε λύση επηρέαζε την προσβασιμότητα, τη συντήρηση, τη μελλοντική προσαρμογή ή τη συνέχεια των οδεύσεων σε περισσότερα επίπεδα του κτιρίου. Το αποτύπωμα στο χρονοδιάγραμμα ήταν ουσιώδες, καθώς η καθυστερημένη επίλυση τέτοιων θεμάτων θα μπορούσε να μεταφέρει αβεβαιότητα σε πολλές παράλληλες δραστηριότητες.

Ο Πίνακας 5.2 συγκεντρώνει τις βασικές κατηγορίες συγκρούσεων που αναδείχθηκαν από τα παραδείγματα του Β' υπογείου, του μεσώροφου και του τυπικού ορόφου. Παρουσιάζει για κάθε ζώνη τα εμπλεκόμενα συστήματα, το κύριο ζήτημα συντονισμού, την πιθανή επίπτωση στο έργο και τον τρόπο με τον οποίο η τρισδιάστατη ανάλυση συνέβαλε στη λήψη τεχνικής απόφασης.

Πίνακας 5.2: Κατηγορίες χαρακτηριστικών συγκρούσεων H/M συντονισμού και τρόποι επίλυσης. Πηγή: ίδια επεξεργασία βάσει βιβλιογραφίας και τεκμηρίων έργου.

Ζώνη / χώρος	Εμπλεκόμενα συστήματα	Κύριο ζήτημα	Πιθανή επίπτωση	Τρόπος επίλυσης
Β' υπόγειο – κύριοι H/M χώροι	Αεραγωγοί, σωληνώσεις, καλωδιώσεις, εξοπλισμός	Πολύ υψηλή πυκνότητα δικτύων και ανάγκη διατήρησης ζωνών πρόσβασης	Κίνδυνος συμφόρησης, δυσχέρεια εγκατάστασης, δυσκολία ελέγχων και συντήρησης	Τρισδιάστατος συντονισμός, αναδιάταξη οδεύσεων, έλεγχος ελεύθερων ζωνών και αλληλουχίας εγκατάστασης
Μεσώροφος	Σωληνώσεις ψυχρού και θερμού νερού, καλωδιακές σχάρες, H/M εξοπλισμός	Συνύπαρξη πολλών συστημάτων σε ενδιάμεση τεχνική ζώνη με αρχιτεκτονικούς περιορισμούς	Κίνδυνος τοπικών ανασχεδιασμών και επαναληπτικών εργασιών	Έλεγχος εναλλακτικών στο τρισδιάστατο μοντέλο και τοπική αναθεώρηση λύσεων πριν από την κατασκευή
Τυπικός όροφος γραφείων – ψευδοροφές	Αεραγωγοί, ψυκτικές σωληνώσεις, πυρόσβεση, φωτισμός,	Ισορροπία μεταξύ καθαρού ύψους, αρχιτεκτονικής εικόνας και επιθεωρησιμότητας	Καθυστέρηση κλεισίματος ψευδοροφών και πιθανή υποβάθμιση του	Συγκέντρωση βασικών οδεύσεων σε ζώνες διαδρόμων,

	σχάρες ισχυρών και ασθενών ρευμάτων		τελικού αποτελέσματος	ιεράρχηση συστημάτων και έλεγχος υψομέτρων
Κατακόρυφα φρεάτια / μηχανοστάσια	Κατακόρυφες διανομές, ζυγοδιάλυτοι, σωληνώσεις, πυροφραγές	Περιορισμένη διατομή και αυστηρά όρια χωρικής συμβατότητας	Μεταφορά σύγκρουσης σε πολλαπλά επίπεδα του κτιρίου	Καθορισμός σαφών ζωνών διέλευσης, συμπαγείς λύσεις και επαναληπτική επιβεβαίωση σημείων διασύνδεσης

5.5 Πυρασφάλεια, καπνός και εκκένωση

5.5.1 Πυρασφάλεια και εκκένωση ως πεδίο διοίκησης

Στον Πύργο του Πειραιά, η πυρασφάλεια αποτέλεσε πεδίο συντονισμού πολλών αλληλεξαρτώμενων συστημάτων. Η τυπική συμμόρφωση κάθε εγκατάστασης έπρεπε να επιβεβαιωθεί σε επίπεδο συνεργασίας συστημάτων, δηλαδή πυρανίχνευση, PAVA, διαχείριση καπνού, υπερπίεση κλιμακοστασίων, αυτοματισμοί και διαδικασίες εκκένωσης σε πραγματικό σενάριο συμβάντος.

Τα τεχνικά τεύχη του έργου είναι σαφή ως προς το ότι κύριος σκοπός των συστημάτων διαχείρισης καπνού είναι η προστασία των οδεύσεων διαφυγής από καπνό, ώστε να εξασφαλίζεται ασφαλής εκκένωση των χρηστών και παράλληλα πρόσβαση των πυροσβεστών. Η απαίτηση αυτή συνδέεται με το Π.Δ. 41/2018 και με τα πρότυπα EN 12101-5, EN 12101-6 και EN 12101-7, γεγονός που δείχνει ότι η στρατηγική εκκένωσης στο συγκεκριμένο έργο στηριζόταν σε σαφές θεσμικό και τεχνικό υπόβαθρο (European Committee for Standardization, 2005a, 2005b, 2011; INSTA, 2021a, 2021d). Η αλληλεξάρτηση αυτών των υποσυστημάτων παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.17.



Σχήμα 5.17: Σχηματική αποτύπωση των βασικών υποσυστημάτων πυρασφάλειας, διαχείρισης καπνού και ελεγχόμενης εκκένωσης του Πύργου του Πειραιά. Πηγή: ιδία επεξεργασία.

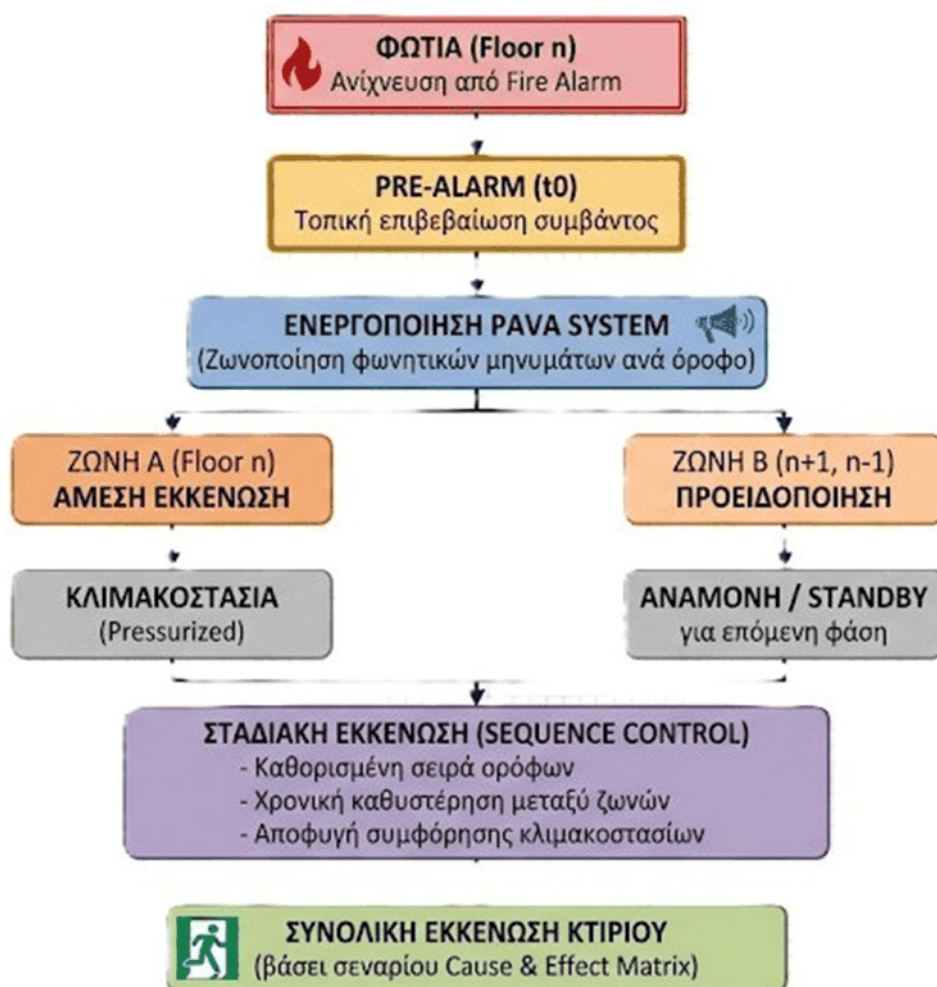
5.5.2 Μεγαφωνικό σύστημα φωνητικού συναγερμού και ελεγχόμενη εκκένωση

Το μεγαφωνικό σύστημα φωνητικού συναγερμού αποτελεί, σε συμβάν πυρκαγιάς, βασικό μέσο καθοδήγησης των χρηστών. Η πρόβλεψη τοπικών κέντρων ανά όροφο και κεντρικού συστήματος δείχνει ότι η ηχητική οδηγία οργανώθηκε ως μέρος του σεναρίου ασφαλούς εκκένωσης (European Committee for Standardization, 2020; INSTA, 2021a, 2021b).

Η παραπάνω ερμηνεία στηρίζεται στην τεχνική λογική του έργου, στην εμπειρία πεδίου και στην ειδική «Μελέτη Χρονισμού των Σταδίων Εκκένωσης» του Πύργου. Η μελέτη αναλύει τα πιθανά σενάρια φωτιάς για τα 27 επίπεδα του κτιρίου, με βασικές παραδοχές ότι δεν εκδηλώνεται φωτιά σε δύο ή περισσότερους ορόφους ταυτόχρονα, ότι η εκκένωση κάθε ορόφου γίνεται από όλα τα διαθέσιμα κλιμακοστάσια και ότι ο πληθυσμός κάθε επιπέδου προσδιορίζεται με βάση το εμβαδόν και τη χρήση του ορόφου. Σε επίπεδο σεναρίων, εξετάζονται η εκκένωση κάθε ορόφου μεμονωμένα, η ταυτόχρονη εκκένωση όλου του κτιρίου και η εκκένωση με συγκεκριμένο μοτίβο συνδυασμών ορόφων, ώστε να επιτυγχάνεται ομαλή ροή κίνησης, περιορισμός συνωστισμού και ταχύτερη συνολική απομάκρυνση. Η αξία της μελέτης για τη

διοίκηση του έργου βρίσκεται στο ότι μετατρέπει τη γενική απαίτηση ασφαλούς εκκένωσης σε συγκεκριμένο επιχειρησιακό σενάριο, με χρονισμό, σειρά ενεργοποίησης, τεχνική διασύνδεση πυρανίχνευσης και μεγαφωνικού συστήματος και σαφείς απαιτήσεις προγραμματισμού των συστημάτων (National Fire Protection Association, 2021; IFSAS, 2024).

Η ίδια μελέτη εισάγει τον χρόνο προσυναγερμού ανά όροφο, ο οποίος κυμαίνεται από 60 δευτερόλεπτα για το ισόγειο και το επίπεδο H/M έως 300 δευτερόλεπτα για τους ανώτερους ορόφους F21-F23. Παράλληλα, προβλέπει συγκεκριμένη ακολουθία ανά σενάριο πυρκαγιάς για το προειδοποιητικό μήνυμα και την έναρξη εκκένωσης, αντί για ταυτόχρονη ενεργοποίηση σε όλους τους ορόφους. Το Σχήμα 5.18 αποτυπώνει σχηματικά αυτή την αλληλουχία ειδοποίησης, προειδοποίησης και σταδιακής εκκένωσης, καθιστώντας ορατή τη λογική χρονισμού που έπρεπε να προγραμματιστεί στα συστήματα πυρανίχνευσης και φωνητικού συναγερμού.



Σχήμα 5.18: Σχηματική αποτύπωση της αλληλουχίας ειδοποίησης, προειδοποίησης και σταδιακής εκκένωσης σε περίπτωση συμβάντος πυρκαγιάς. Πηγή: ίδια επεξεργασία.

Τα βασικά στοιχεία της μελέτης χρονισμού εκκένωσης οργανώνονται στον επόμενο πίνακα. Ο Πίνακας 5.3 δείχνει ότι η μελέτη παρείχε αριθμητικούς χρόνους και διαχειριστική βάση για τον προγραμματισμό της πυρανίχνευσης, του μεγαφωνικού συστήματος και των δοκιμών αποδοχής.

Πίνακας 5.3: Συνοπτική αποτύπωση της ειδικής μελέτης χρονισμού εκκένωσης και της διαχειριστικής της σημασίας. Πηγή: ίδια επεξεργασία βάσει βιβλιογραφίας και τεκμηρίων έργου.

Σενάριο	Περιγραφή	Διαχειριστική σημασία για το έργο
A	Εκκένωση κάθε ορόφου μεμονωμένα.	Χρήσιμο ως βασική γραμμή σύγκρισης για τον χρόνο εκκένωσης και για την κατανόηση της συμπεριφοράς κάθε επιπέδου.

B	Ταυτόχρονη εκκένωση όλου του κτιρίου.	Αναδεικνύει τα όρια της αδιαφοροποίητης ολικής εκκένωσης και τον αυξημένο κίνδυνο συμφόρησης σε περιβάλλον ψηλού κτιρίου.
Γ	Εκκένωση με συγκεκριμένο μοτίβο και συνδυασμό ταυτόχρονης εκκένωσης ορόφων.	Αποτελεί το βέλτιστο επιχειρησιακό σενάριο της μελέτης, επειδή συνδυάζει ομαλή ροή, ταχύτερη εκκένωση, προειδοποιητικά μηνύματα, σειρά ορόφων και προγραμματισμό λογικής αιτίου-αποτελέσματος της πυρανίχνευσης / μεγαφωνικού συστήματος.

5.5.3 Συνέπειες για συντονισμό και παράδοση

Η στρατηγική πυρασφάλειας επηρέασε άμεσα τη διαχείριση του έργου, καθώς ένα πλήθος συστημάτων —πυρανίχνευση, PAVA, διαχείριση καπνού, υπερπίεση κλιμακοστασίων, διατάξεις θυρών, καλωδιώσεις αυτοματισμού και τροφοδοτήσεις— έπρεπε να συντονιστούν σε όλα τα στάδια, δηλαδή στη μελέτη, υποβολές, εγκατάσταση, προγραμματισμό, δοκιμές και αποδοχή (European Committee for Standardization, 2015, 2020; IFSAS, 2024).

Η πραγματική πολυπλοκότητα βρισκόταν κυρίως στις λειτουργικές συνδέσεις μεταξύ των συστημάτων. Η ενεργοποίηση ενός ανιχνευτή, για παράδειγμα, έπρεπε να μεταφράζεται σε μια σειρά συντονισμένων ενεργειών, δηλαδή μετάδοση του κατάλληλου μηνύματος, ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση συστημάτων, έλεγχος των διατάξεων διαχείρισης καπνού και εκκίνηση του προβλεπόμενου σεναρίου εκκένωσης. Η διαχείριση της πυρασφάλειας απαιτούσε έτσι σαφείς πίνακες λογικής αιτίου–αποτελέσματος, συντονισμένες τεχνικές υποβολές, ελεγχόμενες δοκιμές και τεκμηρίωση της ορθής λειτουργίας πριν από την παράδοση. Με αυτή την έννοια, μια κανονιστική απαίτηση μετατρέποταν σε δοκιμασία διοίκησης έργου, καθώς η αξία της κρινόταν στην επιβεβαίωση ότι τα συστήματα θα αντιδρούσαν συντονισμένα σε πραγματικές συνθήκες έκτακτης ανάγκης.

Η μικτή χρήση του κτιρίου ανέδειξε αυτή την πολυπλοκότητα με ιδιαίτερη ένταση στη διασύνδεση των συστημάτων ασφαλείας του βασικού κτιρίου με τους χώρους των μισθωτών. Ένας εμπορικός χώρος που παραδίδεται ως κέλυφος (cold shell) μπορεί να αποκτήσει δικό του σύστημα πυρανίχνευσης κατά την εσωτερική διαμόρφωση από τον

μισθωτή· δεν μπορεί όμως να λειτουργεί αποκομμένος από τη συνολική στρατηγική του κτιρίου. Το κεντρικό σύστημα πρέπει να ανταλλάσσει κρίσιμα σήματα με τα συστήματα του μισθωτή μέσω κατάλληλων διεπαφών ελέγχου (interfaces) και προκαθορισμένης μήτρας αιτίου–αποτελέσματος (cause and effect matrix), ώστε σε περίπτωση συμβάντος ο χώρος να εντάσσεται στον συνολικό μηχανισμό ειδοποίησης και εκκένωσης (INSTA, 2021a; IFSAS, 2024).

Το ίδιο ισχύει για το σύστημα PAVA. Ένας μισθωμένος χώρος μπορεί να διαθέτει τοπικό ηχητικό σύστημα για μουσική ή εμπορικές ανακοινώσεις· όταν όμως το βασικό κτίριο μεταδίδει κρίσιμο μήνυμα —προειδοποίηση ή εντολή εκκένωσης— το κεντρικό σύστημα πρέπει να υπερισχύει. Αυτό προϋποθέτει τεχνική διασύνδεση που διακόπτει προσωρινά το τοπικό σύστημα και επιτρέπει τη μετάδοση του μηνύματος ασφαλείας. Τα δύο παραδείγματα δείχνουν ότι τα όρια μεταξύ βασικού κτιρίου και μισθωτή είναι συμβατικά, κατασκευαστικά και λειτουργικά (European Committee for Standardization, 2020; INSTA, 2021a). Ο Πίνακας 5.4 συγκεντρώνει τα κρίσιμα υποσυστήματα της στρατηγικής πυρασφάλειας και τη διαχειριστική τους συμβολή στην ασφαλή εκκένωση και στην παράδοση.

Πίνακας 5.4: Κρίσιμα υποσυστήματα της στρατηγικής πυρασφάλειας και ασφαλούς εκκένωσης και η διαχειριστική συμβολή τους στο έργο. Πηγή: ίδια επεξεργασία βάσει βιβλιογραφίας και τεκμηρίων έργου.

Υποσύστημα / μέτρο	Λειτουργικός ρόλος	Διαχειριστική σημασία για το έργο
Υπερπίεση κλιμακοστασίων	Διατήρηση προστατευμένων οδών διαφυγής και συνθηκών πρόσβασης	Επηρεάζει σενάρια λειτουργίας, δοκιμές, αλληλουχία λειτουργικής επαλήθευσης συστημάτων και αρχιτεκτονικές/H/M διεπαφές
Συστήματα διαχείρισης καπνού	Περιορισμός εξάπλωσης καπνού και διατήρηση συνθηκών ασφαλούς απομάκρυνσης	Απαιτεί συντονισμό με αεραγωγούς, κατακόρυφα φρεάτια, πυροδιαφράγματα, αυτοματισμούς και λογική αιτίου-αποτελέσματος
Ανελκυστήρας πυροσβέστη	Υποστήριξη επέμβασης και πρόσβασης σε συμβάν	Συνδέεται με υπερπίεση, πυροδιαμερίσματα, ηλεκτρικές τροφοδοσίες και λειτουργικά σενάρια
Μεγαφωνικό σύστημα φωνητικού συναγερμού/ διευθυνσιοδοτούμενες ηχητικές συσκευές συναγερμού	Καθοδήγηση χρηστών με σαφείς οδηγίες εκκένωσης	Μετατρέπει την εκκένωση σε ελεγχόμενη διαδικασία επικοινωνίας και όχι σε απλή ενεργοποίηση συναγερμού

Πυροκουρτίνες / παθητική προστασία	Περιορισμός καπνού και φωτιάς σε κρίσιμες διελεύσεις	Απαιτεί ακριβή συντονισμό με αρχιτεκτονικά ανοίγματα, θύρες και H/M διελεύσεις
Δοκιμές, λειτουργική επαλήθευση συστημάτων και εκπαίδευση	Επιβεβαίωση ότι η στρατηγική λειτουργεί ως ενιαίο σύστημα	Συνδέει πρόθεση σχεδιασμού, ποιότητα πεδίου, επαλήθευση λογικής αιτίου-αποτελέσματος και λειτουργική ετοιμότητα για παράδοση

Ανάλογη απαίτηση αξιοπιστίας διέπει και τα ψηφιακά παραδοτέα του έργου. Ένα μοντέλο έχει αξία μόνο όταν οι ομάδες μπορούν να το χρησιμοποιήσουν με εμπιστοσύνη· γι' αυτό η μετάβαση από την εργασία σε εξέλιξη στην κοινή χρήση και, τελικά, στα εγκεκριμένα παραδοτέα αποτέλεσε καίριο σημείο ελέγχου ποιότητας. Κάθε μοντέλο έπρεπε να είναι ενημερωμένο, ελεγμένο ως προς τη γεωμετρία, αντιστοιχισμένο με την εγκεκριμένη αναθεώρηση και απαλλαγμένο από συγκρούσεις, με τα ζητήματα (issues) επιλυμένα και τους εμπλεκομένους ενήμερους, πριν αξιοποιηθεί για συντονισμό ή λήψη αποφάσεων στο πεδίο. Έτσι το BIM παρέμενε εργαλείο εμπιστοσύνης και όχι απλή οπτική αναπαράσταση.

Η απαίτηση αυτή αποκτά ιδιαίτερη βαρύτητα όταν η μελλοντική λειτουργία και συντήρηση του κτιρίου στηρίζεται στην ίδια πληροφορία. Σύμφωνα με το σχέδιο εφαρμογής ψηφιακής μοντελοποίησης του έργου, η μοντελοποίηση κάλυπτε τον οπτικό συντονισμό, την τεκμηρίωση κατασκευαστικών σχεδίων, τη σύνδεση των στοιχείων με την προμέτρηση, τον χρονικό προγραμματισμό 4D και την κωδικοποίηση εξοπλισμού, με στόχο τη σταδιακή μετάβαση από βαθμό ανάπτυξης μοντέλου 350 κατά την κατασκευή σε βαθμό 500 και πληροφορία τελικής αποτύπωσης κατά την παράδοση (Level of Development – LOD 350 και 500). Η λογική αυτή είναι συμβατή με τις αρχές του ISO 19650, καθώς η παραγωγή, ο έλεγχος και η κυκλοφορία της πληροφορίας οργανώνονται μέσω προκαθορισμένων ροών παραδοτέων, με κύριο σχέδιο παράδοσης πληροφοριών (Master Information Delivery Plan – MIDP) και επιμέρους σχέδια ανά ομάδα (Task Information Delivery Plan – TIDP). Η ψηφιακή μοντελοποίηση λειτούργησε επομένως ως πλαίσιο διαχείρισης πληροφορίας και ως εργαλείο εντοπισμού συγκρούσεων (International Organization for Standardization, 2018a, 2018b; TERNA S.A. & EB/Architects, 2022).

Η τελική γεωμετρική αποτύπωση δεν εξαντλεί την αξία αυτών των παραδοτέων. Για να υποστηρίξουν τη λειτουργία του κτιρίου, τα μοντέλα έπρεπε να συνδεθούν με εγχειρίδια λειτουργίας και συντήρησης, εγγυήσεις, καταλόγους ανταλλακτικών, απαιτήσεις προληπτικής συντήρησης και στοιχεία ταυτοποίησης εξοπλισμού — δεδομένα αξιοποιήσιμα από συστήματα υποβοηθούμενης διαχείρισης εγκαταστάσεων και μηχανογραφημένης συντήρησης (CAFM/CMMS). Υπό αυτή την έννοια, το BIM λειτούργησε ως φορέας μεταφοράς γνώσης από το εργοτάξιο προς τη λειτουργία, στοιχείο που διαφοροποιεί ποιοτικά το έργο από εφαρμογές που εξυπηρετούν μόνο τον συντονισμό (TERNA S.A. & EB/Architects, 2022; Volk et al., 2014). Η αλληλουχία αυτή αποδίδεται στο Σχήμα 5.19.



Σχήμα 5.19: Διάγραμμα ροής ψηφιακής μοντελοποίησης σε κοινό περιβάλλον δεδομένων, από την εργασία σε εξέλιξη έως την έκδοση προς κατασκευή, την τελική αποτύπωση και την παράδοση. Πηγή: ίδια επεξεργασία.

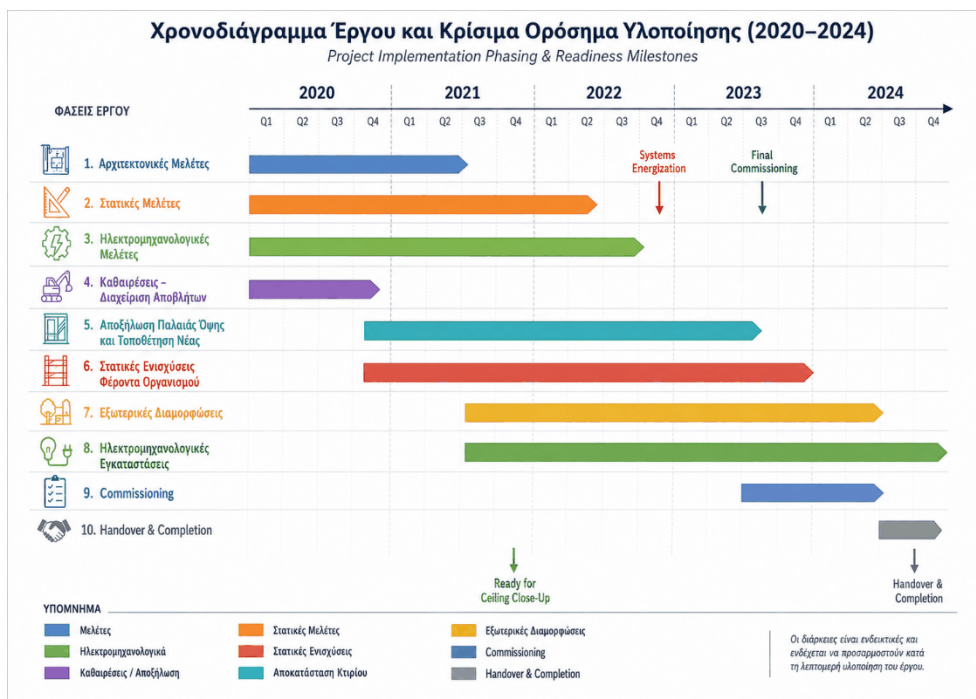
5.6 LEED και WELL στη διαχείριση έργου

Η σύνδεση BIM, H/M συντονισμού και πιστοποιήσεων διατρέχει τον κύκλο ζωής από τον σχεδιασμό έως την παράδοση. Ο Πίνακας 5.5 παρουσιάζει αυτή τη σύνδεση και δείχνει πώς τα ψηφιακά παραδοτέα, οι H/M αποφάσεις και οι απαιτήσεις βιωσιμότητας λειτουργούν συμπληρωματικά.

Πίνακας 5.5: Ενσωμάτωση ψηφιακής μοντελοποίησης, Η/Μ συντονισμού και βιώσιμων πιστοποιήσεων στον κύκλο ζωής τεχνικού έργου. Πηγή: ίδια επεξεργασία βάσει βιβλιογραφίας και τεκμηρίων έργου.

Φάση	Ψηφιακή μοντελοποίηση κτιριακής πληροφορίας (BIM) / ψηφιακό επίπεδο	Η/Μ Συντονισμός	Στόχος LEED και WELL	Κρίσιμες διεπαφές	Παραδοτέα
Σχεδιασμός	μοντέλα Revit (βαθμός ανάπτυξης μοντέλου 300–350)	Χωροθέτηση δικτύων	ενέργεια, ποιότητα εσωτερικού αέρα και φυσικός φωτισμός	χωρητικότητα κατακόρυφων φρεατίων και ζώνες ψευδοροφής	ενεργειακό μοντέλο και εκθέσεις σχεδιασμού
Συντονισμός	ενοποιημένο μοντέλο	εντοπισμός συγκρούσεων	χωρική συμμόρφωση	κλιματισμός και αερισμός έναντι πυρασφάλειας και ασθενών ρευμάτων	αναφορές συγκρούσεων και μητρώα συντονισμού
Τεχνικές υποβολές	πλατφόρμα BIM 360 / Κοινό Περιβάλλον Δεδομένων (Common Data Environment – CDE)	επαλήθευση κατασκευαστικών σχεδίων εφαρμογής	συμμόρφωση υλικών και συστημάτων	προδιαγραφή έναντι τελικού προϊόντος	Τεχνικές υποβολές, τεχνικά φυλλάδια
Κατασκευή	ενημερώσεις τελικής αποτύπωσης «ως κατασκευάστηκε»	εργοταξιακός συντονισμός	ποιότητα εγκατάστασης	συγκρούσεις οδεύσεων	εργοταξιακά ημερολόγια, διασφάλιση και έλεγχος ποιότητας
Λειτουργική επαλήθευση συστημάτων	ψηφιακή επαλήθευση	λειτουργικές δοκιμές	λειτουργική επαλήθευση LEED / WELL	ολοκλήρωση συστημάτων (κεντρικό σύστημα διαχείρισης κτιρίου)	εκθέσεις λειτουργικής επαλήθευσης
Λειτουργία	κεντρικό σύστημα διαχείρισης κτιρίου / ψηφιακό δίδυμο	παρακολούθηση	WELL / λειτουργική απόδοση	αισθητήρες / αλληλεπίδραση χρηστών	δεδομένα παρακολούθησης

Πριν εξεταστούν οι επιμέρους απαιτήσεις των πιστοποιήσεων, είναι χρήσιμη η συνολική χρονική εικόνα της υλοποίησης, επειδή η τεκμηρίωση LEED και WELL και η λειτουργική επαλήθευση έπρεπε να ενταχθούν στην αλληλουχία των φάσεων του έργου. Το χρονοδιάγραμμα παρουσιάζεται συνοπτικά στο Σχήμα 5.20, με στόχο να αποτυπωθεί η χρονική αλληλουχία των βασικών φάσεων υλοποίησης και η μεταξύ τους επικάλυψη.



Σχήμα 5.20: Ποιοτικό χρονοδιάγραμμα έργου. Πηγή: ίδια επεξεργασία βάσει τεκμηρίων προγραμματισμού έργου.

Το σχήμα αναδεικνύει ότι η υλοποίηση του Πύργου Πειραιά εξελίχθηκε ως παράλληλη ανάπτυξη μελετών, αποξηλώσεων, επεμβάσεων στον φέροντα οργανισμό, εργασιών όψης, ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων, εσωτερικών διαμορφώσεων και διαδικασιών λειτουργικής επαλήθευσης συστημάτων (commissioning). Η επικάλυψη αυτών των φάσεων αύξησε τις απαιτήσεις συντονισμού, καθώς αποφάσεις μελετητικής ωρίμανσης, κατασκευαστικής αλληλουχίας και τεχνικής ετοιμότητας έπρεπε να λαμβάνονται σε συνθήκες ταυτόχρονης εξέλιξης πολλών εργασιών. Ιδιαίτερη σημασία είχαν τα ενδιάμεσα ορόσημα, όπως η ετοιμότητα για κλείσιμο οροφών, η ενεργοποίηση συστημάτων και η τελική λειτουργική επαλήθευση συστημάτων, καθώς λειτουργούσαν ως σημεία ελέγχου της μετάβασης από την κατασκευή στη λειτουργική ετοιμότητα του κτιρίου.

5.6.1 Στόχοι πιστοποίησης και επιπτώσεις σε αντικείμενο, προμήθειες και εργολάβους

Το έργο έχει λάβει πιστοποίηση LEED Platinum, ενώ η επίσημη παρουσίασή του αναφέρει ένταξη στο πρόγραμμα WELL Core. Η ένταξη στο πρόγραμμα δεν ταυτίζεται με απονομή πιστοποίησης WELL. Στην παρούσα ανάλυση εξετάζονται οι απαιτήσεις και των δύο πλαισίων και η επίδρασή τους στη διοίκηση του έργου. Οι απαιτήσεις των πλαισίων LEED και WELL επηρέασαν την καθημερινή διοίκηση του έργου. Μετέφεραν απαιτήσεις σε αντικείμενο, υποβολές, επιλογές υλικών, διαδικασίες εργοταξίου και παραδοτέα. Προμήθειες και εργολαβίες έπρεπε να αξιολογούνται με βάση κόστος, χρόνο και τεκμηριωμένη συμμόρφωση (Piraeus Tower A.E., 2023a).

Το ίδιο ισχύει και για επιμέρους τεχνικές επιλογές υψηλής ορατότητας, όπως η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση στο δώμα και οι υψηλής απόδοσης υαλοπίνακες του νέου κελύφους. Τέτοιες παρεμβάσεις αποτελούσαν στοιχεία της συνολικής στρατηγικής επίδοσης του έργου, με επιπτώσεις σε αδειοδοτήσεις, υποβολές, συντονισμό και τελική τεκμηρίωση (Piraeus Tower A.E., 2023a).

Στην κατηγορία αυτή εντάσσεται και η διαχείριση των υαλοπινάκων της παλαιάς όψης. Η επιλογή νέων υαλοπινάκων υψηλών επιδόσεων συνδέθηκε με τον τρόπο αποξήλωσης και αξιοποίησης του υφιστάμενου υλικού μέσω ανακύκλωσης. Από διαχειριστική σκοπιά, η διαδικασία επηρέασε το αντικείμενο των καθαιρέσεων, τη χωριστή συλλογή των αποξηλωμένων υλικών, τον συντονισμό των μεταφορών, την απαιτούμενη τεκμηρίωση και την προβολή της βιώσιμης στρατηγικής του έργου (DIMAND, 2024).

Η ειδική έρευνα για την ενσωματωμένη ενέργεια και τον ενσωματωμένο άνθρακα ενισχύει ακριβώς αυτή τη διαχειριστική ανάγνωση. Η βιωσιμότητα του έργου αποτιμάται μέσω των τελικών συστημάτων εξοικονόμησης ενέργειας και μέσω της τεκμηριωμένης επιλογής να αξιοποιηθεί το υφιστάμενο κτιριακό απόθεμα αντί να αντικατασταθεί πλήρως. Από πλευράς διοίκησης έργου, αυτό σημαίνει ότι οι αποφάσεις για καθαιρέσεις, ενισχύσεις, υλικά, μεταφορές και τεκμηρίωση αποτελούν τμήματα μιας στρατηγικής κύκλου ζωής. Η συνεργασία με ακαδημαϊκό φορέα για την αποτίμηση αυτών των μεγεθών προσθέτει επίσης διάσταση αξιοπιστίας και διαφάνειας,

διότι μετατρέπει μια γενική περιβαλλοντική θέση σε ειδικά μετρημένο εύρημα για το ίδιο το έργο (Kondili et al., 2023).

Η σχετική έρευνα πρέπει να χρησιμοποιείται αυστηρά ως τεκμήριο, χωρίς διάθεση προβολής του έργου. Ασφαλές συμπέρασμα είναι ότι, στον συγκεκριμένο άξονα αξιολόγησης, η ανακατασκευή εμφανίζει σαφές όφελος ως προς την ενσωματωμένη ενέργεια και τον ενσωματωμένο άνθρακα. Δεν αποδεικνύει από μόνη της συνολική περιβαλλοντική υπεροχή σε όλους τους δείκτες κύκλου ζωής.

Η λειτουργική επαλήθευση συστημάτων εξετάζεται στην παρούσα ενότητα ως απαίτηση των πιστοποιήσεων, καθώς αποτελεί προαπαιτούμενο του LEED, ενώ η πλήρης διαδικασία της αναπτύσσεται στην Ενότητα 5.7. Στο συγκεκριμένο έργο, η λειτουργική επαλήθευση πρέπει να ιδωθεί και υπό το πρίσμα του κελύφους και της συνεργασίας του με τα Η/Μ συστήματα. Σε ανακατασκευή ψηλού κτιρίου, η ενεργειακή απόδοση, η αεροστεγανότητα, η θερμική άνεση και η πραγματική λειτουργική συμπεριφορά εξαρτώνται από τη σύνδεση όψης, κλιματισμού, αερισμού, BMS και μετρήσεων (Piraeus Tower A.E., 2021).

Η πυρασφάλεια και η εκκένωση δείχνουν επίσης ότι η λειτουργική επαλήθευση συστημάτων (commissioning) υπερβαίνει τον έλεγχο μεμονωμένων εξοπλισμών και αφορά τη συντονισμένη απόκριση διασυνδεδεμένων συστημάτων. Ο Πίνακας 5.6 συσχετίζει τα βασικά συστήματα με τα στάδια ελέγχου, δοκιμών και παράδοσης.

Πίνακας 5.6: Ενδεικτικός πίνακας λειτουργικής επαλήθευσης που συσχετίζει βασικά συστήματα του έργου με στάδια ελέγχου, δοκιμών και παράδοσης. Πηγή: ίδια επεξεργασία βάσει βιβλιογραφίας και τεκμηρίων έργου.

ΣΥΣΤΗΜΑ / ΣΤΑΔΙΟ	ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ	ΑΡΧΙΚΗ ΕΚΚΙΝΗΣΗ	ΤΑΒ	ΔΟΚΙΜΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ	ΠΑΡΑΔΟΣΗ
ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΕΡΙΣΜΟΣ	✓ Οπτικός έλεγχος εγκατάστασης ✓ Έλεγχος εξοπλισμού	✓ Αρχική εκκίνηση κεντρικών και τερματικών κλιματιστικών μονάδων (AHU/FCU) ✓ Έλεγχος ασφαλειών	✓ Εξισορρόπηση αέρα/νερού	✓ Απόδοση φορτίων ✓ Έλεγχος σημείων ρύθμισης	✓ Παράδοση τελικής αποτύπωσης «ως κατασκευάστηκε» ✓ Εγχειρίδια λειτουργίας και συντήρησης
ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	✓ Έλεγχος καλωδιώσεων ✓ Επαλήθευση εισόδων/εξόδων (I/O)	✓ Εκκίνηση εξυπηρετητή	—	✓ Έλεγχος αυτοματισμών✓	✓ Εκπαίδευση χρηστών

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΤΙΡΙΟΥ		✓ Δοκιμή ολοκλήρωσης		λογική συναγερμού	
ΠΥΡΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΑΓΕΡΜΟΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ	✓ Έλεγχος βρόχων ✓ Εγκατάσταση συσκευών	✓ Ενεργοποίηση η πίνακα	—	✓ Επαλήθευση λογικής αιτίου- αποτελέσματος ✓ Σενάρια συναγερμού	✓ Πιστοποιήσεις
μεγαφωνικό σύστημα φωνητικού συναγερμού	✓ Έλεγχος ηχείων & καλωδίωσης	✓ Αρχική εκκίνηση ερμαρίου εξοπλισμού	—	✓ Φωνητικά μηνύματα ανά ζώνη ✓ Λογική εκκένωσης	✓ Δοκιμές αποδοχής
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΠΝΟΥ	✓ Έλεγχος διαφραγμάτων/ανεμιστήρ ων	✓ Εκκίνηση ανεμιστήρων	—	✓ Σενάρια καπνού ✓ διεπαφή με πυρανίχνευση	✓ Έκθεση λειτουργικής επαλήθευσης συστημάτων
ΥΠΕΡΠΙΕΣΗ ΚΛΙΜΑΚΟΣΤΑΣΙΩ N	✓ Έλεγχος στεγανότητας	✓ Αρχική εκκίνηση ανεμιστήρων	✓ Ρύθμιση πιέσεων	✓ Δοκιμή ΔΡ κλιμακοστάσιων	✓ Δοκιμές αποδοχής
ΟΨΗ / ΚΕΛΥΦΟΣ	✓ Έλεγχος κατασκευής	—	—	✓ δοκιμές αεροστεγανότητας και υδατοστεγανότητ ας ✓ θερμική απόδοση	✓ τελική επιθεώρηση

5.6.2 Τεκμηρίωση πιστοποιήσεων

Η συλλογή τεκμηρίωσης για LEED και WELL ανέδειξε πόσο καθοριστικό είναι να οργανώνεται η πληροφορία από νωρίς και όχι απολογιστικά. Δηλώσεις υλικών, περιβαλλοντικές δηλώσεις προϊόντων (EPD – Environmental Product Declarations), δηλώσεις προϊόντων υγείας (HPD – Health Product Declarations), δηλώσεις χαμηλών εκπομπών πτητικών οργανικών ενώσεων (VOC – Volatile Organic Compounds), υποβολές εργοταξίου, φωτογραφική τεκμηρίωση και καταγραφές εφαρμογής έπρεπε να ενταχθούν σε διαδικασία παρακολούθησης υλικών και ποιότητας (Piraeus Tower A.E., 2023a).

Η πρακτική αξία αυτής της προσέγγισης φάνηκε σε παρεμβάσεις κυκλικής διαχείρισης υλικών, όπως η ανακύκλωση των υαλοπινάκων της αρχικής όψης. Η Solar Control

Glass (2026) αναφέρει ότι 125 τόνοι γυαλιού συλλέχθηκαν το 2022 και ανακυκλώθηκαν στη μονάδα της Saint-Gobain Glass στο Călărași της Ρουμανίας.

5.6.3 Απαιτήσεις σε H/M, αερισμό, ποιότητα εσωτερικού αέρα και μέτρηση

Στις H/M εγκαταστάσεις, οι απαιτήσεις LEED και WELL επηρέασαν αερισμό, ποιότητα αέρα, μετρήσεις και λογική ελέγχου. Ο αυξημένος νωπός αέρας, η παρακολούθηση ποιότητας εσωτερικού αέρα και οι μετρητές ενέργειας και νερού μετέτρεψαν την περιβαλλοντική επίδοση σε αντικείμενο που μπορεί να ελεγχθεί στη λειτουργία (Piraeus Tower A.E., 2023a).

Η επίδραση των πιστοποιήσεων αποτυπώνεται και σε συγκεκριμένους μετρήσιμους στόχους. Στο έργο του Πύργου του Πειραιά η ενεργειακή στρατηγική συνδέθηκε με αναμενόμενη βελτίωση άνω του 21% έναντι του ASHRAE 90.1-2010, με αυξημένο νωπό αέρα κατά 30% σε σχέση με τις συμβατικές απαιτήσεις, με εκτεταμένες υπομετρήσεις και με συνεχή παρακολούθηση κρίσιμων δεικτών ποιότητας εσωτερικού αέρα. (Piraeus Tower A.E., 2023b) Η αναφορά στην ελληνική ενεργειακή κατάταξη του κτιρίου πρέπει να διαβάζεται συμπληρωματικά προς τις απαιτήσεις KENAK και όχι ως υποκατάστατο της διεθνούς συγκριτικής τεκμηρίωσης έναντι ASHRAE 90.1-2010 (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2017). Αντίστοιχα, στο σκέλος της κατανάλωσης νερού, η λογική χρήσης υδραυλικών ειδών χαμηλής κατανάλωσης και ο στόχος σημαντικής μείωσης της χρήσης νερού κατέστησαν τις επιλογές εξοπλισμού, τις υποβολές υλικών και τις οδηγίες εσωτερικής διαμόρφωσης των μισθωτών ουσιαστικό αντικείμενο διαχειριστικού ελέγχου και όχι απλής τεχνικής συμμόρφωσης (ASHRAE, 2010; Piraeus Tower A.E., 2023a).

Παράλληλα, οι απαιτήσεις πυροπροστασίας και ασφάλειας ανέδειξαν ότι η τεχνική επίδοση του κτιρίου έπρεπε να αξιολογηθεί με όρους ενεργειακής αποδοτικότητας, άνεσης και ασφάλειας. Συστήματα όπως η υπερπίεση κλιμακοστασίων, ο αερισμός και η αποκαπνισμός των υπογείων έπρεπε να λειτουργούν αξιόπιστα σε διαφορετικά σενάρια κανονικής και έκτακτης λειτουργίας. Επομένως, η βιωσιμότητα του έργου συνδέθηκε με τη μείωση καταναλώσεων και με τη συνολική ικανότητα του κτιρίου να

παρακολουθείται, να ελέγχεται και να διατηρεί ασφαλή λειτουργία στον χρόνο. Σε αυτό το πλαίσιο, η εκτεταμένη μέτρηση και υπομέτρηση αποκτά ιδιαίτερη αξία μετά την παράδοση, καθώς παρέχει στη διαχείριση εγκαταστάσεων (Facility Management) πραγματικά δεδομένα για τον έλεγχο κατανάλωσης, την αναγνώριση αποκλίσεων και την έγκαιρη τεχνική παρέμβαση (INSTA, 2021a, 2021d; Προεδρικό Διάταγμα 41/2018).

5.6.4 Συντονισμός μισθωτών και συμμόρφωση

Στη λογική βασικού κορμού και κελύφους (Core & Shell), η συνολική επίδοση του κτιρίου επηρεαζόταν και από τις μελλοντικές εργασίες εσωτερικής διαμόρφωσης των μισθωτών. Για αυτό, οι οδηγίες προς μισθωτές έδιναν σαφείς κανόνες για τη σύνδεση των εργασιών εσωτερικής διαμόρφωσης μισθωτών (fit-out) με τις υποδομές του βασικού κτιρίου και με τις απαιτήσεις διατήρησης της συμμόρφωσης με τα πλαίσια LEED και WELL (Piraeus Tower A.E., 2023a).

Η σαφής διάκριση μεταξύ υποχρεώσεων βασικού κτιρίου και αντικειμένου μισθωτή ήταν απαραίτητη τόσο για τεχνικούς όσο και για συμβατικούς λόγους. Όπου τα όρια ήταν ασαφή, αυξανόταν ο κίνδυνος παρερμηνείας, καθυστέρησης υποβολών ή λανθασμένων παρεμβάσεων από πλευράς μισθωτή. Συνεπώς, ο συντονισμός με τους μισθωτές πρέπει να θεωρείται συνέχεια της διοίκησης έργου και όχι μεταγενέστερο, δευτερεύον στάδιο.

Ο συντονισμός με τους μισθωτές δεν αφορά μόνο τις απαιτήσεις βιωσιμότητας, τα υλικά, τον αερισμό ή τη μετρησιμότητα. Αφορά επίσης τη συμβατότητα των επιμέρους εγκαταστάσεων των μισθωτών με τα κεντρικά συστήματα ασφάλειας και λειτουργίας του βασικού κτιρίου. Ιδίως σε χώρους cold shell, όπου ο μισθωτής αναλαμβάνει σημαντικό μέρος της τεχνικής ολοκλήρωσης, πρέπει να είναι σαφές από την αρχή ποια σήματα, ποιες διασυνδέσεις και ποιες λειτουργικές προτεραιότητες απαιτούνται, ώστε η εσωτερική διαμόρφωση να μην υπονομεύει τη συνολική λειτουργία του κτιρίου (INSTA, 2021a; Piraeus Tower A.E., 2023a).

Ο κίνδυνος αυτός ήταν πρακτικός. Οι οδηγίες σχεδιασμού, κατασκευής και λειτουργίας προς τους μισθωτές μετέφεραν τις απαιτήσεις LEED και WELL στην εσωτερική διαμόρφωση μισθωτών (fit-out) και όρισαν ελάχιστα κριτήρια για υλικά, υδραυλικά είδη, φωτισμό, εξοπλισμό, ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος και διαδικασίες λειτουργίας. Επομένως, η συμμόρφωση εξαρτιόταν από το βασικό κτίριο και από το κατά πόσο οι μισθωτικές παρεμβάσεις δεν υπονόμευαν τις επιδόσεις που είχαν τεκμηριωθεί στον σχεδιασμό.

Η διάσταση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική για έργα βασικού κτιρίου και κελύφους (Core & Shell), επειδή μεταθέτει μέρος της διαχειριστικής ευθύνης πέρα από τη στενή περίοδο κατασκευής. Υποδομές και απαιτήσεις όπως η μέτρηση και υπομέτρηση καταναλώσεων, τα σημεία πρόσβασης σε πόσιμο νερό, οι απαιτήσεις αερισμού, τα υδραυλικά είδη χαμηλής κατανάλωσης, η παρακολούθηση της ποιότητας εσωτερικού αέρα και οι κανόνες επιλογής υλικών διαμορφώνουν ένα πλαίσιο λειτουργικών υποχρεώσεων για τους μισθωτές, το οποίο συνδέει την παράδοση του βασικού κτιρίου με τη μακροχρόνια απόδοση και λειτουργία του ακινήτου (Piraeus Tower A.E., 2023a; Volk et al., 2014).

Η ίδια προσέγγιση εξηγεί γιατί οι οδηγίες προς τους μισθωτές έπρεπε να περιλαμβάνουν συγκεκριμένες λειτουργικές προβλέψεις και όχι μόνο γενικές κατευθύνσεις. Ενδεικτικά, απαιτούνταν σημεία παροχής και αποχέτευσης για ψύκτες/διανομείς πόσιμου νερού, απαιτήσεις ενεργειακής μέτρησης, προδιαγραφές φωτισμού, όρια υλικών και διαδικασίες τεκμηρίωσης συμβατές με LEED και WELL. Το Σχήμα 5.21 οργανώνει τις οδηγίες αυτές προς τους μισθωτές κατά τα στάδια σχεδιασμού, κατασκευής και λειτουργίας, δείχνοντας πώς η συμμόρφωση με LEED και WELL έπρεπε να διατηρηθεί και μετά την παράδοση του βασικού κτιρίου.



Σχήμα 5.21: Οδηγίες αειφόρου σχεδιασμού, κατασκευής και λειτουργίας για τη διατήρηση των απαιτήσεων LEED και WELL. Πηγή: ιδία επεξεργασία.

Τα βασικά ρίσκα συμμόρφωσης εντοπίστηκαν σε τρία επίπεδα, δηλαδή στην αλυσίδα προμηθειών, στη συνέπεια της τεκμηρίωσης και στην πειθαρχία εφαρμογής στο πεδίο. Ακόμη και όταν η μελέτη ήταν ευθυγραμμισμένη με τους στόχους πιστοποίησης, μια μη τεκμηριωμένη υποκατάσταση υλικού, μία αστοχία στην καταγραφή ή μία λανθασμένη παρέμβαση σε στάδιο εσωτερικής διαμόρφωσης μπορούσε να υπονομεύσει κρίσιμα μονάδες πιστοποίησης ή λειτουργικές προϋποθέσεις. Η αντιμετώπιση επομένως απαιτούσε συστηματικούς ελέγχους, σαφή όρια ευθύνης και έγκαιρη εμπλοκή της ομάδας βιωσιμότητας στις αποφάσεις.

Επιπλέον, η εμπειρία του έργου ανέδειξε και μια παράμετρο που συχνά υποτιμάται, δηλαδή τη σχέση ασφαλισιμότητας και τεχνικής συμμόρφωσης. Σε κτίρια μεγάλης κλίμακας, η μη ευθυγράμμιση με σύγχρονα πρότυπα πυρασφάλειας, ελέγχου καπνού και συνολικής διαχείρισης κινδύνου μπορεί να επιβαρύνει σοβαρά τη λειτουργία και το οικονομικό προφίλ του ακινήτου μέσω των ασφαλίσεων ή των όρων κάλυψης (INSTA, 2021d; Προεδρικό Διάταγμα 41/2018).

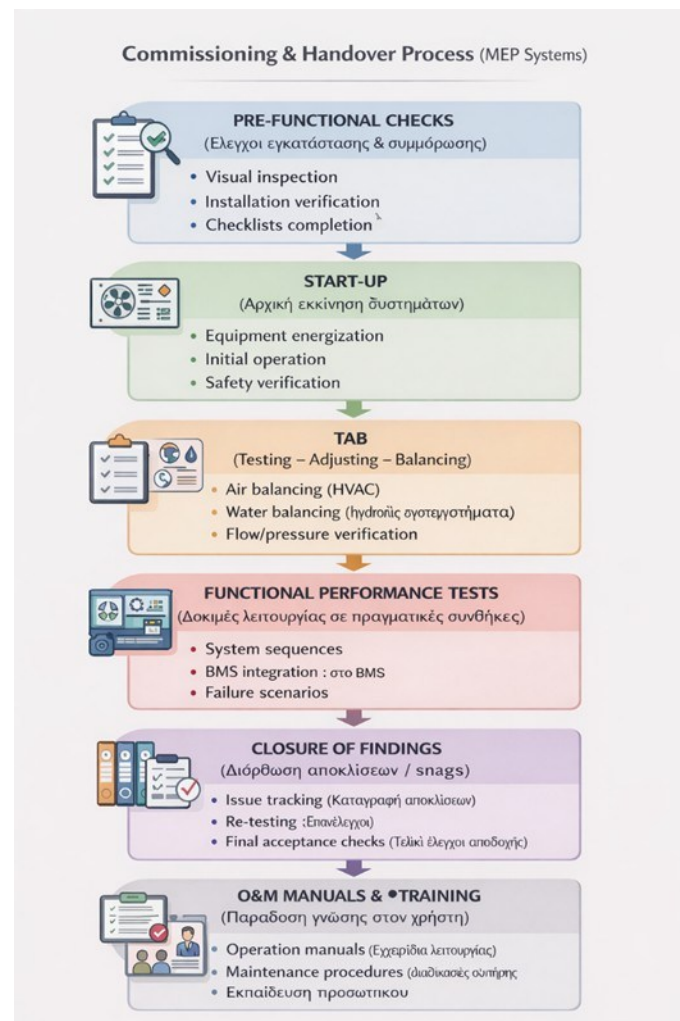
Ο Πίνακας 5.7 συγκεντρώνει τα σημεία όπου οι απαιτήσεις LEED και WELL μεταφράζονται σε συγκεκριμένες ενέργειες διαχείρισης έργου, από τις υποβολές υλικών έως τη λειτουργική τεκμηρίωση.

Πίνακας 5.7: Συσχέτιση LEED και WELL απαιτήσεων με ενέργειες διαχείρισης έργου. Πηγή: ιδία επεξεργασία βάσει βιβλιογραφίας και τεκμηρίων έργου.

Απαίτηση / θεματικός άξονας	Ενδεικτική επίδραση στο έργο	Απαραίτητη τεκμηρίωση / έλεγχος	Διαχειριστική συνέπεια
Πρόληψη ρύπανσης κατασκευαστικών δραστηριοτήτων / διαχείριση ποιότητας εσωτερικού αέρα	Έλεγχος εργοταξιακής σκόνης, προστασία υλικών και αέρα εσωτερικών χώρων	Σχέδιο διαχείρισης, φωτογραφικά τεκμήρια, ημερολόγια εφαρμογής	Ενσωμάτωση περιβαλλοντικής πειθαρχίας στην καθημερινή εργοταξιακή λειτουργία
Διαχείριση αποβλήτων κατασκευών και καθαιρέσεων	Διαλογή, παρακολούθηση και τεκμηρίωση ρευμάτων αποβλήτων	Παρακολούθηση αποβλήτων, αποδείξεις μεταφοράς/ανακύκλωσης, μηνιαίες αναφορές	Σύνδεση του εργοταξίου με στόχους κυκλικής οικονομίας και LEED πιστωτικών μονάδων
Περιβαλλοντικές δηλώσεις προϊόντων (EPD – Environmental Product Declarations) / υπεύθυνη προέλευση πρώτων υλών / συστατικά υλικών / υλικά χαμηλών εκπομπών	Επιλογή υλικών με περιβαλλοντικά και υγειονομικά χαρακτηριστικά συμβατά με πιστοποιήσεις	Περιβαλλοντικές δηλώσεις προϊόντων (EPD – Environmental Product Declarations), δηλώσεις προϊόντων υγείας (HPD – Health Product Declarations), δηλώσεις χαμηλών εκπομπών πτητικών οργανικών ενώσεων (VOC – Volatile Organic Compounds), εγκρίσεις υλικών	Πειθαρχημένη προ-έγκριση υλικών και παρακολούθηση υποβολών ανά εργολαβία
Ενισχυμένος αερισμός και παρακολούθηση ποιότητας εσωτερικού αέρα	Περισσότερος νωπός αέρας, φίλτρανση, παρακολούθηση ποιότητας εσωτερικού αέρα	Σχέδια κλιματισμού και αερισμού, μετρήσεις, αρχεία λειτουργικής επαλήθευσης συστημάτων, αισθητήρες και ολοκλήρωση με το κεντρικό σύστημα διαχείρισης κτιρίου	Σύνδεση των H/M επιλογών με λειτουργική απόδοση και WELL εμπειρία χρήστη
Μετρήσεις, υπομετρήσεις και ενεργειακή διαφάνεια	Εκτεταμένη μετρησιμότητα ενέργειας και νερού στο βασικό κτίριο	Σχέδια μέτρησης και υπομέτρησης, κατάλογοι σημείων ελέγχου και παραδοτέα κεντρικού συστήματος διαχείρισης κτιρίου / συστήματος ενεργειακής διαχείρισης (BEMS)	Δημιουργία υποδομής για έλεγχο κατανάλωσης και μεταγενέστερη διαχείριση εγκαταστάσεων
Οδηγίες προς μισθωτές και όρια βασικού κτιρίου και κελύφους (Core & Shell) / εσωτερικής διαμόρφωσης μισθωτή	Διατήρηση πιστοποιήσεων παρά τις μελλοντικές διαμορφώσεις μισθωτών	Οδηγίες σχεδιασμού και κατασκευής προς μισθωτές, τεχνικοί όροι διασύνδεσης	Η διαχείριση έργου επεκτείνεται και στη φάση εσωτερικής διαμόρφωσης των μισθωτών μέσω ελάχιστων υποχρεωτικών κανόνων

5.7 Λειτουργική επαλήθευση και παράδοση

Το Σχήμα 5.22 δείχνει γιατί η λειτουργική επαλήθευση συστημάτων (commissioning) δεν είναι τελευταίο βήμα πριν από την παράδοση. Είναι αλληλουχία ελέγχων, διορθώσεων, δοκιμών, τεκμηρίωσης και εκπαίδευσης, μέσω της οποίας η κατασκευαστική ολοκλήρωση γίνεται κατάσταση παραλαβής.



Σχήμα 5.22: Διαδικασία λειτουργικής επαλήθευσης και παράδοσης Η/Μ συστημάτων, από τους προκαταρκτικούς ελέγχους έως την εκπαίδευση του προσωπικού λειτουργίας. Πηγή: ιδία επεξεργασία.

Η διαδικασία λειτουργικής επαλήθευσης των Η/Μ εγκαταστάσεων αποτελεί δομημένη διαδικασία διασφάλισης ποιότητας, από την εγκατάσταση έως την τελική παράδοση. Περιλαμβάνει διαδοχικά στάδια ελέγχου, επαλήθευσης και τεκμηρίωσης, με στόχο να διασφαλιστεί ότι τα συστήματα λειτουργούν σύμφωνα με τις απαιτήσεις σχεδιασμού,

τις τεχνικές προδιαγραφές και τις λειτουργικές ανάγκες του έργου (ASHRAE, 2019; ASHRAE & Illuminating Engineering Society, 2013).

Στη συνέχεια, μέσω των δοκιμών λειτουργικής απόδοσης, εξετάζεται η πραγματική λειτουργία των συστημάτων υπό συνθήκες λειτουργίας, συμπεριλαμβανομένης της αλληλεπίδρασης με τα συστήματα αυτοματισμού, όπως το κεντρικό σύστημα διαχείρισης κτιρίου, και των σεναρίων αστοχίας. Τα ευρήματα καταγράφονται και οδηγούν στη φάση κλεισίματος ευρημάτων, κατά την οποία πραγματοποιούνται οι απαραίτητες διορθώσεις και επανέλεγχοι έως την πλήρη συμμόρφωση. Η διαδικασία ολοκληρώνεται με την παράδοση των εγχειριδίων λειτουργίας και συντήρησης (Operation & Maintenance manuals – O&M manuals), την εκπαίδευση του προσωπικού λειτουργίας και την τελική τεκμηρίωση.

Η λειτουργική επαλήθευση αποκτά ιδιαίτερη βαρύτητα σε έργα όπως ο Πύργος. Οι H/M εγκαταστάσεις, οι διασυνδέσεις συστημάτων και οι απαιτήσεις πιστοποίησης δεν επέτρεπαν παράδοση βασισμένη μόνο σε οπτική ολοκλήρωση ή σε μεμονωμένους ελέγχους εξοπλισμού.

5.7.1 Στρατηγική commissioning και ρόλοι

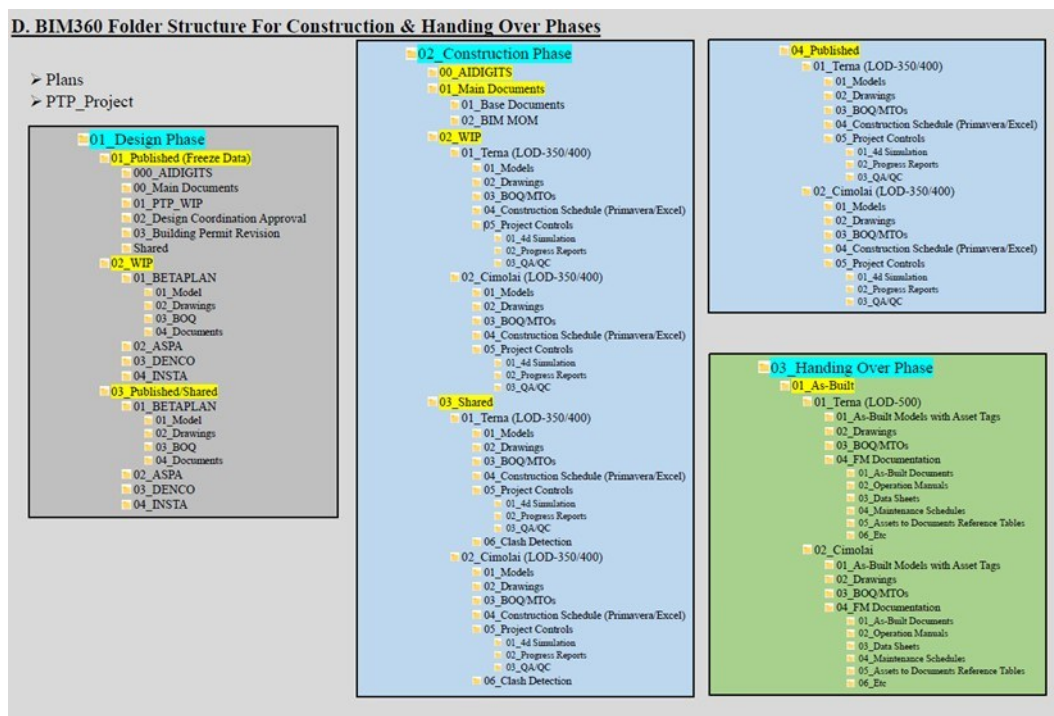
Στον Πύργο του Πειραιά, η λειτουργική επαλήθευση έπρεπε να οργανωθεί ως διαδικασία μετάβασης από την κατασκευή στη λειτουργία. Αυτό απαιτούσε σαφή ρόλο για τον εργοδότη, τους συμβούλους, τους αναδόχους, τους προμηθευτές, τις ομάδες αυτοματισμού και τους μελλοντικούς διαχειριστές του κτιρίου. Η έγκαιρη εμπλοκή των κατάλληλων μερών ήταν απαραίτητη, επειδή τα λειτουργικά προβλήματα δεν λύνονται αποτελεσματικά όταν εντοπίζονται μόνο στο τέλος.

Ιδιαίτερα σε κτίριο μικτής χρήσης με αυξημένες απαιτήσεις πιστοποιήσεων, η λειτουργική επαλήθευση συστημάτων αγγίζει αλληλεπιδράσεις μεταξύ κελύφους, κεντρικού συστήματος διαχείρισης κτιρίου, αερισμού, μετρήσεων, πυροπροστασίας και χώρων που παραδίδονται σε διαφορετικές φάσεις ή σε διαφορετικούς χρήστες.

5.7.2 Έλεγχοι, εκκίνηση, δοκιμές και εξισορρόπηση

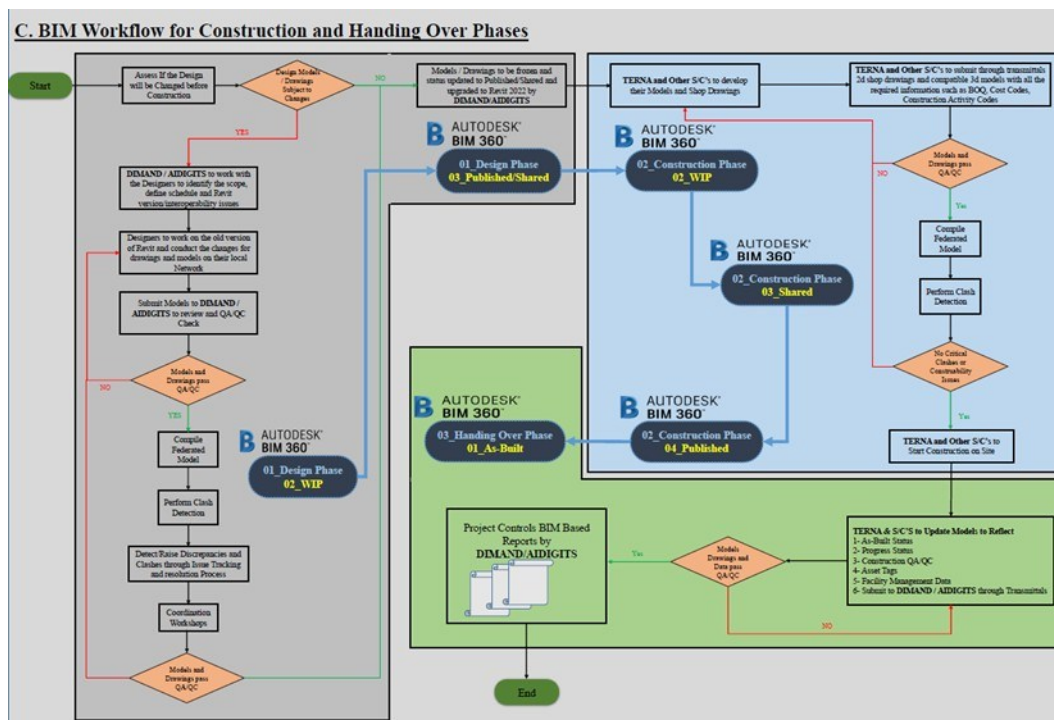
Η επιτυχία των δοκιμών εξαρτήθηκε από την ποιότητα της προετοιμασίας. Οι προλειτουργικοί έλεγχοι, οι διαδικασίες αρχικής εκκίνησης και η εξισορρόπηση και ρύθμιση συστημάτων έπρεπε να προηγηθούν με πειθαρχημένη σειρά, ώστε οι δοκιμές λειτουργικής απόδοσης να στηρίζονται σε πραγματική ετοιμότητα και όχι σε πρόωρη ενεργοποίηση ημιτελών εγκαταστάσεων. Σε έργα ανακατασκευής, όπου οι αλληλεξαρτήσεις είναι έντονες, η ετοιμότητα παράδοσης κάθε συστήματος επηρεάζεται από πολλά γειτονικά υποσυστήματα και από την ολοκλήρωση των υποδομών ελέγχου.

Η σύνδεση της ψηφιακής διαχείρισης με την παράδοση τεκμηριώνεται και από τη δομή φακέλων του BIM 360 για τις φάσεις κατασκευής και παράδοσης. Η δομή αυτή διακρίνει τα μοντέλα, τα σχέδια, τα αρχεία ποσοτήτων και προμετρήσεων (BOQ/MTOs), τα στοιχεία διασφάλισης και ελέγχου ποιότητας (Quality Assurance / Quality Control – QA/QC), τα μοντέλα τελικής αποτύπωσης as-built με ετικέτες περιουσιακών στοιχείων (asset tags), τα εγχειρίδια λειτουργίας και συντήρησης, τα τεχνικά φυλλάδια και τα προγράμματα συντήρησης (Love et al., 2014; TERNA S.A. & EB/Architects, 2022). Η δομή των φακέλων αυτών παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.15.



Εικόνα 5.15: Δομή φακέλων BIM 360 για τις φάσεις κατασκευής και παράδοσης του έργου. Πηγή: TERNA S.A. / EB Architects, BIM Execution Plan - Piraeus Tower Project.

Η συνολική ροή κατασκευής και παράδοσης δείχνει ότι η ψηφιακή διαδικασία συνεχιζόταν και μετά την έγκριση των μοντέλων, καλύπτοντας την ενημέρωση της τελικής κατασκευασμένης κατάστασης (as-built), την τεκμηρίωση προόδου, τις διαδικασίες διασφάλισης και ελέγχου ποιότητας και την παράδοση δεδομένων εγκαταστάσεων. Το στοιχείο αυτό ενισχύει το επιχείρημα ότι το BIM λειτούργησε ως πρακτικό μέσο μετατροπής της κατασκευαστικής τεκμηρίωσης σε λειτουργική τεκμηρίωση του κτιρίου. Η ροή αυτή παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.16.



Εικόνα 5.16: Ροή BIM για τις φάσεις κατασκευής και παράδοσης, από το στάδιο εργασίας σε εξέλιξη (Work in Progress – WIP) και το περιβάλλον κοινής χρήσης έως την τελική τεκμηρίωση της κατασκευασμένης κατάστασης (as-built documentation). Πηγή: TERNA S.A. / EB Architects, BIM Execution Plan - Piraeus Tower Project.

Για τον λόγο αυτό, οι δοκιμές έπρεπε να επιβεβαιώνουν τη μηχανική ολοκλήρωση, την καθαρότητα δικτύων, τη σωστή φορά λειτουργίας, τις ηλεκτρικές τροφοδοσίες, τους αυτοματισμούς, τις ασφαλιστικές διατάξεις και τη συμβατότητα με τα εγκεκριμένα σενάρια λειτουργίας.

5.7.3 Δοκιμές λειτουργικής απόδοσης και διαχείριση ευρημάτων

Οι δοκιμές λειτουργικής απόδοσης ελέγχουν κάτι περισσότερο από την ενεργοποίηση ενός συστήματος. Ελέγχουν αν το σύστημα λειτουργεί σωστά μαζί με τα υπόλοιπα και σύμφωνα με τη σχεδιασμένη λογική ελέγχου. Αυτό είναι καθοριστικό για αερισμό, αποκαπνισμό, υπερπίεση κλιμακοστασίων, μετρήσεις, υπομετρήσεις και διασύνδεση με το κεντρικό σύστημα διαχείρισης κτιρίου (BMS).

Η διαχείριση των ευρημάτων από τις δοκιμές έπρεπε να ακολουθεί σαφή διαδικασία, η οποία περιλάμβανε καταγραφή, αξιολόγηση σοβαρότητας, ανάθεση υπευθυνότητας,

διορθωτική ενέργεια, επανέλεγχο και κλείσιμο. Χωρίς αυτή τη διαδικασία, η λειτουργική επαλήθευση θα κινδύνευε να περιοριστεί σε τυπική καταγραφή ελέγχων, χωρίς ουσιαστική επίδραση στην ποιότητα της παράδοσης.

5.7.4 Παραδοτέα, O&M, εκπαίδευση και παράδοση

Η τελική αξία της λειτουργικής επαλήθευσης συστημάτων αποτυπώνεται στα παραδοτέα που συνοδεύουν την παράδοση του κτιρίου. Τα εγχειρίδια λειτουργίας και συντήρησης (Operation & Maintenance manuals – O&M manuals), η τεκμηρίωση τελικής αποτύπωσης «ως κατασκευάστηκε», οι καταγραφές δοκιμών, τα προγράμματα συντήρησης, η εκπαίδευση προσωπικού και οι λίστες εκκρεμοτήτων συνθέτουν το πραγματικό περιεχόμενο της παράδοσης. Σε ένα κτίριο υψηλής τεχνικής πολυπλοκότητας, η ποιότητα των παραδοτέων αυτών επηρεάζει άμεσα το πόσο γρήγορα και αξιόπιστα μπορεί να περάσει ο φορέας λειτουργίας από την παραλαβή στη σταθερή λειτουργία.

Η ύπαρξη εκτεταμένου δικτύου μετρήσεων και ψηφιακών παραδοτέων προσθέτει μία ακόμη διάσταση, καθώς η παράδοση αφορά στατικά αρχεία και λειτουργικά δεδομένα που μπορούν να αξιοποιηθούν στη διαχείριση εγκαταστάσεων. Έτσι, η παράδοση ολοκληρώνεται ουσιαστικά όταν η λειτουργική ομάδα αποκτήσει την τεκμηρίωση και την ικανότητα να χρησιμοποιεί το κτίριο ως μετρήσιμο και διαχειρίσιμο σύστημα. Ο Πίνακας 5.8 συγκεντρώνει τα κρίσιμα παραδοτέα της λειτουργικής επαλήθευσης και της παράδοσης, δείχνοντας ποια στοιχεία πρέπει να περάσουν από την κατασκευή στη μελλοντική λειτουργία.

Πίνακας 5.8: Κρίσιμα παραδοτέα λειτουργικής επαλήθευσης συστημάτων και της παράδοσης. Πηγή: ιδία επεξεργασία βάσει βιβλιογραφίας και τεκμηρίων έργου.

Παραδοτέο	Σκοπός	Κρίσιμο σημείο ελέγχου	Αξία για τη λειτουργία / παράδοση
Εγκεκριμένα κατασκευαστικά σχέδια εφαρμογής και τελικά συντονισμένα μοντέλα	Τεκμηρίωση της εγκεκριμένης λύσης πριν από τη δοκιμή	Συνέπεια μεταξύ σταδίου WIP, κοινής χρήσης και	Μειώνει ασάφειες και λειτουργεί ως βάση για αξιόπιστη τελική

		εγκεκριμένων εκδόσεων	αποτύπωση «ως κατασκευάστηκε»
Σχέδια τελικής αποτύπωσης «ως κατασκευάστηκε» και ενημερωμένο μοντέλο ψηφιακής μοντελοποίησης κτιριακής πληροφορίας (BIM) / πληροφορία εξοπλισμού και περιουσιακών στοιχείων	Αποτύπωση του τι πραγματικά κατασκευάστηκε	Ορθότητα γεωμετρίας και κωδικοποίηση στοιχείων εξοπλισμού	Υποστηρίζει συντήρηση, διαχείριση εγκαταστάσεων (FM) και μελλοντικές παρεμβάσεις
Προκαταρκτικές λίστες ελέγχου και αρχεία αρχικής εκκίνησης	Επιβεβαίωση ότι κάθε σύστημα είναι έτοιμο για ενεργοποίηση	Ολοκλήρωση καθαρισμών, σωστές συνδέσεις, επισημάνσεις και φορά λειτουργίας	Μειώνει τον κίνδυνο αστοχιών στην πρώτη εκκίνηση
TAB / ρυθμίσεις / αρχεία εξισορρόπησης	Τεκμηρίωση ρύθμισης και εξισορρόπησης συστημάτων	Επάρκεια παροχών, πιέσεων και σημείων ρύθμισης	Συνδέει κατασκευή με πραγματική λειτουργική απόδοση
Αναφορές δοκιμών λειτουργικής απόδοσης και μητρώο θεμάτων	Έλεγχος συνεργασίας συστημάτων σε πραγματικά σενάρια	Καταγραφή ευρημάτων, υπευθύνων και κατάσταση κλεισίματος	Οδηγεί τη λειτουργική επαλήθευση συστημάτων πέρα από τις τυπικές δοκιμές, μέχρι το κλείσιμο εκκρεμοτήτων
Εγχειρίδια λειτουργίας και συντήρησης, αρχεία εκπαίδευσης και φάκελοι παράδοσης	Μεταφορά γνώσης προς την ομάδα λειτουργίας	Πληρότητα εγχειριδίων, εκπαιδεύσεων και μητρώων εξοπλισμού	Υποστηρίζει ασφαλή και σταθερή πρώιμη λειτουργία

Τα πραγματικά ενεργειακά δεδομένα δίνουν συνέχεια στη συζήτηση για την παράδοση. Η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση του δώματος, ισχύος 100 kWp κατά τα διαθέσιμα στοιχεία του έργου, παρουσιάζεται ως υποδομή με μετρήσιμη συνεισφορά στη μείωση της αγοραζόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Για αυτό αξιοποιούνται τα μηνιαία στοιχεία Ιουλίου 2025 έως Απριλίου 2026 (Piraeus Tower A.E., 2026a).

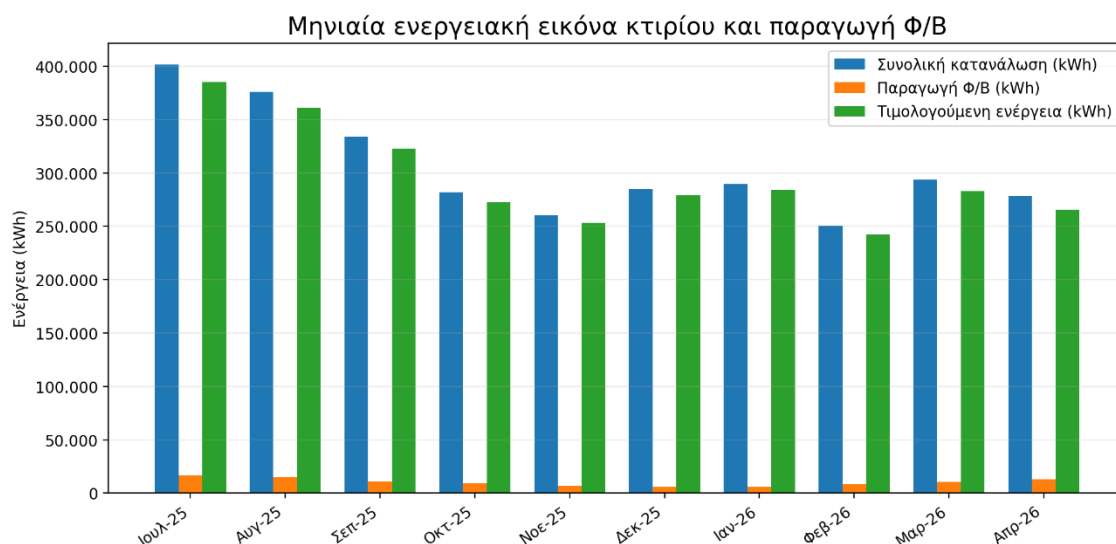
Ο Πίνακας 5.9 παρουσιάζει τη μηνιαία εικόνα που προκύπτει από το αρχείο λειτουργικών δεδομένων. Η ένταξή του στην εργασία αποσκοπεί στη σύνδεση της στρατηγικής βιωσιμότητας με ένα συγκεκριμένο και μετρήσιμο λειτουργικό αποτέλεσμα, χωρίς να διεκδικεί πλήρη ενεργειακή ή οικονομική ανάλυση του κτιρίου.

Πίνακας 5.9: Μηνιαία κατανάλωση, παραγωγή φωτοβολταϊκού συστήματος και οικονομική εξοικονόμηση κατά τη λειτουργία του Πύργου Πειραιά. Πηγή: επεξεργασία στοιχείων από Piraeus Tower A.E. (2026a).

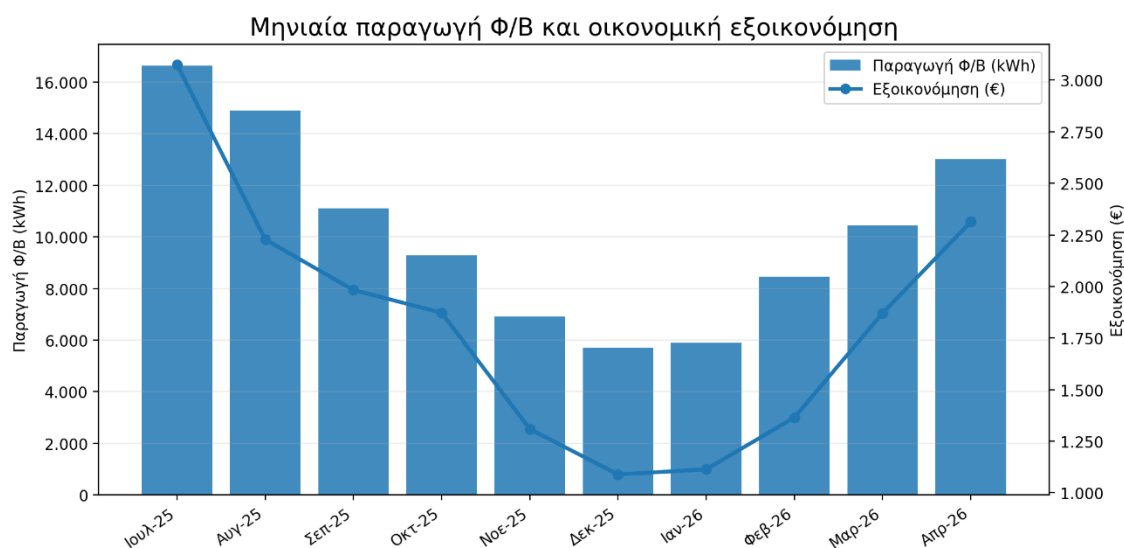
Μήνας	Συνολική κατανάλωση (kWh)	Παραγωγή Φ/Β (kWh)	Τιμολογούμενη ενέργεια (kWh)	Εξοικονόμηση (€)	Κάλυψη Φ/Β (%)
Ιουλ. 2025	401.588	16.630	384.958	3.074,69 €	4,14%
Αυγ. 2025	376.080	14.887	361.193	2.227,61 €	3,96%
Σεπ. 2025	334.081	11.106	322.975	1.982,79 €	3,32%
Οκτ. 2025	281.771	9.276	272.495	1.872,70 €	3,29%
Νοε. 2025	260.344	6.906	253.438	1.308,90 €	2,65%
Δεκ. 2025	284.873	5.710	279.163	1.089,07 €	2,00%
Ιαν. 2026	289.806	5.898	283.908	1.113,93 €	2,04%
Φεβ. 2026	250.930	8.462	242.468	1.365,30 €	3,37%
Μαρ. 2026	293.490	10.455	283.035	1.870,88 €	3,56%
Απρ. 2026	278.457	13.016	265.441	2.313,63 €	4,67%
Σύνολο περιόδου	3.051.420	102.346	2.949.074	18.219,50 €	3,35%

Για την εξεταζόμενη περίοδο, η συνολική κατανάλωση του κτιρίου ανήλθε σε 3.051.420 kWh, ενώ η παραγωγή του φωτοβολταϊκού συστήματος ανήλθε σε 102.346 kWh. Η παραγόμενη ενέργεια αντιστοιχεί σε 3,35% της συνολικής κατανάλωσης και οδήγησε σε συνολική οικονομική εξοικονόμηση 18.219,50 €, δηλαδή κατά μέσο όρο περίπου 1.821,95 € ανά μήνα. Το αποτέλεσμα πρέπει να ερμηνευθεί ως μετρήσιμη συνεισφορά στη μείωση του λειτουργικού κόστους και όχι ως πλήρης αντιστάθμιση της ενεργειακής απαίτησης ενός σύνθετου πολυώροφου κτιρίου.

Τα Σχήματα 5.23 και 5.24 μεταφέρουν τα λειτουργικά δεδομένα σε πιο καθαρή μορφή. Το πρώτο δείχνει τη θέση της παραγωγής Φ/Β μέσα στη συνολική ενεργειακή εικόνα, ενώ το δεύτερο δείχνει τη μηνιαία παραγωγή και την αντίστοιχη οικονομική εξοικονόμηση. Το διαχειριστικό συμπέρασμα είναι περιορισμένο αλλά χρήσιμο, η βιώσιμη υποδομή αποκτά αξία όταν μπορεί να μετρηθεί, να επιμεριστεί και να παρουσιαστεί με σαφήνεια στον φορέα λειτουργίας και στους μισθωτές.



Σχήμα 5.23: Μηνιαία ενεργειακή εικόνα κτιρίου, παραγωγή φωτοβολταϊκού συστήματος και τελικά τιμολογούμενη ενέργεια για την περίοδο Ιουλίου 2025 έως Απριλίου 2026. Πηγή: επεξεργασία στοιχείων από Piraeus Tower A.E. (2026a).



Σχήμα 5.24: Μηνιαία παραγωγή φωτοβολταϊκού συστήματος και αντίστοιχη οικονομική εξοικονόμηση για την περίοδο Ιουλίου 2025 έως Απριλίου 2026. Πηγή: επεξεργασία στοιχείων από Piraeus Tower A.E. (2026a).

Η αξιοποίηση των παραπάνω στοιχείων ενισχύει την εργασία επειδή μεταφέρει τη συζήτηση από τις προβλέψεις σχεδιασμού και τις απαιτήσεις πιστοποίησης στη μετρημένη λειτουργική επίδοση. Παράλληλα, οριοθετεί σωστά το συμπέρασμα, καθώς το φωτοβολταϊκό σύστημα προσθέτει ένα τεκμηριωμένο και οικονομικά αναγνωρίσιμο

όφελος στη φάση λειτουργίας, χωρίς να μεταβάλλει από μόνο του τη συνολική ενεργειακή εικόνα του Πύργου.

5.7.5 Παρακολούθηση φορτίων μέσω του PMS

Τα δεδομένα του συστήματος διαχείρισης ισχύος (Power Management System – PMS) της Schneider Electric συμπληρώνουν την εικόνα της λειτουργικής μετάβασης. Εξήχθησαν από το τμήμα διαχείρισης εγκαταστάσεων (Facility Management – FM) του Πύργου και δείχνουν ότι η μετρητική υποδομή χρησιμοποιήθηκε μετά την παράδοση, πέρα από τη θεωρητική απαίτηση πιστοποίησης.

Οι διακριτοί μετρητές ανά κατηγορία φορτίου υπηρετούν τη στρατηγική προηγμένης ενεργειακής μέτρησης και τις απαιτήσεις LEED Platinum. Οι οδηγίες LEED και WELL αναφέρουν δυνατότητα ανεξάρτητης καταγραφής ανά χώρο μισθωτή, όροφο και τελική χρήση, όπως ρευματοδότες, φωτισμός και HVAC (Piraeus Tower A.E., 2023a). Η απαίτηση πιστοποίησης έγινε έτσι μόνιμη υποδομή λειτουργικής παρακολούθησης.

Για την παρούσα εργασία αξιοποιήθηκε αναφορά εξαγωγής δεδομένων από το PMS για τον 14ο όροφο, ο οποίος αντιμετωπίζεται ως ενδεικτικός τυπικός όροφος γραφείων. Η αναφορά έχει ονομαστική περίοδο 01/01/2026 έως 13/06/2026, ενώ τα διαθέσιμα δεδομένα φθάνουν έως τις 12/06/2026 15:15. Επειδή το ίδιο το αρχείο εμφανίζει προειδοποιήσεις για κενά δεδομένων και χρονική αστοχία σε επιμέρους σημεία, τα στοιχεία χρησιμοποιούνται ως ενδεικτικό λειτουργικό τεκμήριο και όχι ως πλήρης ενεργειακή αποτίμηση του ορόφου ή του κτιρίου. Ο Πίνακας 5.10 παρουσιάζει την κατανομή των καταναλώσεων του τυπικού ορόφου γραφείων ανά κατηγορία φορτίου, όπως προέκυψε από την εξαγωγή δεδομένων του PMS, και καθιστά ορατό ότι τα φορτία HVAC συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο μέρος της κατανάλωσης.

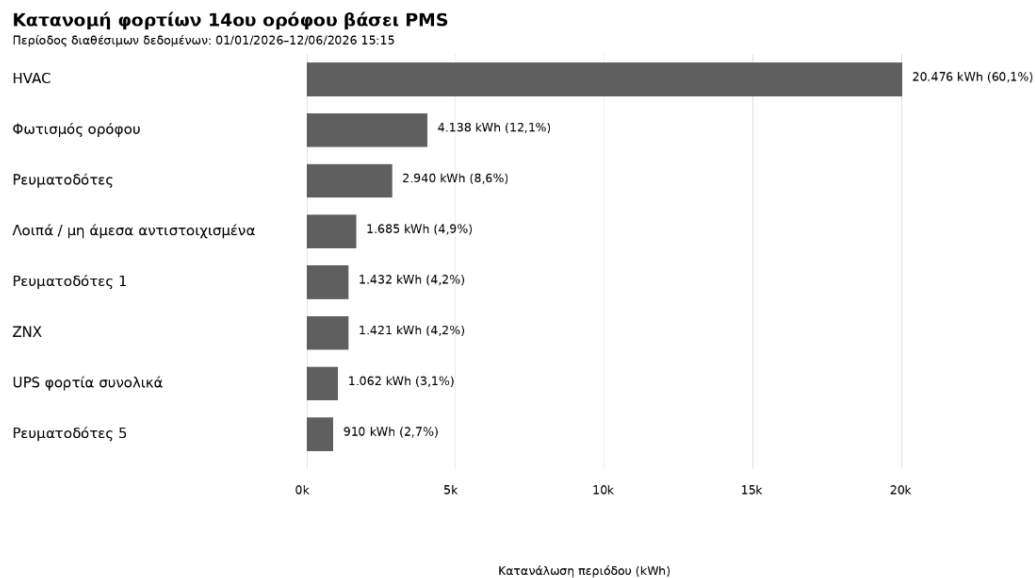
Πίνακας 5.10: Κατανομή καταναλώσεων τυπικού ορόφου γραφείων ανά κατηγορία φορτίου, βάσει μετρητικής υποδομής προηγμένης ενεργειακής μέτρησης και εξαγωγής δεδομένων από το PMS της Schneider Electric του Πύργου Πειραιά. Πηγή: επεξεργασία στοιχείων από Piraeus Tower A.E. / Facility Management (2026).

Κατηγορία φορτίου	Ένδειξη / μετρητής PMS	Κατανάλωση περιόδου (kWh)	Ποσοστό επί Tap Off (%)
Εξωτερικός φωτισμός	L14.EPB_II_14_01	0,00	0,00%
Φωτισμός ορόφου	L14.EPB_II_14_02	4.137,57	12,15%
Ρευματοδότες	L14.EPB_II_14_03	2.939,51	8,63%
ZNX / σχετική κατηγορία φορτίου	L14.EPB_II_14_04	1.421,09	4,17%
HVAC	L14.EPB_II_14_05	20.475,93	60,11%
Ρευματοδότες 1	L14.UPB_II_14_01	1.432,19	4,20%
Ρευματοδότες 5	L14.UPB_II_14_02	909,79	2,67%
UPS φορτία συνολικά	L14.UPB_II_14_03	1.061,79	3,12%
Λοιπά / μη άμεσα αντιστοιχισμένα φορτία	Διαφορά έναντι Tap Off	1.684,78	4,95%
Σύνολο Tap Off ορόφου	NORTH_SHAFT.EPB_III_14_CMP_1	34.062,65	100,00%

Η επεξεργασία των αθροιστικών μετρήσεων δείχνει ότι, για την εξεταζόμενη περίοδο, η συνολική κατανάλωση του Tap Off του 14ου ορόφου ανήλθε σε 34.062,65 kWh. Η μεγαλύτερη κατηγορία φορτίου αφορά το σύστημα HVAC, με 20.475,93 kWh και ποσοστό περίπου 60,11% επί της συνολικής κατανάλωσης του ορόφου. Ακολουθεί ο φωτισμός με 4.137,57 kWh και ποσοστό περίπου 12,15%, ενώ οι ρευματοδότες, τα UPS φορτία και οι λοιπές επιμέρους κατηγορίες συγκροτούν μικρότερα αλλά διαχειριστικά σημαντικά ποσοστά.

Η διατήρηση της ενεργειακής απόδοσης στη φάση λειτουργίας προϋποθέτει οργανωμένη διαχείριση εγκαταστάσεων (Facility Management – FM), η οποία αξιοποιεί δεδομένα από το σύστημα κτιριακού και ενεργειακού ελέγχου (Building and Energy Management System – BEMS) και το σύστημα διαχείρισης ισχύος (Power Management System – PMS). Μέσω αυτών, η λειτουργία του κτιρίου μπορεί να

παρακολουθείται σε επίπεδο βασικών φορτίων, όπως ο κλιματισμός, ο φωτισμός και οι ρευματοδότες, ώστε να εντοπίζονται αποκλίσεις και να υποστηρίζονται τεκμηριωμένες αποφάσεις βελτιστοποίησης.



Σχήμα 5.25: Ποσοστιαία κατανομή φορτίων τυπικού ορόφου γραφείων, βάσει διακριτής ενεργειακής μέτρησης ανά χρήση φορτίου μέσω του PMS. Πηγή: επεξεργασία στοιχείων από Piraeus Tower A.E. / Facility Management (2026).

Το Σχήμα 5.25 οπτικοποιεί την ίδια εικόνα και επιβεβαιώνει τη συγκέντρωση της κατανάλωσης στα φορτία HVAC. Το εύρημα αφορά έναν όροφο και συγκεκριμένη περίοδο, επομένως δεν πρέπει να γενικευθεί άκριτα στο σύνολο του κτιρίου. Παρ' όλα αυτά, δείχνει την αξία της διακριτής μέτρησης ανά κατηγορία φορτίου. Σε αυτή την περίπτωση, το LEED Platinum εμφανίζεται ως απαίτηση που άφησε πίσω της χρήσιμο εργαλείο καθημερινής ενεργειακής διαχείρισης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΔΙΔΑΓΜΑΤΑ

6.1 Συνοπτική αποτύπωση βασικών συμπερασμάτων

Η ανακατασκευή και ενεργειακή αναβάθμιση του Πύργου του Πειραιά υπήρξε σύνθετο έργο διοίκησης τεχνικής, οργανωτικής και λειτουργικής πολυπλοκότητας, στο οποίο η επανάχρηση του υφιστάμενου φέροντος οργανισμού έπρεπε να συνδυαστεί με νέο κέλυφος, σύγχρονες Η/Μ εγκαταστάσεις, απαιτήσεις μισθωτών, περιβαλλοντικές πιστοποιήσεις και διαδικασίες παράδοσης σε λειτουργία.

Το κρίσιμο ζήτημα του έργου ήταν ο έλεγχος της αβεβαιότητας και η επιλογή σωστών τεχνικών λύσεων. Η κατάσταση του υφιστάμενου κτιρίου, οι περιορισμοί των παλαιών γεωμετριών, οι νέες απαιτήσεις χρήσης και οι συνεχείς τεχνικές αλληλεξαρτήσεις δημιούργησαν ανάγκη για συστηματικό συντονισμό, έλεγχο αλλαγών και σαφή τεκμηρίωση αποφάσεων.

Η διοίκηση του έργου λειτούργησε ουσιαστικά ως μηχανισμός σύνδεσης μεταξύ μελέτης, εργοταξίου, προμηθειών, ειδικοτήτων, μισθωτών και λειτουργίας. Η πρόοδος του έργου έπρεπε να κρίνεται με βάση την ένταξη των επιμέρους εργασιών σε ένα συνεκτικό και λειτουργικά παραδοτέο σύνολο. Ο μεγαλύτερος κίνδυνος, αλλά και η μεγαλύτερη αξία της, συγκεντρώθηκαν στα όρια μεταξύ συστημάτων, ευθυνών, μισθωτών, πιστοποιήσεων και λειτουργίας.

Τα επιμέρους αυτά συμπεράσματα εξειδικεύονται στη συνέχεια του κεφαλαίου ως απαντήσεις στα ερευνητικά ερωτήματα και ως μεταφέρσιμα διδάγματα· τα λειτουργικά δεδομένα φωτοβολταϊκών και PMS, που παρουσιάζονται αναλυτικά στην εφαρμοσμένη ανάλυση, τεκμηριώνουν τη μετάβαση του κτιρίου σε λειτουργία.

6.2 Απαντήσεις στα ερευνητικά ερωτήματα

6.2.1 Όρια βασικού κτιρίου και εργασιών μισθωτών ως μηχανισμός ελέγχου κινδύνου

Η μικτή χρήση του Πύργου επηρέασε ουσιαστικά τον προγραμματισμό, τις τεχνικές αποφάσεις και την παράδοση, καθώς το κτίριο έπρεπε να υποδεχθεί διαφορετικούς μισθωτές, διαφορετικά επίπεδα εσωτερικής διαμόρφωσης και διαφορετικές χρονικές απαιτήσεις. Η διάκριση μεταξύ βασικού κτιρίου (base building) και εργασιών μισθωτών (tenant works) υπερέβη τον απλό συμβατικό διαχωρισμό και λειτούργησε ως τεχνικός και διαχειριστικός μηχανισμός ελέγχου. Καθόριζε ποια συστήματα αποτελούν κοινή υποδομή, ποια στοιχεία μπορούν να τροποποιηθούν και ποιος εγκρίνει τις αλλαγές. Όπου τα όρια αυτά ήταν ασαφή, αυξανόταν ο κίνδυνος ασυμβατοτήτων, καθυστερήσεων, επαναληπτικών εργασιών και ασαφούς ευθύνης κατά την παράδοση.

Η κρισιμότητα του ορίου φάνηκε εντονότερα στις λειτουργικές διασυνδέσεις ασφαλείας. Ένας χώρος που παραδίδεται ως κέλυφος αποκτά δικά του συστήματα κατά την εσωτερική διαμόρφωση, τα οποία όμως οφείλουν να υπακούουν στη συνολική λογική ασφαλείας του κτιρίου. Το κεντρικό σύστημα πυρανίχνευσης ανταλλάσσει κρίσιμα σήματα μέσω προκαθορισμένης μήτρας αιτίου–αποτελέσματος, ενώ το κεντρικό PAVA υπερισχύει του τοπικού σε περίπτωση συμβάντος. Με την ίδια λογική, η διατήρηση της συμμόρφωσης με τις απαιτήσεις LEED και WELL εξαρτιόταν από το αν οι μισθωτικές παρεμβάσεις σέβονταν τις τεκμηριωμένες επιδόσεις, γεγονός που μεταθέτει μέρος της διαχειριστικής ευθύνης πέρα από την κατασκευή. Επομένως, το όριο βασικού κτιρίου και μισθωτή είναι ταυτόχρονα συμβατικό, κατασκευαστικό και λειτουργικό.

6.2.2 Συντονισμός H/M εγκαταστάσεων και καθορισμός μετρήσιμων χαρακτηριστικών του κτιρίου

Σε ένα προϋπάρχον σώμα με παλαιές γεωμετρίες και αβεβαιότητες, ο συντονισμός των H/M εγκαταστάσεων δεν μπορούσε να οργανωθεί ως γραμμική ακολουθία μελέτης,

κατασκευής και παράδοσης· η τεχνική διερεύνηση, οι αναθεωρήσεις, οι υποβολές και οι εργασίες πεδίου εξελίσσονταν με ισχυρές αλληλεξαρτήσεις. Σε ζώνες συμφόρησης, όπως το Β' υπόγειο, ο μεσώροφος και οι ψευδοροφές του τυπικού ορόφου, ο τρισδιάστατος έλεγχος μέσω BIM έδωσε σε ασαφείς τεχνικές ανησυχίες τη μορφή συγκεκριμένων ζητημάτων προς απόφαση, επιτρέποντας τον έλεγχο εναλλακτικών οδεύσεων, διαθέσιμων υψών, προσβάσεων και κατασκευαστικής αλληλουχίας πριν από την εγκατάσταση. Το BIM και το κοινό περιβάλλον δεδομένων (CDE) απέδωσαν ως κοινή βάση αναφοράς και ως μηχανισμός ιχνηλασιμότητας, χωρίς να υποκαθιστούν την τεχνική κρίση ή τον συντονισμό στο πεδίο.

Οι αποφάσεις αυτές δεν παρέμειναν σχεδιαστικές· καθόρισαν μετρήσιμα χαρακτηριστικά του τελικού κτιρίου. Χαρακτηριστική είναι η συγκέντρωση των βασικών οδεύσεων στις ζώνες των διαδρόμων, κοντά στον πυρήνα, ώστε να περιοριστεί η επιβάρυνση των χώρων εργασίας. Η επιλογή αυτή διατήρησε καθαρό ύψος περίπου 2,30 m στους διαδρόμους και περίπου 2,60 m στους χώρους γραφείων. Ο συντονισμός των H/M εγκαταστάσεων επηρέασε έτσι άμεσα την κατασκευασιμότητα, την προσβασιμότητα για συντήρηση και την τελική ποιότητα των χώρων, αναδεικνύοντας ότι σε σύνθετες ανακατασκευές η πληροφορία πρέπει να διοικείται με την ίδια αυστηρότητα όπως και η κατασκευή.

6.2.3 Πυρασφάλεια και πιστοποιήσεις ως ενεργός μηχανισμός ποιότητας

Οι απαιτήσεις πυρασφάλειας και οι απαιτήσεις των πλαισίων LEED και WELL απέδωσαν διαχειριστική αξία στον βαθμό που ενσωματώθηκαν νωρίς στην παραγωγή του έργου, αντί να αντιμετωπιστούν απολογιστικά. Στην πυρασφάλεια, η μελέτη χρονισμού των σταδίων εκκένωσης εξειδίκευσε τη γενική κανονιστική απαίτηση σε συγκεκριμένο επιχειρησιακό σενάριο, με χρόνους προσυναγερμού, σειρά ενεργοποίησης και τεχνική διασύνδεση πυρανίχνευσης και μεγαφωνικού συστήματος φωνητικού συναγερμού, δηλαδή σε προγραμματιζόμενη και δοκιμάσιμη προδιαγραφή. Αντίστοιχα, οι πιστοποιήσεις οδήγησαν γενικούς στόχους βιωσιμότητας και ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος σε συγκεκριμένες απαιτήσεις σχεδιασμού, προμηθειών, υλικών, αερισμού, μέτρησης και τεκμηρίωσης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί

η διαχείριση των υαλοπινάκων της παλαιάς όψης, όπου η απαίτηση ανακύκλωσης επηρέασε το αντικείμενο των καθαιρέσεων, τη χωριστή συλλογή των υλικών και την τεκμηρίωση ήδη κατά τη διάρκεια της κατασκευής.

Η πρακτική αξία της προσέγγισης ήταν διττή. Όταν οι απαιτήσεις ενσωματώνονταν στις υποβολές και τους ελέγχους, λειτουργούσαν ως μηχανισμός ποιότητας· όταν αφήνονταν για το τέλος, εξέπιπταν σε απολογιστική αναζήτηση τεκμηρίων, με κίνδυνο μη τεκμηριωμένης υποκατάστασης υλικού ή λανθασμένης παρέμβασης στη φάση εσωτερικής διαμόρφωσης. Αναδείχθηκε επίσης μια συχνά υποτιμημένη διάσταση. Η ευθυγράμμιση με σύγχρονα πρότυπα πυρασφάλειας και διαχείρισης κινδύνου συνδέεται με την ασφαλισιμότητα και το οικονομικό προφίλ του ακινήτου, γεγονός που ενισχύει τη θέση ότι η συμμόρφωση αποτελεί αντικείμενο διοίκησης και όχι τυπική υποχρέωση στο τέλος του έργου.

6.2.4 Λειτουργική παραλαβή έναντι κατασκευαστικής ολοκλήρωσης

Η λειτουργική επαλήθευση συστημάτων (commissioning) ανέδειξε ότι η κατασκευαστική ολοκλήρωση δεν ταυτίζεται με τη λειτουργική παραλαβή. Δεν αφορούσε μεμονωμένους εξοπλισμούς αλλά αλληλουχίες λειτουργίας — συναγερμό, υπερπίεση κλιμακοστασίων, διαχείριση καπνού, φωνητικά μηνύματα και διαλειτουργικότητα συστημάτων — που έπρεπε να ελεγχθούν, να ρυθμιστούν και να τεκμηριωθούν, ώστε ο εξοπλισμός να αντιδρά συντονισμένα και το κτίριο να μεταβεί με ασφάλεια από το εργοτάξιο στη σταθερή λειτουργία.

Τα δεδομένα Φ/Β και PMS προσθέτουν μια ουσιώδη μεταγενέστερη διάσταση. Το φωτοβολταϊκό σύστημα είχε μετρήσιμη αλλά περιορισμένη συμμετοχή στη συνολική κατανάλωση, με παραγωγή 102.346 kWh και συμμετοχή 3,35% για την εξεταζόμενη περίοδο (Piraeus Tower A.E., 2026a). Η σημασία του έγκειται στη λειτουργική και οικονομική τεκμηρίωση της παραγωγής, όχι σε έναν υπερβολικό ισχυρισμό πλήρους ενεργειακής αυτόρκειας. Παράλληλα, το PMS του 14ου ορόφου δείχνει ότι η διακριτή μέτρηση ανά φορτίο μπορεί να αποκαλύψει πού βρίσκεται το κύριο ενεργειακό βάρος. Η κυριαρχία των φορτίων HVAC, με ποσοστό περίπου 60,11%, επιβεβαιώνει ότι η

ενεργειακή απόδοση απαιτεί συνεχή διαχείριση εγκαταστάσεων (FM), αξιοποίηση BEMS και PMS και παρακολούθηση βάσει πραγματικών δεδομένων λειτουργίας.

6.3 Συμβολή της εργασίας

Η συμβολή της εργασίας βρίσκεται στη σύνδεση της θεωρίας διοίκησης τεχνικών έργων με πραγματικά τεκμήρια ενός σύνθετου έργου ανακατασκευής και ενεργειακής αναβάθμισης ψηλού κτιρίου. Η εργασία αξιοποιεί τεχνικά τεύχη, διαδικασίες, ψηφιακές ροές, απαιτήσεις πιστοποιήσεων, δεδομένα λειτουργικής παρακολούθησης και εμπειρική γνώση από την επίβλεψη Η/Μ εγκαταστάσεων, ώστε να αναλύσει πώς οργανώθηκε και ελέγχθηκε η υλοποίηση.

Η εμπειρία του συγγραφέα στο έργο αξιοποιείται ως πλεονέκτημα πρόσβασης και κατανόησης, όχι ως προσωπικό ημερολόγιο. Η εργασία χρησιμοποιεί την εμπειρική εγγύτητα για να ερμηνεύσει καλύτερα τα τεχνικά και οργανωτικά δεδομένα, χωρίς να αφηγείται τη συμμετοχή ενός μηχανικού στο έργο. Στηρίζεται στη σαφή διάκριση μεταξύ τεκμηριωμένων στοιχείων, επαγγελματικών παρατηρήσεων και αναλυτικών συμπερασμάτων.

Παράλληλα, η εργασία δείχνει πώς η ανακατασκευή ενός ψηλού κτιρίου μπορεί να αναλυθεί ως σύστημα αποφάσεων, συντονισμού, τεκμηρίωσης και λειτουργικής ωρίμανσης. Το κτίριο αντιμετωπίζεται ως αποτέλεσμα μιας διαδικασίας που έπρεπε να ελέγξει τεχνική αβεβαιότητα, απαιτήσεις πολλών εμπλεκομένων, ψηφιακή πληροφορία, περιβαλλοντικούς στόχους και ανάγκες μελλοντικής λειτουργίας. Με αυτή την έννοια, η εργασία μεταφέρει τη συζήτηση από το «τι κατασκευάστηκε» στο «πώς διοικήθηκε η πολυπλοκότητα μέχρι να μπορεί το κτίριο να λειτουργήσει».

6.4 Πρακτικά διδάγματα για αντίστοιχα έργα

Το πρώτο πρακτικό δίδαγμα είναι ότι η διερεύνηση του υφιστάμενου κτιρίου πρέπει να γίνεται όσο το δυνατόν νωρίτερα και με τρόπο που να επηρεάζει πραγματικά τη μελέτη

και τον προγραμματισμό. Σε ανακατασκευές, η αβεβαιότητα δεν είναι περιφερειακός κίνδυνος. Είναι βασικό χαρακτηριστικό του έργου. Η πρώτη αεροδυναμική διερεύνηση του κελύφους σε αεροσήραγγα έδειξε ότι η ανάγκη αυτή αφορά και το εξωτερικό περιβάλλον του κτιρίου, όχι μόνο το εσωτερικό του. Η αποτύπωση γεωμετρίας, υφιστάμενων στοιχείων, περιορισμών, αντοχών, οδεύσεων και τεχνικών αποκλίσεων πρέπει να αντιμετωπίζεται ως προϋπόθεση διοίκησης που υπερβαίνει την απλή τεχνική καταγραφή.

Το δεύτερο δίδαγμα αφορά τα όρια ευθύνης. Σε κτίρια μικτής χρήσης, η διάκριση μεταξύ βασικού κτιρίου και εργασιών μισθωτών πρέπει να ορίζεται με σαφήνεια από νωρίς. Πρέπει να είναι γνωστό ποια υποδομή παραδίδεται, ποια σημεία επιτρέπεται να τροποποιηθούν, ποιες απαιτήσεις πρέπει να τηρηθούν από τους μισθωτές και ποιος εγκρίνει τις αλλαγές. Χωρίς αυτόν τον διαχωρισμό, η τεχνική ευελιξία εκφυλίζεται γρήγορα σε ασάφεια ευθύνης.

Το τρίτο δίδαγμα είναι ότι ο έλεγχος αλλαγών πρέπει να είναι αυστηρός και ταυτόχρονα λειτουργικός. Σε σύνθετα έργα οι αλλαγές είναι αναπόφευκτες. Το ζήτημα είναι να αξιολογούνται πριν περάσουν στο πεδίο. Κάθε αλλαγή πρέπει να ελέγχεται ως προς τις συνέπειές της σε άλλες ειδικότητες, σε πιστοποιήσεις, σε χρονοδιάγραμμα, σε κόστος, σε πυρασφάλεια και σε λειτουργική παραλαβή. Αλλαγή χωρίς τεκμηρίωση είναι μελλοντική εκκρεμότητα.

Το τέταρτο δίδαγμα είναι ότι ο συντονισμός Η/Μ, αρχιτεκτονικών, στατικών, όψεων και πυρασφάλειας πρέπει να είναι συνεχής. Ο αρχικός συντονισμός μελέτης δεν επαρκεί για να καλύψει τις κρίσιμες συγκρούσεις που εμφανίζονται στην εφαρμογή, όταν οι πραγματικές διαστάσεις, οι παραγγελίες, οι οδεύσεις και οι απαιτήσεις εγκατάστασης συναντούν τους περιορισμούς του κτιρίου. Επομένως, ο συντονισμός πρέπει να διατηρείται ενεργός μέχρι τις δοκιμές και την παράδοση.

Το πέμπτο δίδαγμα είναι ότι το BIM και το CDE πρέπει να χρησιμοποιούνται ουσιαστικά. Αν περιοριστούν σε αποθήκευση αρχείων, η συμβολή τους είναι μικρή. Η συμβολή τους βρίσκεται στην κοινή πρόσβαση στην ισχύουσα πληροφορία, στην ιχνηλασιμότητα αναθεωρήσεων, στη διαχείριση συγκρούσεων, στη σύνδεση σχολίων

με υπεύθυνους και στη διατήρηση αξιόπιστου αρχείου αποφάσεων. Το ψηφιακό εργαλείο αποκτά νόημα μόνο όταν ενσωματώνεται στη διαδικασία διοίκησης.

Το έκτο δίδαγμα αφορά τις απαιτήσεις LEED και WELL και τη λειτουργική επαλήθευση συστημάτων (commissioning). Οι απαιτήσεις αυτές πρέπει να ενσωματώνονται από νωρίς, επειδή επηρεάζουν μελέτες, υλικά, προμήθειες, υποβολές, μετρήσεις και διαδικασίες παράδοσης. Πρακτικά, αυτό σημαίνει ότι η τεκμηρίωση πιστοποίησης παράγεται μαζί με τις υποβολές και τις εγκρίσεις υλικών από τα πρώτα πακέτα εργασιών, ώστε ο έλεγχος συμμόρφωσης να συμβαδίζει με την κατασκευή.

Το έβδομο δίδαγμα αφορά τη μετάβαση από την κατασκευή στη λειτουργία. Ένα σύνθετο κτίριο πρέπει να παραδίδεται με ελεγμένα συστήματα, παραδοτέα λειτουργίας και συντήρησης, εκπαιδευμένο προσωπικό και δυνατότητα παρακολούθησης. Τα δεδομένα από BEMS και PMS, οι μετρήσεις Φ/B και η επιμέρους ανάλυση φορτίων δείχνουν ότι το έργο συνεχίζει να παράγει πολύτιμη πληροφορία μετά την παράδοση. Η ομάδα διαχείρισης εγκαταστάσεων (FM) πρέπει να μπορεί να αξιοποιεί αυτή την πληροφορία, διαφορετικά η τεχνική υποδομή μένει ανεκμετάλλευτη.

6.5 Περιορισμοί της έρευνας

Η εργασία βασίζεται σε μία μελέτη περίπτωσης και συνεπώς δεν παράγει στατιστικά γενικεύσιμα συμπεράσματα. Τα διδάγματα που προκύπτουν είναι αναλυτικά και μεταφέρσιμα υπό προϋποθέσεις, όχι καθολικά. Μπορούν να αξιοποιηθούν σε αντίστοιχα σύνθετα έργα ανακατασκευής, ιδίως ψηλών κτιρίων ή κτιρίων μικτής χρήσης, αλλά δεν υποκαθιστούν συγκριτική εμπειρική έρευνα σε μεγαλύτερο δείγμα έργων.

Η εργασία δεν αποτελεί ανεξάρτητο τεχνικό audit του Πύργου του Πειραιά. Δεν επανυπολογίζει τις μελέτες, δεν ελέγχει εκ νέου τη στατική, ενεργειακή ή Η/Μ επάρκεια του έργου και δεν αξιολογεί ανεξάρτητα την απόδοση όλων των συστημάτων. Τα τεχνικά στοιχεία χρησιμοποιούνται ως τεκμήρια για την ανάλυση διοίκησης έργου.

Η εστίαση είναι στη διαδικασία οργάνωσης, συντονισμού, τεκμηρίωσης, ελέγχου αλλαγών και μετάβασης στη λειτουργία.

Επίσης, η εργασία δεν αποτελεί πλήρη οικονομική αποτίμηση, ενεργειακή αξιολόγηση ή ανάλυση κύκλου ζωής. Τα στοιχεία για το φωτοβολταϊκό σύστημα και το PMS αποτελούν ενδεικτικά λειτουργικά δεδομένα. Η περίοδος Ιουλίου 2025 έως Απριλίου 2026 είναι χρήσιμη για την κατανόηση της λειτουργικής παρακολούθησης, αλλά δεν επαρκεί για ασφαλή μακροχρόνια ενεργειακή αποτίμηση του κτιρίου. Αντίστοιχα, τα δεδομένα του 14ου ορόφου προσφέρουν εικόνα ενός τυπικού ορόφου γραφείων, αλλά δεν μπορούν να επεκταθούν μηχανικά στο σύνολο του κτιρίου χωρίς πρόσθετη ανάλυση.

Τέλος, η θέση του συγγραφέα στο έργο αποτελεί ταυτόχρονα πλεονέκτημα πρόσβασης και πιθανή πηγή μεροληψίας, όπως αναλύθηκε στη μεθοδολογία· για τον λόγο αυτό, η ανάλυση απέφυγε συστηματικά την απόδοση αιτιωδών σχέσεων που δεν μπορούν να τεκμηριωθούν.

6.6 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η πρώτη κατεύθυνση μελλοντικής έρευνας αφορά τη μακροχρόνια αξιολόγηση της λειτουργικής απόδοσης του Πύργου με δεδομένα BEMS και PMS. Η παρακολούθηση μεγαλύτερης περιόδου θα επέτρεπε την ανάλυση εποχικότητας, προτύπων χρήσης, φορτίων HVAC, φωτισμού, ρευματοδοτών και ειδικών καταναλώσεων. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορούσε να διαμορφωθεί πληρέστερη εικόνα για τη σχέση μεταξύ σχεδιασμού, λειτουργίας και πραγματικής ενεργειακής συμπεριφοράς.

Συναφής κατεύθυνση είναι η σύγκριση προβλεπόμενης και πραγματικής ενεργειακής απόδοσης. Η μελέτη του energy performance gap (Zou et al., 2019) θα είχε ιδιαίτερο ενδιαφέρον, επειδή θα μπορούσε να δείξει ποιες αποκλίσεις οφείλονται σε παραδοχές μελέτης, ποιες σε χρήση του κτιρίου, ποιες σε ρυθμίσεις συστημάτων και ποιες σε πρακτικές λειτουργίας. Μια τέτοια έρευνα θα ενίσχυε τη σύνδεση μεταξύ λειτουργικής

επαλήθευσης συστημάτων (commissioning), διαχείρισης εγκαταστάσεων (FM) και ενεργειακής βελτιστοποίησης.

Ιδιαίτερη σημασία έχει επίσης μια πλήρης ανάλυση κύκλου ζωής για σενάρια ανακατασκευής έναντι κατεδάφισης και νέας κατασκευής. Η παρούσα εργασία αναγνωρίζει τη σημασία της επανάχρησης του υφιστάμενου φέροντος οργανισμού, αλλά δεν εκτελεί πλήρη LCA. Μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να συγκρίνει τεκμηριωμένα τα περιβαλλοντικά οφέλη και τα κόστη διαφορετικών σεναρίων επέμβασης.

Άλλη κατεύθυνση αφορά την αξιοποίηση BIM και CDE στη φάση διαχείρισης εγκαταστάσεων (Facility Management – FM). Το ενδιαφέρον δεν πρέπει να σταματά στην κατασκευή. Χρειάζεται να διερευνηθεί πώς τα ψηφιακά μοντέλα, τα δεδομένα τελικής αποτύπωσης as-built, οι πληροφορίες εξοπλισμού και τα συστήματα παρακολούθησης μπορούν να συνδεθούν με τη συντήρηση, τις βλάβες, τις αναβαθμίσεις και τη διαχείριση μισθωτών. Αυτό θα μετέφερε τη χρήση του BIM από τον συντονισμό κατασκευής στη διοίκηση του κύκλου ζωής του κτιρίου.

Τέλος, χρήσιμη θα ήταν μια συγκριτική μελέτη άλλων σύνθετων ανακατασκευών στην Ελλάδα, καθώς και ειδική έρευνα για τη λειτουργική επαλήθευση συστημάτων (commissioning) σε ελληνικά κτιριακά έργα υψηλής πολυπλοκότητας. Η ελληνική εμπειρία σε μεγάλα έργα ανακατασκευής, πιστοποιημένα κτίρια, μικτές χρήσεις και ψηφιακό συντονισμό παραμένει πεδίο που χρειάζεται συστηματικότερη τεκμηρίωση.

6.7 Τελικό συμπέρασμα

Το βασικό δίδαγμα της εργασίας είναι ότι σε σύνθετα έργα ανακατασκευής ψηλών κτιρίων η διοίκηση έργου έχει πραγματική αξία όταν μετατρέπει την τεχνική πολυπλοκότητα σε ελεγχόμενη διαδικασία. Η επιτυχία εξαρτάται από την ποιότητα των επιμέρους τεχνικών λύσεων και από την ικανότητα του έργου να περιορίζει την αβεβαιότητα, να κρατά σαφή τα όρια ευθύνης, να ελέγχει τις αλλαγές και να διατηρεί αξιόπιστη πληροφορία μέχρι την παράδοση.

Η περίπτωση του Πύργου του Πειραιά αναδεικνύει τη σύνδεση της ανακατασκευής με την ενεργειακή αναβάθμιση: οι παρεμβάσεις στο κέλυφος και στις Η/Μ εγκαταστάσεις χρειάζονται συντονισμένη εφαρμογή, λειτουργική επαλήθευση και συνεχή παρακολούθηση. Τα διαθέσιμα δεδομένα τεκμηριώνουν επιμέρους λειτουργικές επιδόσεις, χωρίς να επαρκούν για αποτίμηση της συνολικής εξοικονόμησης έναντι της προγενέστερης κατάστασης. Η δυνατότητα μέτρησης, συντήρησης και βελτίωσης των συστημάτων αποτελεί ουσιαστική προϋπόθεση για τη διατήρηση των επιδιωκόμενων ενεργειακών οφελών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ali, M. M., & Al-Kodmany, K. (2012). Tall buildings and urban habitat of the 21st century: A global perspective. *Buildings*, 2(4), 384–423. <https://doi.org/10.3390/buildings2040384>
- Altomonte, S., & Schiavon, S. (2013). Occupant satisfaction in LEED and non-LEED certified buildings. *Building and Environment*, 68, 66–74. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.06.008>
- ASHRAE. (2010). *ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2010: Energy standard for buildings except low-rise residential buildings*. ASHRAE.
- ASHRAE. (2019). *ASHRAE Guideline 0-2019: The commissioning process*. ASHRAE.
- ASHRAE, & Illuminating Engineering Society. (2013). *ANSI/ASHRAE/IES Standard 202-2013: Commissioning process for buildings and systems*. ASHRAE.
- Azhar, S. (2011). Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. *Leadership and Management in Engineering*, 11(3), 241–252. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127)
- Becerik-Gerber, B., & Rice, S. (2010). The perceived value of building information modeling in the U.S. building industry. *Journal of Information Technology in Construction*, 15, 185–201. <https://www.itcon.org/2010/15>
- BETAPLAN. (2021a). *Architectural technical justification report* [Εσωτερικό τεχνικό τεύχος έργου].
- BETAPLAN. (2021b). *Architectural technical specifications* [Εσωτερικό τεχνικό τεύχος έργου].
- BIM Center. (2021). *Piraeus Tower project – PTP: BIM 360 workflow* [Εσωτερικό έγγραφο ροής εργασίας έργου].
- Bryde, D., Broquetas, M., & Volm, J. M. (2013). The project benefits of building information modelling (BIM). *International Journal of Project Management*, 31(7), 971–980. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.12.001>

- Chan, A. P. C., Darko, A., Ameyaw, E. E., & Owusu-Manu, D.-G. (2017). Barriers affecting the adoption of green building technologies. *Journal of Management in Engineering*, 33(3), Article 04016057. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000507](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000507)
- Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2018). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches* (4th ed.). SAGE Publications.
- Crowe, E., Mills, E., Poeling, T., Curtin, C., Bjørnskov, D., Fischer, L., & Granderson, J. (2020). Building commissioning costs and savings across three decades and 1,500 North American buildings. *Energy and Buildings*, 227, Article 110408. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110408>
- Darko, A., & Chan, A. P. C. (2017). Review of barriers to green building adoption. *Sustainable Development*, 25(3), 167–179. <https://doi.org/10.1002/sd.1651>
- de Wilde, P. (2014). The gap between predicted and measured energy performance of buildings: A framework for investigation. *Automation in Construction*, 41, 40–49. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.02.009>
- DIMAND. (2024, December 12). *The Piraeus Tower receives LEED Platinum certification*. <https://dimand.gr/en/news/the-piraeus-tower-receives-leed-platinum-certification/>
- DIMAND. (2026). *Piraeus Tower*. Ανακτήθηκε στις 22 Φεβρουαρίου 2026, από <https://dimand.gr/projects/piraeus-tower/>
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- European Committee for Standardization. (2005a). *EN 12101-5:2005 Smoke and heat control systems – Part 5: Guidelines on functional recommendations and calculation methods for smoke and heat exhaust ventilation systems*. CEN.
- European Committee for Standardization. (2005b). *EN 12101-6:2005 Smoke and heat control systems – Part 6: Specification for pressure differential systems – Kits*. CEN.
- European Committee for Standardization. (2011). *EN 12101-7:2011 Smoke and heat control systems – Part 7: Smoke control ducts*. CEN.

- European Committee for Standardization. (2015). *EN 12845:2015 Fixed firefighting systems – Automatic sprinkler systems – Design, installation and maintenance*. CEN.
- European Committee for Standardization. (2020). *EN 54 series: Fire detection and fire alarm systems*. CEN.
- ExploringGreece. (2026). *Πειραιάς: Το μεγάλο λιμάνι της χώρας μέσα από ρετρό φωτογραφίες*. Ανακτήθηκε στις 22 Φεβρουαρίου 2026, από <https://exploringgreece.tv/destinations/πειραιάς-το-μεγάλο-λιμάνι-της-χώρας-μ/>
- Flyvbjerg, B. (2014). What you should know about megaprojects and why: An overview. *Project Management Journal*, 45(2), 6–19. <https://doi.org/10.1002/pmj.21409>
- Gu, N., & London, K. (2010). Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry. *Automation in Construction*, 19(8), 988–999. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.002>
- Hasik, V., Escott, E., Bates, R., Carlisle, S., Faircloth, B., & Bilec, M. M. (2019). Comparative whole-building life cycle assessment of renovation and new construction. *Building and Environment*, 161, Article 106218. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106218>
- IFSAS. (2024). *Μελέτη χρονισμού των σταδίων εκκένωσης – Πύργος του Πειραιά* [Εσωτερική ειδική μελέτη πυρασφάλειας και στρατηγικής εκκένωσης έργου].
- INSTA. (2021a). *Technical description: H/M installations* [Εσωτερικό τεχνικό τεύχος έργου].
- INSTA. (2021b). *Technical specifications: H/M installations* [Εσωτερικό τεχνικό τεύχος έργου].
- INSTA. (2021c). *Technical construction and commissioning requirements* [Εσωτερικό τεχνικό τεύχος έργου].
- INSTA. (2021d). *Technical report: Regulations and design assumptions* [Εσωτερικό τεχνικό τεύχος έργου].

- International Organization for Standardization. (2018a). *ISO 19650-1:2018 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling – Part 1: Concepts and principles*. ISO.
- International Organization for Standardization. (2018b). *ISO 19650-2:2018 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling – Part 2: Delivery phase of the assets*. ISO.
- International Organization for Standardization. (2020). *ISO 21502:2020 Project, programme and portfolio management – Guidance on project management*. ISO.
- International WELL Building Institute. (2026). *WELL Building Standard v2*. Ανακτήθηκε στις 10 Απριλίου 2026, από <https://v2.wellcertified.com/>
- Kondili, M. E., Kaldellis, J. K., Entmons, A., & Petrovits, N. (2023). Buildings sustainability on a life cycle basis: Comparative evaluation between new construction and refurbishment of an existing building. In *Proceedings of the 18th International Conference on Environmental Science and Technology*. Athens, Greece.
- Langston, C., Wong, F. K. W., Hui, E. C. M., & Shen, L.-Y. (2008). Strategic assessment of building adaptive reuse opportunities in Hong Kong. *Building and Environment*, 43(10), 1709–1718. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.10.017>
- Love, P. E. D., Matthews, J., Simpson, I., Hill, A., & Olatunji, O. A. (2014). A benefits realization management framework for asset owners. *Automation in Construction*, 37, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.09.007>
- Mills, E. (2011). Building commissioning: A golden opportunity for reducing energy costs and greenhouse gas emissions in the United States. *Energy Efficiency*, 4, 145–173. <https://doi.org/10.1007/s12053-011-9116-8>
- National Fire Protection Association. (2021). *NFPA 101: Life Safety Code*. NFPA.

- National Technical University of Athens, School of Mechanical Engineering, Laboratory for Innovative Environmental Technologies. (2021). *Wind pressure measurements on scale model of the “Piraeus Tower” building in NTUA aerodynamic tunnel* [Εσωτερικό έγγραφο έργου].
- Newsham, G. R., Mancini, S., & Birt, B. J. (2009). Do LEED-certified buildings save energy? Yes, but... *Energy and Buildings*, 41(8), 897–905. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.03.014>
- Piraeus Tower A.E. (2021). *LEED and envelope commissioning requirements* [Εσωτερικό τεύχος απαιτήσεων έργου].
- Piraeus Tower A.E. (2023a). *Piraeus Tower: Guidelines for future tenants – LEED & WELL requirements: Design, construction and operational guidelines* [Εσωτερικό έγγραφο έργου].
- Piraeus Tower A.E. (2023b). *Wellness and sustainability information* [Εσωτερικό πληροφοριακό υλικό έργου].
- Piraeus Tower A.E. (2026a). *PT - PV savings: Monthly operational photovoltaic production and savings data* [Εσωτερικό αρχείο λειτουργικών δεδομένων έργου].
- Piraeus Tower A.E. (2026b). *Το έργο*. Ανακτήθηκε στις 22 Φεβρουαρίου 2026, από <https://piraeustower.gr/el/>
- Piraeus Tower A.E., Facility Management. (2026). *New tabular report – 14th floor consumptions: PMS Schneider Electric operational energy metering data* [Εσωτερικό αρχείο λειτουργικών δεδομένων έργου].
- Portnet. (2025, 18 Δεκεμβρίου). *Σαν σήμερα γκρεμίστηκε το ρολόι του Πειραιά – Η πόλη έχασε το σύμβολό της*. Ανακτήθηκε στις 22 Φεβρουαρίου 2026, από <https://portnet.gr/san-simera-gkremistike-to-roloi-tou-peiraia-i-poli-echase-to-symbolo-tis/>
- Project Management Institute. (2021). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide)* (7th ed.). Project Management Institute.
- Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Teicholz, P. (2018). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors,*

- and facility managers* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
<https://doi.org/10.1002/9781119287568>
- Scofield, J. H. (2013). Efficacy of LEED-certification in reducing energy consumption and greenhouse gas emission for large New York City office buildings. *Energy and Buildings*, 67, 517–524. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.08.032>
- Solar Control Glass. (2026). *Recycled glass project*. Ανακτήθηκε στις 22 Φεβρουαρίου 2026, από <https://solar-control-glass.com/ua/proiecte/297>
- Succar, B. (2009). Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*, 18(3), 357–375. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.006>
- TERNA S.A., & EB/Architects. (2022). *BIM Execution Plan (BEP) for the Piraeus Tower Project* [Εσωτερικό έγγραφο έργου].
- U.S. Green Building Council. (2024). *LEED v4 for Building Design and Construction*. <https://www.usgbc.org/leed/v4>
- Vardopoulos, I. (2019). Critical sustainable development factors in the adaptive reuse of urban industrial buildings: A fuzzy DEMATEL approach. *Sustainable Cities and Society*, 50, Article 101684. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101684>
- Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). Building information modelling (BIM) for existing buildings: Literature review and future needs. *Automation in Construction*, 38, 109–127. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023>
- Wong, J. K. W., & Zhou, J. (2015). Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review. *Automation in Construction*, 57, 156–165. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.06.003>
- Yalcinkaya, M., & Singh, V. (2015). Patterns and trends in Building Information Modelling (BIM) research: A latent semantic analysis. *Automation in Construction*, 59, 68–80. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.07.012>
- Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (6th ed.). SAGE Publications.

Zou, P. X. W., Wagle, D., & Alam, M. (2019). Strategies for minimizing building energy performance gaps between the design intend and the reality. *Energy and Buildings*, 191, 31–41. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.03.013>

Νομοθεσία και κανονιστικά κείμενα

Προεδρικό Διάταγμα 41/2018. *Κανονισμός Πυροπροστασίας Κτιρίων*. Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, Α' 80/07.05.2018.

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. (2017). *Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK)*, όπως ισχύει.