

Σχεδιασμός και οργάνωση έργου πολυκατοικίας μέσω BIM

Αηδώνης Δονάτος Μπέσης
Αρχιτέκτονας Μηχανικός Πανεπιστημίου Πατρών
donatos.bes@gmail.com, std160722@ac.eap.gr

Μάριος Προκόπιος Βαλαβανίδης
Καθηγητής, Τμ. Πολιτικών Μηχανικών,
Παν/μιο Δυτ. Αττικής
marval@uniwa.gr, valavanidis.marios@ac.eap.gr

Περίληψη – Η παρούσα διπλωματική εργασία διερευνά την εφαρμογή της μεθοδολογίας Building Information Modeling (BIM) στον σχεδιασμό και τη διαχείριση τεχνικών έργων, εστιάζοντας στη μελέτη περίπτωσης μιας τυπικής αστικής πολυκατοικίας. Στόχος της έρευνας είναι η αξιολόγηση της συμβολής του BIM στη βελτιστοποίηση των διαδικασιών σχεδιασμού και του χρονοπρογραμματισμού σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους. Μέσω του λογισμικού Autodesk Revit, αναπτύχθηκε ένα τρισδιάστατο παραμετρικό μοντέλο, το οποίο συνδέθηκε με το χρονοδιάγραμμα των εργασιών (4D BIM), επιτρέποντας την οπτική παρακολούθηση της κατασκευαστικής εξέλιξης από τη θεμελίωση έως την ολοκλήρωση. Η ανάλυση ανέδειξε σημαντικά οφέλη στην ακρίβεια των μελετών, στον εντοπισμό συγκρούσεων (clash detection) και στον αποτελεσματικό συντονισμό των εμπλεκόμενων φορέων. Τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν ότι η υιοθέτηση μιας ενιαίας ψηφιακής ροής πληροφοριών μειώνει τα σφάλματα και βελτιστοποιεί τον χρόνο και το κόστος κατασκευής, καθιστώντας το BIM ένα ισχυρό εργαλείο για τον σύγχρονο κατασκευαστικό κλάδο.

Λέξεις-κλειδιά: BIM (Δομική Πληροφοριακή Μοντελοποίηση), Διαχείριση Τεχνικών Έργων, Χρονοπρογραμματισμός Έργου, Autodesk Revit, 4D BIM.

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Μοντελοποίηση Πληροφοριών Κτιρίου (Building Information Modeling – BIM) αποτελεί μια σύγχρονη ψηφιακή μεθοδολογία σχεδιασμού, στην οποία ένα τρισδιάστατο παραμετρικό μοντέλο εμπλουτίζεται με δεδομένα που αφορούν υλικά, ιδιότητες, κόστος και χρονοδιαγράμματα. Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές 2D προσεγγίσεις, το BIM δεν είναι ένα στατικό σχέδιο αλλά ένα αντικειμενοστραφές μοντέλο που επιτρέπει την αμφίδρομη ενημέρωση όλων των όψεων και πινάκων του έργου. Όπως επισημαίνεται στη βιβλιογραφία, το BIM θεωρείται μια επαναστατική τεχνολογία που μετασηματίζει τις κατασκευαστικές διαδικασίες, ενισχύοντας τη συνεργασία μεταξύ των μελετητών και βελτιώνοντας τη διαχείριση του κύκλου ζωής του έργου (Azhar, 2012, Eastman et al., 2011).

Πέρα από την τρισδιάστατη αναπαράσταση, η μεθοδολογία BIM προσφέρει την ικανότητα προσθήκης πολλαπλών διαστάσεων (nD), όπως ο χρόνος και το κόστος (Aouad et al., 2006, Eastman et al., 2011). Η ενσωμάτωση της τέταρτης διάστασης (4D BIM) συνδέει το ψηφιακό μοντέλο με το χρονοδιάγραμμα εκτέλεσης, επιτρέποντας στους εμπλεκόμενους να κατανοούν οπτικά τη σειρά των εργασιών μέσω μιας γραφικής προσομοίωσης σε πραγματικό χρόνο. Αυτή η προσέγγιση διευκολύνει τον συντονισμό στο εργοτάξιο, βοηθά στη βελτιστοποίηση των πόρων και μειώνει σημαντικά τις καθυστερήσεις και τις αστοχίες στην κατασκευή.

Παρά τα τεκμηριωμένα πλεονεκτήματα, η υιοθέτηση του BIM στον τομέα των οικιστικών έργων παραμένει σε στάδιο ανάπτυξης, σε αντίθεση με τα μεγάλα εμπορικά έργα όπου η εφαρμογή του είναι ήδη προχωρημένη. Τα κυριότερα εμπόδια περιλαμβάνουν το υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης, την έλλειψη εξειδικευμένου εργατικού δυναμικού και την ανάγκη για ριζική αλλαγή της οργανωσιακής κουλτούρας (Alreshidi et al., 2017, NBS, 2015). Στην Ελλάδα, η πολυκατοικία αποτελεί το βασικό δομικό στοιχείο του αστικού ιστού, ωστόσο η χρήση BIM σε τέτοιου είδους έργα επαναλαμβανόμενης τυπολογίας δεν είναι ακόμα ευρέως διαδεδομένη.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση των δυνατοτήτων του BIM, μέσω του λογισμικού Autodesk Revit, στον σχεδιασμό και τον χρονοπρογραμματισμό μιας τυπικής αστικής πολυκατοικίας. Η μελέτη εστιάζει στην ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου ψηφιακού πρωτοτύπου και στη σύνδεσή του με τις κατασκευαστικές φάσεις (4D ανάλυση), με στόχο να αναδείξει πώς η μεθοδολογία αυτή βελτιώνει την ακρίβεια των μελετών και την αποδοτικότητα της διαχείρισης σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους σχεδιασμού.

II. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η μεθοδολογία της παρούσας εργασίας βασίζεται στη μελέτη περίπτωσης (case study) μιας τυπικής αστικής πολυκατοικίας μεσαίας κλίμακας, η οποία αποτελεί αντιπροσωπευτικό δείγμα της ελληνικής δόμησης. Η διαδικασία περιλαμβάνει την ανάπτυξη ενός πλήρους ψηφιακού μοντέλου και τη σύνδεσή του με τις παραμέτρους του χρόνου, ακολουθώντας τα στάδια που περιγράφονται παρακάτω.

A. Ανάπτυξη Ψηφιακού Μοντέλου (3D BIM)

Για τη δημιουργία του ψηφιακού πρωτοτύπου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Autodesk Revit. Το υπό μελέτη κτίριο αναπτύσσεται καθ' ύψος σε πέντε επίπεδα: ισόγειο σε μορφή πιλοτής (χώρος στάθμευσης), τέσσερις τυπικούς ορόφους κατοικιών και απόληξη κλιμακοστασίου στο δώμα. Η μοντελοποίηση πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο των επιπέδων (Level-based modeling), όπου κάθε δομικό στοιχείο συνδέθηκε παραμετρικά με συγκεκριμένες στάθμες αναφοράς.

Θεμελιώδες στάδιο αποτέλεσε ο σχεδιασμός του δομικού καννάβου (structural grid), ο οποίος λειτούργησε ως σύστημα αναφοράς για την ακριβή τοποθέτηση των υποστυλωμάτων και των πλακών. Η χρήση παραμετρικών δεσμεύσεων (constraints) εξασφάλισε την απόλυτη κατακόρυφη ευθυγράμμιση των στοιχείων και τη γεωμετρική συνέπεια του μοντέλου. Κάθε στοιχείο

(τοιχοποιίες, πλάκες, κουφώματα) ενσωματώνει πληροφοριακά δεδομένα υλικών και ιδιοτήτων, επιτρέποντας την αυτόματη παραγωγή πινάκων ποσοτήτων και τεχνικών σχεδίων (κατόψεις, τομές, όψεις).

B. Χρονοπρογραμματισμός και 4D Σύνδεση

Η οργάνωση της κατασκευαστικής διαδικασίας βασίστηκε στην ανάλυση των φάσεων του έργου μέσω της Δομικής Ανάλυσης Έργου (Work Breakdown Structure - WBS). Οι εργασίες κατηγοριοποιήθηκαν σε κύριες ενότητες (χωματουργικά, σκυροδετήσεις, τοιχοποιίες, επιχρίσματα, Η/Μ εγκαταστάσεις) και προσδιορίστηκε η αλληλουχία και η διάρκειά τους.

Ο χρονοπρογραμματισμός και η ανάλυση της κρίσιμης διαδρομής (CPM) πραγματοποιήθηκαν στην πλατφόρμα ProjectLibre. Η υλοποίηση της τέταρτης διάστασης (4D BIM) επιτεύχθηκε μέσω της συσχέτισης των εργασιών του WBS με τα αντίστοιχα δομικά αντικείμενα του μοντέλου Revit. Αυτή η σύνδεση επιτρέπει την οπτική προσομοίωση της εξέλιξης του έργου σε πραγματικό χρόνο, προσφέροντας τη δυνατότητα ελέγχου των κρίσιμων αλληλεξαρτήσεων και της χωρικής οργάνωσης του εργοταξίου ανά φάση κατασκευής.

C. Περιγραφή του Κτιρίου (Case Study)

Το υπό εξέταση κτίριο αποτελεί μια τυπική αστική πολυκατοικία μεσαίας κλίμακας, η οποία προσεγγίζεται ως αντιπροσωπευτικό δείγμα της ελληνικής αστικής δόμησης. Η κατασκευή αναπτύσσεται καθ' ύψος σε έξι επίπεδα: ισόγειο σε μορφή πιλοτής, τέσσερις πανομοιότυπους τυπικούς ορόφους κατοικιών και απόληξη κλιμακοστασίου στο δώμα. Η επιλογή της πιλοτής στο ισόγειο εξυπηρετεί τη δημιουργία ελεύθερου χώρου στάθμευσης και κοινόχρηστων ζωνών, προσδίδοντας ταυτόχρονα στο κτίριο μια αίσθηση «ανάτασης» πάνω από το επίπεδο του δρόμου.

Η εσωτερική οργάνωση του έργου βασίζεται σε έναν κεντρικό πυρήνα κατακόρυφης κυκλοφορίας που περιλαμβάνει το κλιμακοστάσιο και τον ανελκυστήρα. Οι κάτοψεις των ορόφων είναι τυποποιημένες, με τους χώρους διημέρευσης (σαλόνι, κουζίνα) να προσανατολίζονται προς τις κύριες όψεις και τα υπνοδωμάτια προς την ήσυχη πλευρά του κτιρίου. Τα μπαλκόνια, τα οποία αναπτύσσονται στις κύριες όψεις, αποτελούν κυρίαρχο μορφολογικό στοιχείο που επαναλαμβάνεται ανά όροφο, ενισχύοντας την πλαστικότητα του όγκου. Το δώμα φιλοξενεί την απόληξη του κλιμακοστασίου και μέρος του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, ενώ περιλαμβάνει και την κοινόχρηστη ταράτσα.

Σε επίπεδο δομής, ο φέρων οργανισμός αποτελείται από οπλισμένο σκυρόδεμα (υποστυλώματα, δοκοί και πλάκες) που ακολουθεί έναν προκαθορισμένο δομικό κάρναβο, διασφαλίζοντας τη στατική συνέπεια και την ευκολία στη μοντελοποίηση. Οι εξωτερικές τοιχοποιίες προβλέπονται από οπτοπληθοδομή με θερμομονωτικό σύστημα (ETICS), ενώ τα εσωτερικά χωρίσματα έχουν σχεδιαστεί για μέγιστη λειτουργικότητα. Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει τα βασικά στοιχεία του κτιρίου

TABLE I
SPECIMENS FOR PARAMETRIC STUDY

| Κατηγορία | Περιγραφή / Τιμή |
|----------------------|--|
| Αριθμός Επιπέδων | Ισόγειο (πιλοτή), 4 τυπικοί όροφοι, Δώμα |
| Συνολική Επιφάνεια | 18,0 m × 12,0 m = 216 m² (αποτόπωμα) |
| Ωφέλιμη Επιφάνεια | Περίπου 864 m² (συνολικά για τους 4 ορόφους) |
| Ύψη Ορόφων | 3,50 m (πιλοτή), 3,00 m (τυπικός όροφος) |
| Φέρων Οργανισμός | Οπλισμένο σκυρόδεμα (C25/30) - Σύστημα υποστυλωμάτων, δοκών και πλακών |
| Δομικός Κάρναβος | Κανονική αξονική διάταξη για επαναληψιμότητα ορόφων |
| Κεντρικός Πυρήνας | Κλιμακοστάσιο και ανελκυστήρας στο κέντρο του κάρναβου |
| Εξωτερική Τοιχοποιία | Πληθοδομή με σύστημα εξωτερικής θερμομόνωσης (ETICS) |
| Εσωτερικά Χωρίσματα | Γυψοσανίδα σε μεταλλικό σκελετό για ευελιξία |
| Κουφώματα | Αλουμίνιο θερμοδιακοπής με διπλούς υαλοπίνακες |
| Μπαλκόνια | Περιμετρικά, επαναλαμβανόμενα, με βάθος 1,40 m |
| Χρήση Ισογείου | Χώρος στάθμευσης (πιλοτή) και κοινόχρηστες λειτουργίες |
| Δώμα | Επίπεδη ταράτσα με απόληξη κλιμακοστασίου και Η/Μ εξοπλισμό |

III. ΧΡΟΝΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ 4D ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Ο χρονοπρογραμματισμός του έργου αποτελεί κομβικό σημείο της μελέτης, καθώς μετατρέπει το στατικό ψηφιακό μοντέλο σε ένα δυναμικό εργαλείο διαχείρισης. Η διαδικασία αυτή βασίζεται στη σύνδεση της γεωμετρικής πληροφορίας με τη διάσταση του χρόνου (4D BIM), προσφέροντας μια οπτικοποιημένη αναπαράσταση της κατασκευαστικής αλληλουχίας.

A. Δομική Ανάλυση Εργασιών (WBS)

Η οργάνωση του χρόνου ξεκίνησε με την ανάλυση του έργου σε επιμέρους δραστηριότητες μέσω της μεθοδολογίας Work Breakdown Structure (WBS). Οι εργασίες κατηγοριοποιήθηκαν σε κύριες φάσεις, όπως:

- Χωματουργικά: Χάραξη και εκσκαφή θεμελίων.
- Σκυροδέτηση Φέρωντος Οργανισμού: Σταδιακή ανέγερση θεμελίωσης, πιλοτής και των τεσσάρων τυπικών ορόφων.
- Τοιχοποιίες και Επιχρίσματα: Εσωτερικά και εξωτερικά χωρίσματα.
- Η/Μ Εγκαταστάσεις και Τελειώματα: Υδραυλικά, ηλεκτρολογικά, δάπεδα και χρωματισμοί.

Για κάθε δραστηριότητα ορίστηκαν οι προαπαιτούμενες εργασίες και η εκτιμώμενη διάρκειά τους, επιτρέποντας την ανάπτυξη ενός ρεαλιστικού δικτύου προτεραιοτήτων.

B. Ανάλυση Κρίσιμης Διαδρομής (CPM)

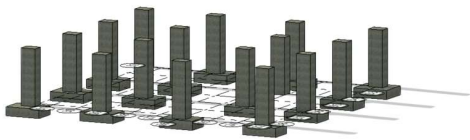
Με τη χρήση του λογισμικού ProjectLibre, πραγματοποιήθηκε η ανάλυση της Κρίσιμης Διαδρομής (Critical Path Method - CPM). Μέσω αυτής, προσδιορίστηκαν οι δραστηριότητες εκείνες που δεν διαθέτουν χρονικό περιθώριο καθυστέρησης (όπως οι σκυροδετήσεις των πλακών και των υποστυλωμάτων), καθώς οποιαδήποτε παρέκκλιση σε αυτές θα επηρέαζε τη συνολική ημερομηνία παράδοσης του έργου. Η χρήση του διαγράμματος Gantt παρείχε μια σαφή χρονική απεικόνιση των εργασιών και της κατανομής των πόρων στα αντίστοιχα συνεργεία.

IV. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ BIM ΜΕ ΤΟΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ ΕΡΓΟΥ

Η ενότητα αυτή αποτελεί την πρακτική ολοκλήρωση της μεθοδολογίας, όπου το τρισδιάστατο μοντέλο του Autodesk Revit συνδέεται δυναμικά με τις εργασίες του WBS και το χρονοδιάγραμμα που αναπτύχθηκε στο ProjectLibre. Η συσχέτιση αυτή επιτρέπει την οπτική παρακολούθηση της κατασκευαστικής εξέλιξης και την επαλήθευση της κρίσιμης διαδρομής σε πραγματικό χρόνο.

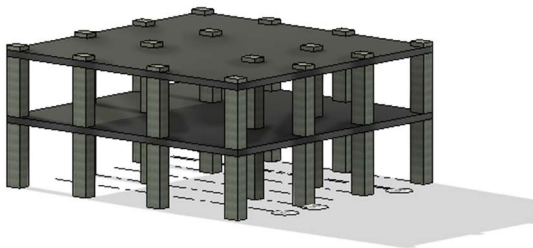
A. Σταδιακή Ανέγερση Φέροντος Οργανισμού

Η κατασκευή ξεκινά με τη θεμελίωση, η οποία περιλαμβάνει τη χάραξη των αξόνων, την εκσκαφή και τη σκυροδέτηση με βάση τις λεπτομερείς οδηγίες της στατικής μελέτης. Μετά την ωρίμανση των θεμελίων, η διαδικασία προχωρά στην πιλοτή και την πλάκα του ισογείου, οι οποίες λειτουργούν ως οργανικός σύνδεσμος για την ανωδομή.



Εικόνα 1 Ολοκλήρωση θεμελίωσης

Η ανέγερση των τεσσάρων τυπικών ορόφων ακολουθεί μια επαναλαμβανόμενη αλληλουχία εργασιών (ξυλότυποι, σπλισμός, σκυροδέτηση), με ιδιαίτερη έμφαση στη διαχείριση των αναμονών για την καθ' ύψος συνέχιση της δόμησης. Η χρήση των παραμετρικών δεσμεύσεων (Constraints) του Revit διασφαλίζει την απόλυτη κατακόρυφη ευθυγράμμιση των υποστυλωμάτων, μειώνοντας δραστικά τις αποκλίσεις που συχνά παρατηρούνται στις συμβατικές μεθόδους. Η φάση του σκελετού ολοκληρώνεται με τη σκυροδέτηση της πλάκας του δώματος (ταράτσας) και την εφαρμογή των απαραίτητων αρμών και αποστραγγιστικών στοιχείων.



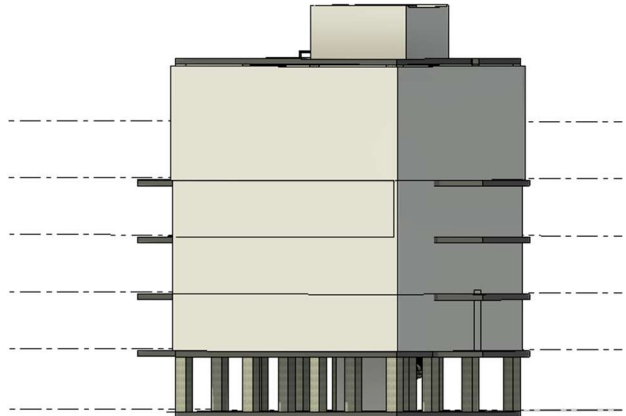
Εικόνα 2 Ολοκλήρωση 1ου ορόφου και πλάκας δευτέρου ορόφου όπου εμφανίζονται οι αναμονές για την καθ' ύψος συνέχιση της δόμησης

B. Τοιχοποιίες και Τελικές Εργασίες

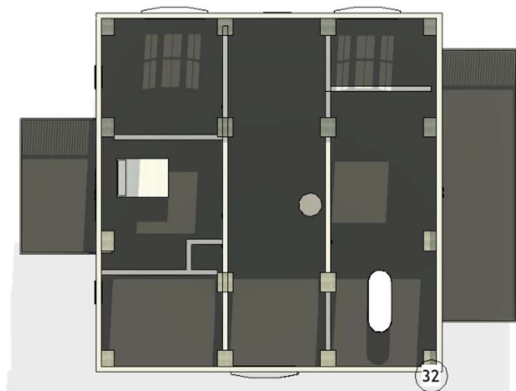
Με την ολοκλήρωση του φέροντος οργανισμού, το μοντέλο 4D προσομοιώνει την ανέγερση των εξωτερικών και εσωτερικών τοιχοποιιών. Οι εργασίες αυτές συσχετίζονται άμεσα με το WBS, επιτρέποντας τον ακριβή έλεγχο των ανοιγμάτων για τα κουφώματα και τη διαχείριση των ποσοτήτων υλικών. Το τελικό στάδιο της προσομοίωσης περιλαμβάνει:

- Την εφαρμογή επιχρισμάτων και συστημάτων θερμομόνωσης (ETICS).
- Την τοποθέτηση δαπέδων, πλακιδίων και ξυλουργικών στοιχείων (ντουλάπες, κουζίνες).

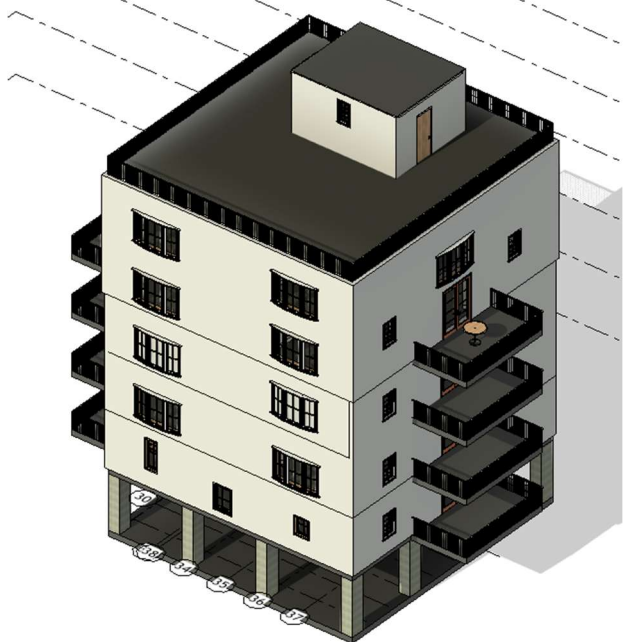
- Τις μεταλλικές κατασκευές (κιγκλιδώματα μπαλκονιών και κλιμακοστασίου) και τους τελικούς χρωματισμούς.



Εικόνα 3 Ολοκλήρωση εξωτερικής τοιχοποιίας



Εικόνα 4 Ολοκλήρωση εσωτερικής τοιχοποιίας (B όροφος)



Εικόνα 5 Ολοκλήρωση κατασκευών

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έδειξε ότι η ενσωμάτωση της μεθοδολογίας BIM στον προγραμματισμό και την παρακολούθηση κατασκευαστικών έργων προσφέρει ουσιαστικά οφέλη, μετατρέποντας τον παραδοσιακό, αποσπασματικό τρόπο

οργάνωσης σε μια ενιαία ψηφιακή ροή πληροφοριών. Η χρήση παραμετρικών εργαλείων, όπως οι δεσμεύσεις (Constraints) του Revit, εξασφάλισε υψηλή τεχνική ακρίβεια στον σχεδιασμό του φέροντος οργανισμού, μειώνοντας δραστικά την πιθανότητα σφαλμάτων στο πεδίο, όπως οι αποκλίσεις στην κατακόρυφη ευθυγράμμιση που παρατηρούνται στις συμβατικές μεθόδους. Επιπλέον, η 4D προσομοίωση αποδείχθηκε καθοριστική για την οπτικοποίηση της κρίσιμης διαδρομής (CPM), επιτρέποντας στους εμπλεκόμενους να αντιληφθούν χωρικά την αλληλουχία των εργασιών και να συντονίσουν αποτελεσματικότερα τα συνεργεία.

Παρά τα πλεονεκτήματα, η υιοθέτηση του BIM απαιτεί επένδυση στην εκπαίδευση του προσωπικού και αντιμετώπιση νομικών ζητημάτων που αφορούν την ιδιοκτησία των δεδομένων. Ως εκ τούτου, η μετάβαση από τις παραδοσιακές πρακτικές πρέπει να σχεδιαστεί σταδιακά, ξεκινώντας από πιλοτικές εφαρμογές. Μελλοντική έρευνα απαιτείται για την ποσοτικοποίηση της σχέσης κόστους-οφέλους σε πραγματικές συνθήκες, την πλήρη ενσωμάτωση των Η/Μ εγκαταστάσεων στο 4D/5D πλαίσιο, καθώς και την αξιοποίηση τεχνολογιών αυτοματοποιημένης συλλογής δεδομένων, όπως τα drones και το 3D laser scanning, για τη συνεχή ενημέρωση του as-built μοντέλου. Συμπερασματικά, το BIM αναδεικνύεται σε ένα απαραίτητο εργαλείο για τον εκσυγχρονισμό του κατασκευαστικού κλάδου, διασφαλίζοντας την ποιότητα και την ιχνηλασιμότητα καθ' όλο τον κύκλο ζωής του έργου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Alreshidi, E., Mourshed, M., & Rezgui, Y. (2017). Factors for effective BIM governance. *Journal of Building Engineering*, 10, 89–101.
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.02.006>

Aouad, G., Wu, S., & Lee, A. (2006). nDimensional modeling technology: Past, present and future. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 20(3), 151–153.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3801\(2006\)20:3\(151\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(2006)20:3(151))

Azhar, S., Khalfan, M., & Maqsood, T. (2012). Building information modeling (BIM): Now and beyond. *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, 12(4), 15–28.,
<https://doi.org/10.5130/ajceb.v12i4.3032>

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), Wiley.

NBS. (2015). *National BIM Report 2015*. London: RIBA.