

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ (ΔΧΤ)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) ΣΤΟΝ
ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΙ ΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΤΙΡΙΑΚΩΝ ΈΡΓΩΝ:
ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΣΕ ΚΑΤΟΙΚΙΑ»**



Μεταπτυχιακή φοιτήτρια: ΜΗΤΣΚΑ ΕΛΕΝΗ

Α.Μ. φοιτήτριας: 164002

Επιβλέπων: ΓΕΝΗΚΟΜΣΟΥ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ

Β' Αξιολογητής: ΣΚΑΛΩΜΕΝΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΠΑΤΡΑ , ΙΟΥΝΙΟΣ 2026

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πριν από την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν, άμεσα ή έμμεσα, στην ολοκλήρωσή της.

Πρωτίστως, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου, **ΓΕΝΗΚΟΜΣΟΥ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ**, για την πολύτιμη καθοδήγηση, την επιστημονική της υποστήριξη, τις εύστοχες παρατηρήσεις και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Η συμβολή της υπήρξε καθοριστική για την ολοκλήρωση της παρούσας μελέτης.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους διδάσκοντες του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών για τις γνώσεις και τις εμπειρίες που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου, συμβάλλοντας ουσιαστικά στην επιστημονική και επαγγελματική μου εξέλιξη.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στην οικογένειά μου για την αμέριστη αγάπη, την αδιάκοπη στήριξη, την υπομονή και την πίστη στις δυνατότητές μου. Η συμπαράστασή τους αποτέλεσε τη σημαντικότερη δύναμη και πηγή έμπνευσης σε κάθε στάδιο της ακαδημαϊκής μου πορείας.

Από καρδιάς ευχαριστώ τον σύντροφό μου, Τάσο, για την αμέριστη κατανόηση, την υπομονή, την ενθάρρυνση και τη συνεχή του παρουσία σε όλη τη διάρκεια της προσπάθειας αυτής. Η στήριξή του, ιδιαίτερα στις απαιτητικές στιγμές της εκπόνησης της εργασίας, υπήρξε πολύτιμη και καθοριστική.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω και στον εργολάβο του έργου κ. Λευτέρη και την ομάδα του, των οποίων η συνεργασία, η διαθεσιμότητα και η παροχή πολύτιμων πληροφοριών σχετικά με την κατασκευή συνέβαλαν ουσιαστικά στην πληρότητα και την αξιοπιστία της παρούσας μελέτης.

Τέλος, ευχαριστώ όλους όσους, με οποιονδήποτε τρόπο, συνέβαλαν στην ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας και στάθηκαν δίπλα μου κατά τη διάρκεια αυτού του σημαντικού ταξιδιού.

ΑΡΙΔΑΙΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2026

ΕΛΕΝΑ ΜΗΤΣΚΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η τεχνολογία Building Information Modeling (BIM) αποτελεί μία από τις σημαντικότερες εξελίξεις στον τομέα του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού και της διαχείρισης τεχνικών έργων, καθώς εισάγει μία ολοκληρωμένη προσέγγιση διαχείρισης της πληροφορίας καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός έργου. Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές μεθόδους σχεδιασμού που βασίζονται σε δισδιάστατα σχέδια, το BIM επιτρέπει τη δημιουργία ενός παραμετρικού πληροφοριακού μοντέλου, στο οποίο συγκεντρώνονται γεωμετρικά, τεχνικά και ποσοτικά δεδομένα, τα οποία ενημερώνονται δυναμικά και υποστηρίζουν αποτελεσματικότερα τις διαδικασίες σχεδιασμού, κατασκευής και διαχείρισης.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της εφαρμογής της μεθοδολογίας BIM στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό και στη διαχείριση κτιριακών έργων μέσω της ανάπτυξης ενός πληροφοριακού μοντέλου για μία ισόγεια μονοκατοικία. Βασικός στόχος της έρευνας ήταν η αξιολόγηση της συμβολής του BIM στην παραγωγή τεχνικής πληροφορίας, στην αυτοματοποίηση της επιμέτρησης, καθώς και στην υποστήριξη διαδικασιών που σχετίζονται με τον χρονικό προγραμματισμό και την προκαταρκτική εκτίμηση του κόστους.

Η ερευνητική μεθοδολογία βασίστηκε στη μελέτη περίπτωσης πραγματικού έργου. Αρχικά πραγματοποιήθηκε ανασκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας σχετικά με τη μεθοδολογία BIM, τις διαστάσεις της και τις σύγχρονες εφαρμογές της στον κατασκευαστικό κλάδο. Στη συνέχεια αναπτύχθηκε το πληροφοριακό μοντέλο της κατοικίας σε περιβάλλον Autodesk Revit, αξιοποιώντας παραμετρικά αντικείμενα και οργανώνοντας τα δεδομένα σε δυναμικούς πίνακες ποσοτήτων (Schedules). Επιπλέον, το μοντέλο εμπλουτίστηκε με πρόσθετες παραμέτρους που αφορούν τον ρυθμό παραγωγής, τον εκτιμώμενο χρόνο ολοκλήρωσης και το ενδεικτικό κόστος επιμέρους εργασιών, με σκοπό τη διερεύνηση των δυνατοτήτων εφαρμογής των διαστάσεων 4D BIM και 5D BIM.

Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι η εφαρμογή της μεθοδολογίας BIM συμβάλλει ουσιαστικά στη βελτίωση της ποιότητας του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού, στην αξιόπιστη παραγωγή τεχνικής πληροφορίας και στην αυτοματοποίηση της εξαγωγής ποσοτικών δεδομένων. Παράλληλα, διαπιστώθηκε ότι το πληροφοριακό μοντέλο μπορεί να αποτελέσει τη βάση για την υποστήριξη διαδικασιών χρονικού προγραμματισμού και προκαταρκτικής εκτίμησης κόστους, μέσω της ενσωμάτωσης κατάλληλων παραμέτρων. Η μελέτη ανέδειξε επίσης ότι η εφαρμογή της μεθοδολογίας BIM είναι τεχνικά εφικτή και σε έργα μικρής κλίμακας, προσφέροντας σημαντικά οφέλη ως προς την

οργάνωση της πληροφορίας, τη συνέπεια των δεδομένων και την υποστήριξη της διαχείρισης του έργου.

Συμπερασματικά, η εργασία επιβεβαιώνει ότι το BIM δεν αποτελεί απλώς ένα εργαλείο τρισδιάστατης σχεδίασης, αλλά μία ολοκληρωμένη μεθοδολογία διαχείρισης της πληροφορίας, η οποία μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στον ψηφιακό μετασχηματισμό του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού και της διαχείρισης τεχνικών έργων στην Ελλάδα.

Λέξεις-κλειδιά: Building Information Modeling (BIM), αρχιτεκτονικός σχεδιασμός, Autodesk Revit, πληροφοριακό μοντέλο, διαχείριση τεχνικών έργων, 4D BIM, 5D BIM, ποσομέτρηση.

ABSTRACT

Building Information Modeling (BIM) has emerged as one of the most significant innovations in architectural design and construction project management, introducing an integrated approach to information management throughout the entire lifecycle of a building. Unlike traditional design methods based solely on two-dimensional drawings, BIM enables the development of a parametric digital model that incorporates geometric, technical, and quantitative information, providing a consistent and continuously updated source of project data.

The aim of this thesis is to investigate the application of the Building Information Modeling (BIM) methodology in architectural design and construction project management through the development of a BIM model for a single-storey residential building. The primary objective was to evaluate the contribution of BIM to the generation of technical information, automated quantity take-off, and the support of project management processes related to scheduling and preliminary cost estimation.

The research followed a case study methodology based on a real residential project. Initially, an extensive literature review was conducted on the principles, dimensions, and applications of BIM within the Architecture, Engineering, and Construction (AEC) industry. Subsequently, a comprehensive information model of the residence was developed using Autodesk Revit, employing parametric objects and dynamic schedules for organizing project information. Furthermore, the model was enriched with additional parameters related to productivity rates, estimated construction duration, and indicative costs in order to investigate the implementation potential of 4D BIM and 5D BIM approaches.

The findings demonstrate that BIM significantly improves the quality of architectural design by ensuring consistency between drawings and project information while automating the generation of technical documentation and quantity take-offs. In addition, the integration of project management parameters into the information model highlighted the potential of BIM to support scheduling and preliminary cost estimation processes. The study also confirmed that BIM can be effectively implemented in small-scale residential projects, providing substantial benefits in terms of information management, data consistency, project organization, and decision-making.

In conclusion, this research confirms that Building Information Modeling is not merely a three-dimensional design tool but a comprehensive methodology for information management that can

substantially contribute to the digital transformation of architectural design and construction project management. The results indicate that the adoption of BIM can improve project quality, reduce inconsistencies, enhance collaboration among stakeholders, and support more efficient management practices, even in small-scale private construction projects.

Keywords: Building Information Modeling (BIM), architectural design, Autodesk Revit, construction project management, information model, 4D BIM, 5D BIM, quantity take-off.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΞΩΦΥΛΛΟ	1
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ABSTRACT	5
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο :	13
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	13
1.1 Αντικείμενο και σκοπός της εργασίας	14
1.2 Σημασία του Building Information Modeling (BIM) στον κατασκευαστικό κλάδο	15
1.3 Στόχοι της Έρευνας	16
1.4 Ερευνητικά Ερωτήματα	17
Ερευνητικό Ερώτημα 1 (EE1)	18
Ερευνητικό Ερώτημα 2 (EE2)	18
Ερευνητικό Ερώτημα 3 (EE3)	18
Ερευνητικό Ερώτημα 4 (EE4)	18
Ερευνητικό Ερώτημα 5 (EE5)	18
1.5 Μεθοδολογία της Έρευνας	18
1.6 Δομή της Εργασίας	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο :	21
ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΚΑΙ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΟΥ BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)	21
Εισαγωγή	22
2.1 Ορισμός του Building Information Modeling (BIM)	22
2.2 Από το CAD στο BIM: Η ιστορική εξέλιξη της ψηφιακής σχεδίασης	24

2.3 Βασικά Χαρακτηριστικά του Building Information Modeling.....	26
2.3.1 Παραμετρική Μοντελοποίηση.....	26
2.3.2 Κεντρική Διαχείριση Πληροφοριών.....	26
2.3.3 Συνεργατικός Χαρακτήρας του BIM.....	27
2.3.4 Διαχείριση Πληροφοριών σε Όλο τον Κύκλο Ζωής του Έργου	27
2.4 Οι Διαστάσεις του Building Information Modeling (BIM)	28
2.4.1 Γενικά	28
2.4.2 3D BIM – Τρισδιάστατη Μοντελοποίηση	28
2.4.3 4D BIM – Διαχείριση Χρόνου.....	29
2.4.4 5D BIM – Διαχείριση Κόστους	30
2.4.5 6D BIM – Βιωσιμότητα και Ενεργειακή Απόδοση.....	31
2.4.6 7D BIM – Λειτουργία και Συντήρηση	32
2.4.7 Η σημασία των 3D, 4D και 5D BIM για την παρούσα έρευνα.....	32
2.5 Επίπεδα Ανάπτυξης Πληροφορίας (Level of Development – LOD).....	33
2.5.1 Η ανάγκη καθορισμού επιπέδων ανάπτυξης στα BIM μοντέλα.....	33
2.5.2 Η εξέλιξη των επιπέδων LOD	34
2.5.3 LOD 100 – Εννοιολογικός Σχεδιασμός.....	34
2.5.4 LOD 200 – Σχηματικός Σχεδιασμός.....	34
2.5.5 LOD 300 – Οριστική Μελέτη.....	35
2.5.6 LOD 350 – Συντονισμός Συστημάτων	35
2.5.7 LOD 400 – Κατασκευαστική Πληροφορία	36
2.5.8 LOD 500 – As-Built Μοντέλο.....	36
2.5.9 Εφαρμογή των LOD στη μελέτη περίπτωσης της παρούσας εργασίας.....	37
2.6 Επίπεδα Ωριμότητας BIM (BIM Maturity Levels)	38
2.6.1 Η έννοια της ωριμότητας στο BIM	38
2.6.2 Το μοντέλο Bew–Richards	38

2.6.3 Level 0 – Παραδοσιακή Σχεδίαση.....	39
2.6.4 Level 1 – Ψηφιακή Μετάβαση	39
2.6.5 Level 2 – Συνεργατικό BIM	40
2.6.6 Level 3 – Πλήρως Ολοκληρωμένο BIM	40
2.6.7 Το μοντέλο ωριμότητας του Succar	41
2.6.8 Η θέση της Ελλάδας ως προς την ωριμότητα BIM	41
2.6.9 Συσχέτιση με την παρούσα έρευνα	42
2.7 Διαλειτουργικότητα και OpenBIM	43
2.7.1 Η ανάγκη διαλειτουργικότητας στα έργα BIM	43
2.7.2 Η έννοια του OpenBIM	43
2.7.3 Το πρότυπο IFC (Industry Foundation Classes).....	44
2.7.4 Το πρότυπο COBie	44
2.7.5 Η σημασία της διαλειτουργικότητας στη μελέτη περίπτωσης	45
2.8 Πλεονεκτήματα της Εφαρμογής του Building Information Modeling (BIM)	46
2.8.1 Εισαγωγή	46
2.8.2 Βελτίωση της οπτικοποίησης και της κατανόησης του	46
2.8.3 Βελτίωση της ποιότητας του σχεδιασμού	47
2.8.4 Εντοπισμός συγκρούσεων και μείωση σφαλμάτων	47
2.8.5 Αυτοματοποιημένη παραγωγή τεχνικής τεκμηρίωσης.....	47
2.8.6 Ακριβέστερη ποσομέτρηση και κοστολόγηση	48
2.8.7 Βελτίωση του χρονικού προγραμματισμού	48
2.8.8 Βελτίωση της συνεργασίας και της επικοινωνίας	48
2.8.9 Υποστήριξη της διαχείρισης του κύκλου ζωής του έργου	48
2.9 Προκλήσεις και Περιορισμοί της Εφαρμογής BIM	49
2.9.1 Εισαγωγή	49
2.9.2 Υψηλό αρχικό κόστος υιοθέτησης	49

2.9.3 Ανάγκη εξειδικευμένης εκπαίδευσης	50
2.9.4 Αντίσταση στην οργανωτική αλλαγή	50
2.9.5 Προβλήματα διαλειτουργικότητας	51
2.9.6 Νομικά και συμβατικά ζητήματα	51
2.9.7 Περιορισμένη εφαρμογή στην Ελλάδα	52
2.9.8 Συνολική αποτίμηση.....	52
2.10 Η Εφαρμογή του Building Information Modeling στην Ευρώπη και στην Ελλάδα.....	53
2.10.1 Εισαγωγή	53
2.10.2 Η εφαρμογή του BIM στην Ευρώπη	53
2.10.3 Ο ρόλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης.....	55
2.10.4 Η εφαρμογή του BIM στην Ελλάδα	55
2.10.5 Βασικά εμπόδια εφαρμογής στην Ελλάδα.....	56
2.10.6 Προοπτικές ανάπτυξης του BIM στην Ελλάδα	56
2.10.7 Σύνδεση με την παρούσα έρευνα	57
2.11 Σύνοψη Κεφαλαίου 2	58
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο :	59
Ερευνητική Μεθοδολογία.....	59
3.1 Εισαγωγή.....	60
3.2 Ερευνητική Προσέγγιση.....	60
3.3 Σχεδιασμός της Έρευνας.....	61
3.4 Ερευνητικά Εργαλεία	63
3.5 Δυνατότητες Εξαγωγής και Αξιοποίησης Δεδομένων μέσω BIM.....	63
3.5.1 Εξαγωγή Ποσοτικών και Τεχνικών Δεδομένων από το BIM Μοντέλο	63
3.5.2 Δυνατότητες Ποσομέτρησης μέσω BIM	64
3.5.3 Συμβολή των Ποσοτικών Δεδομένων στη Διαχείριση	64
3.5.4 Αξιολόγηση της Χρήσης Ποσοτικών Δεδομένων	65

3.6 Περιορισμοί της Έρευνας.....	65
3.7 Περιγραφή της Μελέτης Περίπτωσης.....	66
3.8 Σύνοψη Κεφαλαίου	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο :.....	68
Ανάπτυξη BIM Μοντέλου και Εφαρμογή στη Μελέτη Περίπτωσης.....	68
4.1 Εισαγωγή.....	69
4.2 Περιγραφή-Παρουσίαση της Μελέτης Περίπτωσης.....	70
4.2.1 Γενικά Χαρακτηριστικά του Έργου	70
4.2.2 Αρχιτεκτονική Διάταξη και Λειτουργική Οργάνωση	71
4.3 Ανάπτυξη του BIM Μοντέλου στο Autodesk Revit	74
4.3.1 Προετοιμασία και Εισαγωγή των Δεδομένων	74
4.3.2 Δημιουργία Επιπέδων Αναφοράς (Levels).....	75
4.3.3 Ανάπτυξη των Αρχιτεκτονικών Στοιχείων	77
4.3.4 Δημιουργία της Στέγης	78
4.3.5 Παραγωγή Όψεων, Τομών και Τρισδιάστατων.....	79
4.3.6 Παραγωγή Τεχνικής Τεκμηρίωσης και Τρισδιάστατων Απεικονίσεων.....	79
.....	87
4.4 Οργάνωση της Πληροφορίας και Προετοιμασία για την Εξαγωγή Δεδομένων.....	88
4.5 Κριτική Αποτίμηση της Διαδικασίας Ανάπτυξης του BIM Μοντέλου	89
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο :.....	91
5.1 Εισαγωγή.....	92
5.2 Παραγωγή και Αξιολόγηση των Ποσοτικών Δεδομένων του BIM Μοντέλου	93
5.3 Αξιοποίηση του BIM για την Επιμέτρηση, τον Χρονικό Προγραμματισμό και την Εκτίμηση Κόστους των Δομικών Στοιχείων	95
5.4 Αξιολόγηση Επενδύσεων και Επιστρώσεων μέσω Παραμετρικών Δεδομένων.....	97
5.5 Παραμετρική Διαχείριση Αρχιτεκτονικών Στοιχείων και Πληροφορίας	99

5.6 Συνολική Αξιολόγηση της Εφαρμογής του BIM στη Μελέτη Περίπτωσης.....	101
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο:	104
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΈΡΕΥΝΑ.....	104
6.1 Απαντήσεις στα Ερευνητικά Ερωτήματα	105
6.2 Συμπεράσματα.....	107
6.3 Περιορισμοί της Έρευνας.....	108
6.4 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα.....	109
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	112
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	118
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....	128
ΦΩΤΟΡΕΑΛΙΣΤΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ ΤΗΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ	129
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ.....	131
ΤΕΛΟΣ.....	137

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο:

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο και σκοπός της εργασίας

Ο κατασκευαστικός κλάδος βρίσκεται τα τελευταία χρόνια σε μία περίοδο έντονου ψηφιακού μετασχηματισμού, καθώς οι τεχνολογικές εξελίξεις δημιουργούν νέες δυνατότητες στον σχεδιασμό, την κατασκευή και τη διαχείριση τεχνικών έργων. Η ανάγκη για βελτίωση της παραγωγικότητας, μείωση των λαθών, αποτελεσματικότερο συντονισμό των εμπλεκόμενων φορέων και βελτιστοποίηση του κόστους και του χρόνου υλοποίησης των έργων έχει οδηγήσει στην υιοθέτηση προηγμένων ψηφιακών εργαλείων και μεθοδολογιών. Μεταξύ αυτών, το Building Information Modeling (BIM) αποτελεί μία από τις σημαντικότερες τεχνολογικές καινοτομίες των τελευταίων δεκαετιών στον τομέα των κατασκευών (Eastman et al., 2011).

Το Building Information Modeling (BIM) δεν αποτελεί απλώς ένα λογισμικό τρισδιάστατης σχεδίασης, αλλά μία ολοκληρωμένη μεθοδολογία διαχείρισης πληροφοριών που επιτρέπει τη δημιουργία, αποθήκευση, ανταλλαγή και αξιοποίηση ψηφιακών δεδομένων καθ' όλη τη διάρκεια ζωής ενός έργου. Μέσω της ανάπτυξης ενός ενιαίου ψηφιακού μοντέλου, το BIM παρέχει τη δυνατότητα ολοκληρωμένης διαχείρισης γεωμετρικών, τεχνικών, λειτουργικών, οικονομικών και χρονικών πληροφοριών, υποστηρίζοντας τη συνεργασία μεταξύ όλων των εμπλεκόμενων ειδικοτήτων (Succar, 2009).

Η εφαρμογή της μεθοδολογίας BIM έχει παρουσιάσει σημαντική ανάπτυξη σε διεθνές επίπεδο, καθώς πλήθος ερευνών έχουν αναδείξει τα οφέλη της στη βελτίωση της ποιότητας του σχεδιασμού, στη μείωση των συγκρούσεων μεταξύ μελετών, στη βελτιστοποίηση του προγραμματισμού και στην αποτελεσματικότερη διαχείριση των πόρων ενός έργου (Bryde et al., 2013; Gu & London, 2010). Παράλληλα, η υιοθέτηση του BIM ενισχύεται από διεθνή πρότυπα, όπως η σειρά προτύπων ISO 19650, τα οποία καθορίζουν τις διαδικασίες οργάνωσης και διαχείρισης της πληροφορίας σε έργα που βασίζονται στη μεθοδολογία BIM (ISO, 2019).

Παρά τη σημαντική πρόοδο που έχει σημειωθεί διεθνώς, η εφαρμογή του BIM στην Ελλάδα εξακολουθεί να βρίσκεται σε πρώιμο στάδιο συγκριτικά με άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Η χρήση της μεθοδολογίας συναντάται κυρίως σε μεγάλα δημόσια και ιδιωτικά έργα, ενώ η αξιοποίησή της σε έργα μικρής κλίμακας, όπως οι κατοικίες, παραμένει περιορισμένη. Η έλλειψη εξειδικευμένης τεχνογνωσίας, η απουσία ολοκληρωμένου θεσμικού πλαισίου και το αυξημένο αρχικό κόστος

μετάβασης σε BIM περιβάλλον αποτελούν ορισμένους από τους σημαντικότερους ανασταλτικούς παράγοντες (Volk et al., 2014).

Στο πλαίσιο αυτό, η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει την εφαρμογή της μεθοδολογίας Building Information Modeling στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό και στη διαχείριση κτιριακών έργων μικρής κλίμακας, μέσω της ανάπτυξης ενός ολοκληρωμένου ψηφιακού μοντέλου πραγματικής ισότητας κατοικίας σε περιβάλλον Autodesk Revit. Η μελέτη βασίζεται σε πραγματικά αρχιτεκτονικά σχέδια τα οποία έχουν αρχικά εκπονηθεί σε περιβάλλον AutoCAD και μεταφέρονται σε BIM περιβάλλον με σκοπό την ανάπτυξη ενός πλήρως παραμετρικού ψηφιακού μοντέλου.

Βασικός σκοπός της εργασίας είναι η διερεύνηση και αξιολόγηση της συμβολής του BIM στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό και στη διαχείριση κτιριακών έργων. Παράλληλα, εξετάζεται η δυνατότητα αξιοποίησης των διαστάσεων 3D, 4D και 5D BIM για την υποστήριξη διαδικασιών οπτικοποίησης, χρονικού προγραμματισμού και κοστολόγησης αντίστοιχα.

Η έρευνα φιλοδοξεί να συμβάλει στην κατανόηση των δυνατοτήτων που προσφέρει το BIM σε έργα κατοικιών και να αναδείξει τις προοπτικές ευρύτερης εφαρμογής του στην ελληνική πραγματικότητα.

1.2 Σημασία του Building Information Modeling (BIM) στον κατασκευαστικό κλάδο

Η βιομηχανία των κατασκευών χαρακτηρίζεται διαχρονικά από χαμηλότερους ρυθμούς παραγωγικότητας σε σύγκριση με άλλους βιομηχανικούς κλάδους, καθώς και από υψηλά ποσοστά υπερβάσεων κόστους, καθυστερήσεων και σφαλμάτων συντονισμού μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων (McKinsey Global Institute, 2017). Οι παραδοσιακές διαδικασίες σχεδιασμού και διαχείρισης βασίζονται συνήθως σε αποσπασματικές πληροφορίες και ανεξάρτητα σχέδια, γεγονός που δυσχεραίνει τη συνεργασία μεταξύ αρχιτεκτόνων, μηχανικών, εργολάβων και ιδιοκτητών.

Η μεθοδολογία BIM επιχειρεί να αντιμετωπίσει τις παραπάνω αδυναμίες μέσω της δημιουργίας ενός ενιαίου ψηφιακού περιβάλλοντος εργασίας. Όλες οι πληροφορίες του έργου συγκεντρώνονται σε ένα κεντρικό μοντέλο, το οποίο ενημερώνεται δυναμικά και επιτρέπει την ταυτόχρονη πρόσβαση και επεξεργασία από διαφορετικές ειδικότητες (Eastman et al., 2011).

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του BIM είναι η δυνατότητα έγκαιρης ανίχνευσης συγκρούσεων (clash detection) μεταξύ των διαφόρων μελετών, γεγονός που περιορίζει τα κατασκευαστικά προβλήματα και τις τροποποιήσεις κατά τη διάρκεια υλοποίησης του έργου. Επιπλέον, η παραμετρική φύση των BIM μοντέλων επιτρέπει την αυτόματη ενημέρωση όλων των σχεδίων και πινάκων ποσοτήτων κάθε φορά που πραγματοποιείται μία αλλαγή στο μοντέλο, μειώνοντας σημαντικά την πιθανότητα σφαλμάτων (Azhar, 2011).

Παράλληλα, η ενσωμάτωση πρόσθετων διαστάσεων στο BIM, όπως ο χρόνος (4D BIM) και το κόστος (5D BIM), καθιστά δυνατή τη σύνδεση του ψηφιακού μοντέλου με το χρονοδιάγραμμα και τον προϋπολογισμό του έργου. Με τον τρόπο αυτό ενισχύεται η λήψη αποφάσεων, διευκολύνεται ο έλεγχος της προόδου των εργασιών και βελτιώνεται η συνολική διαχείριση του έργου (Bryde et al., 2013).

Η σημασία του BIM αναγνωρίζεται πλέον και σε θεσμικό επίπεδο. Πολλές ευρωπαϊκές χώρες έχουν ενσωματώσει τη χρήση BIM στις δημόσιες συμβάσεις, ενώ η Ευρωπαϊκή Ένωση ενθαρρύνει την υιοθέτηση ψηφιακών διαδικασιών στον κατασκευαστικό τομέα. Η εφαρμογή του BIM θεωρείται βασικός πυλώνας της ψηφιακής μετάβασης του κατασκευαστικού κλάδου και συνδέεται άμεσα με τις αρχές της βιώσιμης ανάπτυξης, της αποδοτικής χρήσης πόρων και της βελτίωσης της ποιότητας των κατασκευών (European Commission, 2019).

1.3 Στόχοι της Έρευνας

Η συνεχής ψηφιοποίηση των διαδικασιών σχεδιασμού και διαχείρισης των τεχνικών έργων έχει αναδείξει το Building Information Modeling (BIM) ως ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία του σύγχρονου κατασκευαστικού τομέα. Παρά τη διεθνή εξάπλωση της μεθοδολογίας, η αξιοποίησή της σε έργα μικρής κλίμακας εξακολουθεί να παρουσιάζει περιορισμένη εφαρμογή, ιδιαίτερα στην ελληνική πραγματικότητα. Για τον λόγο αυτό κρίνεται αναγκαία η διερεύνηση της αποτελεσματικότητας και της πρακτικής αξίας του BIM μέσα από πραγματικές εφαρμογές που αντανακλούν τις συνθήκες της εγχώριας αγοράς.

Κύριος στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη και αξιολόγηση ενός ολοκληρωμένου BIM μοντέλου για πραγματικό έργο ισόγειας κατοικίας, με σκοπό τη διερεύνηση της

συμβολής της μεθοδολογίας BIM στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό και στη διαχείριση κτιριακών έργων μικρής κλίμακας.

Για την επίτευξη του παραπάνω σκοπού τίθενται οι ακόλουθοι επιμέρους στόχοι:

- Η καταγραφή και ανάλυση των βασικών αρχών και χαρακτηριστικών της μεθοδολογίας Building Information Modeling.
- Η διερεύνηση των εφαρμογών του BIM στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό και στη διαχείριση κατασκευαστικών έργων.
- Η ανάπτυξη τρισδιάστατου παραμετρικού μοντέλου (3D BIM) της εξεταζόμενης κατοικίας με χρήση του λογισμικού Autodesk Revit.
- Η μετατροπή των υφιστάμενων δισδιάστατων σχεδίων AutoCAD σε ολοκληρωμένο ψηφιακό μοντέλο BIM.
- Η αξιοποίηση των δυνατοτήτων του BIM για την παραγωγή σχεδίων, ποσοτήτων και τεχνικής τεκμηρίωσης.
- Η διερεύνηση της εφαρμογής των διαστάσεων 4D BIM και 5D BIM μέσω της σύνδεσης του μοντέλου με στοιχεία χρονικού προγραμματισμού και ποσομέτρησης.
- Η αξιολόγηση των πλεονεκτημάτων που προκύπτουν από τη χρήση του BIM σε σχέση με τις συμβατικές διαδικασίες σχεδιασμού.
- Η καταγραφή των δυσκολιών, περιορισμών και προκλήσεων που συναντώνται κατά την εφαρμογή της μεθοδολογίας σε έργα κατοικιών.
- Η διατύπωση προτάσεων για την ευρύτερη αξιοποίηση του BIM στον ελληνικό κατασκευαστικό κλάδο.

Η επίτευξη των παραπάνω στόχων αναμένεται να συμβάλει στην καλύτερη κατανόηση των δυνατοτήτων του BIM ως εργαλείου ολοκληρωμένης διαχείρισης πληροφοριών και να αναδείξει τον ρόλο του στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των διαδικασιών σχεδιασμού και υλοποίησης τεχνικών έργων.

1.4 Ερευνητικά Ερωτήματα

Η διατύπωση συγκεκριμένων ερευνητικών ερωτημάτων αποτελεί βασικό στοιχείο κάθε επιστημονικής μελέτης, καθώς καθοδηγεί τη μεθοδολογία, τη συλλογή δεδομένων και την ανάλυση των

αποτελεσμάτων. Στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας, τα ερωτήματα που διερευνώνται είναι τα ακόλουθα:

Ερευνητικό Ερώτημα 1 (EE1)

Πώς συμβάλλει η εφαρμογή της μεθοδολογίας BIM στη βελτίωση του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού μίας κατοικίας σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους σχεδίασης που βασίζονται αποκλειστικά σε δισδιάστατα σχέδια;

Ερευνητικό Ερώτημα 2 (EE2)

Ποια είναι τα κύρια οφέλη που προκύπτουν από την ανάπτυξη ενός παραμετρικού BIM μοντέλου όσον αφορά την οργάνωση, την τεκμηρίωση και τη διαχείριση των πληροφοριών του έργου;

Ερευνητικό Ερώτημα 3 (EE3)

Σε ποιο βαθμό η αξιοποίηση των διαστάσεων 4D BIM και 5D BIM μπορεί να υποστηρίξει τον χρονικό προγραμματισμό και την ποσομέτρηση ενός κτιριακού έργου μικρής κλίμακας;

Ερευνητικό Ερώτημα 4 (EE4)

Ποιες δυσκολίες και περιορισμοί εμφανίζονται κατά την εφαρμογή της μεθοδολογίας BIM στην ελληνική κατασκευαστική πραγματικότητα και ειδικότερα σε έργα κατοικιών;

Ερευνητικό Ερώτημα 5 (EE5)

Μπορεί η εφαρμογή του BIM να αποτελέσει μια ρεαλιστική και αποδοτική λύση για την ψηφιακή αναβάθμιση του σχεδιασμού και της διαχείρισης μικρών ιδιωτικών έργων στην Ελλάδα;

Τα παραπάνω ερωτήματα αποτελούν τον βασικό άξονα διερεύνησης της παρούσας εργασίας και συνδέονται άμεσα με τα συμπεράσματα που θα εξαχθούν από την εφαρμογή της μεθοδολογίας BIM στη μελέτη περίπτωσης.

1.5 Μεθοδολογία της Έρευνας

Η παρούσα διπλωματική εργασία ακολουθεί τη μεθοδολογική προσέγγιση της μελέτης περίπτωσης (case study), η οποία χρησιμοποιείται ευρέως στις επιστήμες μηχανικού για τη διερεύνηση τεχνικών και οργανωτικών φαινομένων σε πραγματικές συνθήκες εφαρμογής (Yin, 2018).

Η επιλογή της συγκεκριμένης μεθόδου κρίθηκε κατάλληλη, καθώς επιτρέπει την εις βάθος ανάλυση της εφαρμογής της μεθοδολογίας BIM σε πραγματικό έργο κατοικίας και τη διερεύνηση των δυνατοτήτων αλλά και των περιορισμών της σε συνθήκες που αντανακλούν την καθημερινή επαγγελματική πρακτική.

Η έρευνα αναπτύσσεται σε τέσσερα βασικά στάδια:

Στάδιο 1: Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Αρχικά πραγματοποιείται συστηματική ανασκόπηση της διεθνούς και ελληνικής βιβλιογραφίας σχετικά με το Building Information Modeling, τις εφαρμογές του στον κατασκευαστικό τομέα, τις διαστάσεις του BIM (3D, 4D, 5D), τα οφέλη και τις προκλήσεις που συνοδεύουν την εφαρμογή του.

Στάδιο 2: Συλλογή και Επεξεργασία Δεδομένων

Στο δεύτερο στάδιο συγκεντρώνονται τα διαθέσιμα στοιχεία της μελέτης περίπτωσης, τα οποία περιλαμβάνουν αρχιτεκτονικά σχέδια, τεχνικά χαρακτηριστικά του κτιρίου και πληροφορίες σχετικές με τη φάση κατασκευής του έργου.

Στάδιο 3: Ανάπτυξη BIM Μοντέλου

Στη συνέχεια πραγματοποιείται η μεταφορά των δισδιάστατων σχεδίων σε περιβάλλον Autodesk Revit και η ανάπτυξη ολοκληρωμένου παραμετρικού BIM μοντέλου. Στο μοντέλο ενσωματώνονται στοιχεία γεωμετρίας, δομικών υλικών, αρχιτεκτονικών στοιχείων και λοιπών τεχνικών πληροφοριών.

Στάδιο 4: Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

Τέλος, αξιολογούνται τα αποτελέσματα της εφαρμογής του BIM με έμφαση:

-  στην ποιότητα της παραγόμενης πληροφορίας,
-  στη βελτίωση της οπτικοποίησης του έργου,
-  στην υποστήριξη του χρονικού προγραμματισμού,
-  στη δυνατότητα παραγωγής ποσοτήτων και στοιχείων κόστους,
-  στις δυσκολίες εφαρμογής της μεθοδολογίας σε έργα μικρής κλίμακας.

Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει τη σύνδεση της θεωρητικής γνώσης με την επαγγελματική πρακτική και καθιστά δυνατή την εξαγωγή τεκμηριωμένων συμπερασμάτων σχετικά με τη χρησιμότητα του BIM στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό και στη διαχείριση κτιριακών έργων.

1.6 Δομή της Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία οργανώνεται σε έξι βασικά κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται το αντικείμενο, η σκοπιμότητα, οι στόχοι, τα ερευνητικά ερωτήματα και η μεθοδολογία της έρευνας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο πραγματοποιείται εκτενής βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με τη μεθοδολογία Building Information Modeling, την ιστορική εξέλιξή της, τις διαστάσεις του BIM, τα πρότυπα που τη διέπουν, καθώς και τις εφαρμογές της στον κατασκευαστικό τομέα.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η σχέση του BIM με τη διαχείριση τεχνικών έργων, αναλύονται οι εφαρμογές του στον προγραμματισμό, στη διαχείριση κόστους και στον συντονισμό των εμπλεκόμενων φορέων και αξιολογούνται τα πλεονεκτήματα και οι περιορισμοί της μεθοδολογίας.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά η μελέτη περίπτωσης της ισόγειας κατοικίας, τα διαθέσιμα δεδομένα και η διαδικασία ανάπτυξης του BIM μοντέλου στο Autodesk Revit.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής της μεθοδολογίας BIM, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης του τρισδιάστατου μοντέλου, της ποσομέτρησης, της υποστήριξης του χρονικού προγραμματισμού και της αξιολόγησης των δυνατοτήτων του BIM.

Στο έκτο κεφάλαιο διατυπώνονται τα τελικά συμπεράσματα της έρευνας, καταγράφονται οι περιορισμοί της μελέτης και προτείνονται κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα και περαιτέρω εφαρμογές της μεθοδολογίας BIM.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο:

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΚΑΙ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΟΥ BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)

Εισαγωγή

Η ψηφιακή μετάβαση του κατασκευαστικού κλάδου αποτελεί μία από τις σημαντικότερες τεχνολογικές εξελίξεις των τελευταίων δεκαετιών. Η ανάγκη για αποτελεσματικότερο σχεδιασμό, βελτιωμένη επικοινωνία μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων, περιορισμό των σφαλμάτων και αύξηση της παραγωγικότητας έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη νέων μεθοδολογιών διαχείρισης πληροφοριών και δεδομένων. Στο πλαίσιο αυτό, το Building Information Modeling (BIM) έχει αναδειχθεί ως ένα από τα πλέον σημαντικά εργαλεία ψηφιακού μετασχηματισμού της κατασκευαστικής βιομηχανίας.

Η διεθνής βιβλιογραφία αναγνωρίζει το BIM όχι μόνο ως τεχνολογικό εργαλείο αλλά ως μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία διαχείρισης πληροφοριών, η οποία επηρεάζει ολόκληρο τον κύκλο ζωής ενός έργου, από τη σύλληψη και τον σχεδιασμό μέχρι την κατασκευή, τη λειτουργία και τελικά την απόσυρσή του (Eastman et al., 2011). Η εφαρμογή του BIM έχει μεταβάλει σημαντικά τον τρόπο με τον οποίο σχεδιάζονται, κατασκευάζονται και διαχειρίζονται τα τεχνικά έργα, προσφέροντας νέες δυνατότητες συνεργασίας, ανάλυσης και λήψης αποφάσεων.

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η έννοια του Building Information Modeling, η ιστορική εξέλιξή του, τα βασικά χαρακτηριστικά και οι διαστάσεις του, τα επίπεδα ωριμότητας και ανάπτυξης πληροφοριών, καθώς και τα διεθνή πρότυπα και οι πρακτικές που διέπουν την εφαρμογή του. Παράλληλα, εξετάζεται η υιοθέτηση του BIM σε διεθνές επίπεδο και η σημερινή κατάσταση εφαρμογής του στην Ελλάδα.

2.1 Ορισμός του Building Information Modeling (BIM)

Παρότι ο όρος Building Information Modeling χρησιμοποιείται ευρέως τα τελευταία χρόνια, δεν υπάρχει ένας μοναδικός καθολικά αποδεκτός ορισμός. Η πολυδιάστατη φύση του BIM έχει οδηγήσει στη διατύπωση διαφορετικών προσεγγίσεων από ερευνητές, οργανισμούς και επαγγελματικούς φορείς.

Σύμφωνα με το National Institute of Building Sciences (NIBS), το BIM ορίζεται ως μία διαδικασία δημιουργίας και διαχείρισης ψηφιακών αναπαραστάσεων των φυσικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών μιας κατασκευής. Το μοντέλο BIM αποτελεί μία κοινή πηγή πληροφοριών για το

έργο και παρέχει αξιόπιστη βάση για τη λήψη αποφάσεων καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του έργου (NIBS, 2015).

Ο Eastman και οι συνεργάτες του (2011), οι οποίοι θεωρούνται από τους σημαντικότερους ερευνητές στον τομέα του BIM, ορίζουν το BIM ως μία τεχνολογία μοντελοποίησης και ένα σύνολο διαδικασιών που επιτρέπουν την παραγωγή, διαχείριση και ανταλλαγή ψηφιακών πληροφοριών σχετικών με μία κατασκευή.

Αντίστοιχα, ο Succar (2009) υποστηρίζει ότι το BIM δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται ως ένα λογισμικό ή ένα τρισδιάστατο μοντέλο αλλά ως ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο συνεργασίας που περιλαμβάνει τεχνολογίες, διαδικασίες και πολιτικές διαχείρισης πληροφοριών.

Η Ευρωπαϊκή Ομάδα Εργασίας BIM (EU BIM Task Group) ορίζει το BIM ως μία διαδικασία συνεργατικής παραγωγής και διαχείρισης ψηφιακών πληροφοριών που αφορούν το δομημένο περιβάλλον. Σύμφωνα με την προσέγγιση αυτή, η αξία του BIM προκύπτει κυρίως από τη δυνατότητα συντονισμού και ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ διαφορετικών εμπλεκόμενων φορέων κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός έργου.

Από τους παραπάνω ορισμούς προκύπτει ότι το BIM δεν αποτελεί απλώς ένα τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο αλλά ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης πληροφοριών. Το μοντέλο λειτουργεί ως κεντρική βάση δεδομένων στην οποία αποθηκεύονται γεωμετρικές, τεχνικές, οικονομικές και λειτουργικές πληροφορίες του έργου. Οι πληροφορίες αυτές ενημερώνονται δυναμικά και μπορούν να αξιοποιηθούν από όλους τους εμπλεκόμενους φορείς.

Η βασική διαφορά μεταξύ BIM και παραδοσιακών μεθόδων σχεδίασης έγκειται στο γεγονός ότι στο BIM κάθε στοιχείο του μοντέλου αποτελεί ένα «ευφές» παραμετρικό αντικείμενο με συγκεκριμένες ιδιότητες και σχέσεις με τα υπόλοιπα στοιχεία του έργου. Έτσι, οποιαδήποτε μεταβολή πραγματοποιείται σε ένα στοιχείο ενημερώνει αυτόματα όλα τα σχετικά σχέδια, πίνακες ποσοτήτων και τεχνικά δεδομένα, εξασφαλίζοντας συνέπεια και ακρίβεια των πληροφοριών.

Η δυνατότητα αυτή διαφοροποιεί ριζικά το BIM από τα συμβατικά συστήματα Computer Aided Design (CAD), τα οποία βασίζονται κυρίως σε γεωμετρικές αναπαραστάσεις χωρίς ενσωματωμένη πληροφορία. Ενώ τα συστήματα CAD εστιάζουν στη δημιουργία σχεδίων, το BIM εστιάζει στη διαχείριση γνώσης και πληροφορίας σχετικά με το έργο (Sacks et al., 2018).

Συνεπώς, το BIM μπορεί να θεωρηθεί ως μια ολιστική προσέγγιση που συνδυάζει ανθρώπους, διαδικασίες και τεχνολογίες με στόχο τη βελτίωση της απόδοσης και της ποιότητας των τεχνικών έργων.

2.2 Από το CAD στο BIM: Η ιστορική εξέλιξη της ψηφιακής σχεδίασης

Η σημερινή μορφή του Building Information Modeling αποτελεί αποτέλεσμα μιας μακροχρόνιας διαδικασίας εξέλιξης των τεχνολογιών σχεδιασμού και διαχείρισης πληροφοριών στον κατασκευαστικό τομέα.

Μέχρι και τη δεκαετία του 1970, ο σχεδιασμός των τεχνικών έργων πραγματοποιούνταν αποκλειστικά με χειροκίνητες μεθόδους. Οι μελέτες εκπονούνταν σε σχεδιαστήρια με χρήση χαρτιού και σχεδιαστικών οργάνων, ενώ οποιαδήποτε τροποποίηση απαιτούσε εκ νέου σχεδίαση μεγάλου μέρους των σχεδίων. Η διαδικασία αυτή ήταν χρονοβόρα, επιρρεπής σε σφάλματα και δυσχέραινε σημαντικά τον συντονισμό μεταξύ των διαφόρων ειδικοτήτων.

Η εμφάνιση των πρώτων συστημάτων Computer Aided Design (CAD) κατά τη δεκαετία του 1980 αποτέλεσε σημαντικό βήμα εκσυγχρονισμού. Τα λογισμικά CAD επέτρεψαν τη δημιουργία ψηφιακών δισδιάστατων σχεδίων, μειώνοντας τον χρόνο παραγωγής και διευκολύνοντας τη διαδικασία τροποποιήσεων. Η διάδοση λογισμικών όπως το AutoCAD οδήγησε στη σταδιακή εγκατάλειψη των παραδοσιακών σχεδιαστηρίων και στην καθιέρωση της ψηφιακής σχεδίασης.

Παρά τα πλεονεκτήματά τους, τα συστήματα CAD παρουσίαζαν σημαντικούς περιορισμούς. Τα σχέδια αποτελούσαν ανεξάρτητα αρχεία χωρίς διασύνδεση μεταξύ τους, με αποτέλεσμα κάθε αλλαγή να απαιτεί χειροκίνητη ενημέρωση πολλαπλών σχεδίων. Επιπλέον, τα αντικείμενα δεν περιείχαν πληροφορίες πέρα από τη γεωμετρική τους αναπαράσταση.

Η ιδέα της ενσωμάτωσης πληροφορίας στα ψηφιακά μοντέλα εμφανίστηκε ήδη από τη δεκαετία του 1970 μέσω των ερευνητικών εργασιών του Charles Eastman, ο οποίος εισήγαγε την έννοια του Building Description System (BDS). Το σύστημα αυτό θεωρείται πρόδρομος της σημερινής φιλοσοφίας BIM, καθώς βασιζόταν στην αποθήκευση και διαχείριση πληροφοριών για τα δομικά στοιχεία ενός κτιρίου.

Κατά τις δεκαετίες του 1990 και 2000 αναπτύχθηκαν τα πρώτα λογισμικά που ενσωμάτωναν βασικές αρχές BIM, όπως τα ArchiCAD, Bentley Systems και αργότερα το Autodesk Revit. Τα λογισμικά αυτά εισήγαγαν την έννοια των παραμετρικών αντικειμένων, επιτρέποντας τη δημιουργία ψηφιακών μοντέλων που περιλάμβαναν τόσο γεωμετρικά όσο και περιγραφικά δεδομένα.

Η ευρεία υιοθέτηση του BIM ξεκίνησε μετά το 2005, όταν μεγάλες κατασκευαστικές εταιρείες και δημόσιοι οργανισμοί αναγνώρισαν τα οφέλη της τεχνολογίας. Σημαντικό ρόλο διαδραμάτισαν οι κυβερνήσεις χωρών όπως το Ηνωμένο Βασίλειο, η Σιγκαπούρη, η Φινλανδία και οι Ηνωμένες Πολιτείες, οι οποίες προώθησαν θεσμικά την εφαρμογή BIM σε δημόσια έργα.

Σήμερα, το BIM αποτελεί το κυρίαρχο πρότυπο ψηφιακής διαχείρισης πληροφοριών στον κατασκευαστικό τομέα και συνδέεται άμεσα με τεχνολογίες όπως η τεχνητή νοημοσύνη, το Internet of Things (IoT), τα ψηφιακά δίδυμα (Digital Twins) και οι πλατφόρμες συνεργατικής διαχείρισης δεδομένων (Common Data Environments – CDE).

Πίνακας: Σύγκριση συμβατικής σχεδίασης CAD και BIM

Χαρακτηριστικό	CAD	BIM
Βασική δομή μοντέλου	Γραμμές και γεωμετρικά στοιχεία	Παραμετρικά αντικείμενα
Πληροφορίες στοιχείων	Περιορισμένες	Εκτεταμένες
Ενημέρωση σχεδίων	Χειροκίνητη	Αυτόματη
Ποσομέτρηση	Χειροκίνητη	Αυτόματη
Συνεργασία ειδικοτήτων	Περιορισμένη	Υψηλή
Διαχείριση κόστους	Όχι άμεσα	Υποστηρίζεται
Διαχείριση χρονοδιαγράμματος	Όχι	Υποστηρίζεται
Διαχείριση κύκλου ζωής	Περιορισμένη	Πλήρης υποστήριξη

2.3 Βασικά Χαρακτηριστικά του Building Information Modeling

2.3.1 Παραμετρική Μοντελοποίηση

Ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του Building Information Modeling είναι η παραμετρική μοντελοποίηση (Parametric Modeling). Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά συστήματα σχεδίασης CAD, στα οποία τα σχέδια αποτελούνται κυρίως από γραμμές, καμπύλες και γεωμετρικά στοιχεία, στο BIM κάθε στοιχείο του μοντέλου αποτελεί ένα παραμετρικό αντικείμενο με συγκεκριμένες ιδιότητες και χαρακτηριστικά.

Τα αντικείμενα αυτά μπορούν να περιλαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με τις διαστάσεις, τα υλικά, τις φυσικές ιδιότητες, το κόστος, τη φάση κατασκευής και άλλες τεχνικές παραμέτρους. Η βασική αρχή της παραμετρικής μοντελοποίησης είναι ότι κάθε μεταβολή που πραγματοποιείται σε ένα στοιχείο ενημερώνει αυτόματα όλα τα συνδεδεμένα στοιχεία, σχέδια και πίνακες του μοντέλου.

Η δυνατότητα αυτή μειώνει σημαντικά τα σφάλματα συντονισμού και εξασφαλίζει τη συνέπεια των πληροφοριών σε όλα τα στάδια του έργου.

2.3.2 Κεντρική Διαχείριση Πληροφοριών

Το BIM δεν αποτελεί απλώς ένα τρισδιάστατο μοντέλο αλλά μια ολοκληρωμένη βάση δεδομένων έργου. Όλες οι πληροφορίες που σχετίζονται με το κτίριο συγκεντρώνονται σε ένα ενιαίο ψηφιακό περιβάλλον και μπορούν να ενημερώνονται δυναμικά κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του έργου.

Οι πληροφορίες αυτές περιλαμβάνουν:

- γεωμετρικά χαρακτηριστικά,
- τεχνικές προδιαγραφές,
- πληροφορίες υλικών,
- ποσοτικά στοιχεία,
- δεδομένα κόστους,
- στοιχεία συντήρησης.

Η ύπαρξη μιας κεντρικής πηγής πληροφορίας βελτιώνει την αξιοπιστία των δεδομένων και διευκολύνει τη λήψη αποφάσεων από όλους τους εμπλεκόμενους φορείς.

2.3.3 Συνεργατικός Χαρακτήρας του BIM

Η φιλοσοφία του BIM βασίζεται στη συνεργασία μεταξύ όλων των συμμετεχόντων σε ένα έργο. Μέσω της χρήσης κοινών ψηφιακών μοντέλων, διαφορετικές ειδικότητες μπορούν να ανταλλάσσουν πληροφορίες και να συνεργάζονται αποτελεσματικότερα.

Η συνεργασία αυτή αφορά:

- αρχιτέκτονες,
- πολιτικούς μηχανικούς,
- μηχανολόγους και ηλεκτρολόγους μηχανικούς,
- εργολάβους,
- διαχειριστές εγκαταστάσεων.

Η δυνατότητα ανταλλαγής και κοινής αξιοποίησης πληροφοριών συμβάλλει στη μείωση σφαλμάτων, στη βελτίωση του συντονισμού και στην αποτελεσματικότερη διαχείριση των έργων.

2.3.4 Διαχείριση Πληροφοριών σε Όλο τον Κύκλο Ζωής του Έργου

Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές μεθόδους σχεδιασμού, οι οποίες εστιάζουν κυρίως στη φάση της μελέτης, το BIM υποστηρίζει τη διαχείριση πληροφοριών σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής ενός έργου.

Οι πληροφορίες που δημιουργούνται κατά τη φάση του σχεδιασμού μπορούν να αξιοποιηθούν κατά:

- την κατασκευή,
- τη λειτουργία,
- τη συντήρηση,
- την ανακαίνιση,
- την τελική απόσυρση της κατασκευής.

Η προσέγγιση αυτή καθιστά το BIM ένα ολοκληρωμένο εργαλείο διαχείρισης πληροφοριών και όχι απλώς ένα σύστημα ψηφιακής σχεδίασης.

2.4 Οι Διαστάσεις του Building Information Modeling (BIM)

2.4.1 Γενικά

Ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του Building Information Modeling είναι η δυνατότητα επέκτασης του ψηφιακού μοντέλου πέρα από την τρισδιάστατη γεωμετρική αναπαράσταση. Η προσθήκη επιπλέον πληροφοριών επιτρέπει τη σύνδεση του μοντέλου με δεδομένα χρόνου, κόστους, βιωσιμότητας, λειτουργίας και συντήρησης, δημιουργώντας τις λεγόμενες «διαστάσεις» του BIM (BIM Dimensions).

Οι διαστάσεις του BIM αποτελούν εξέλιξη της αρχικής έννοιας του τρισδιάστατου μοντέλου και επιτρέπουν τη μετατροπή του σε ένα ολοκληρωμένο εργαλείο διαχείρισης πληροφοριών. Μέσω αυτής της προσέγγισης, το BIM δεν περιορίζεται στον σχεδιασμό αλλά υποστηρίζει όλες τις φάσεις του κύκλου ζωής ενός έργου, από τον αρχικό σχεδιασμό έως τη λειτουργία και συντήρησή του (Eastman et al., 2011).

Η βιβλιογραφία αναγνωρίζει διαφορετικό αριθμό διαστάσεων, ανάλογα με το επίπεδο ανάλυσης. Οι πιο διαδεδομένες είναι οι διαστάσεις από 3D έως 7D, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις συναντώνται και οι όροι 8D BIM, 9D BIM ή nD BIM (Succar, 2009). Στην παρούσα εργασία δίνεται έμφαση κυρίως στις διαστάσεις 3D, 4D και 5D, καθώς αυτές σχετίζονται άμεσα με τη μελέτη περίπτωσης της κατοικίας.

2.4.2 3D BIM – Τρισδιάστατη Μοντελοποίηση

Η τρισδιάστατη μοντελοποίηση (3D BIM) αποτελεί τη θεμελιώδη διάσταση του Building Information Modeling και το σημείο εκκίνησης για όλες τις υπόλοιπες εφαρμογές. Στο στάδιο αυτό δημιουργείται ένα ψηφιακό τρισδιάστατο μοντέλο το οποίο περιλαμβάνει όλα τα βασικά δομικά και αρχιτεκτονικά στοιχεία του έργου, όπως τοίχους, πλάκες, στέγες, ανοίγματα, δομικά στοιχεία και εγκαταστάσεις.

Σε αντίθεση με τα συμβατικά τρισδιάστατα μοντέλα που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για οπτικοποίηση, το BIM βασίζεται σε παραμετρικά αντικείμενα τα οποία περιέχουν πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά τους. Για παράδειγμα, ένας τοίχος στο BIM δεν αποτελεί απλώς μία γεωμετρική επιφάνεια αλλά περιλαμβάνει πληροφορίες για:

- το υλικό κατασκευής,
- το πάχος,
- τη θερμοπερατότητα,
- τις μηχανικές ιδιότητες,
- το κόστος,
- τη φάση κατασκευής,
- τις απαιτήσεις συντήρησης.

Η δημιουργία ενός τρισδιάστατου BIM μοντέλου επιτρέπει την καλύτερη κατανόηση του έργου από όλους τους εμπλεκόμενους φορείς και μειώνει σημαντικά τα σφάλματα που οφείλονται σε ελλιπή ερμηνεία των δισδιάστατων σχεδίων (Azhar, 2011).

Παράλληλα, το 3D BIM διευκολύνει:

- την παραγωγή κατόψεων,
- την παραγωγή όψεων,
- την παραγωγή τομών,
- τη δημιουργία τρισδιάστατων απεικονίσεων,
- την ανίχνευση συγκρούσεων μεταξύ μελετών (clash detection),
- την αυτόματη ενημέρωση των σχεδίων μετά από αλλαγές στο μοντέλο.

Στην παρούσα εργασία η ανάπτυξη του τρισδιάστατου μοντέλου της κατοικίας στο Autodesk Revit αποτελεί τη βασική εφαρμογή του 3D BIM.

2.4.3 4D BIM – Διαχείριση Χρόνου

Η τέταρτη διάσταση του BIM (4D BIM) προκύπτει από τη σύνδεση του τρισδιάστατου μοντέλου με το χρονοδιάγραμμα κατασκευής του έργου.

Η ενσωμάτωση χρονικών δεδομένων επιτρέπει τη συσχέτιση κάθε δομικού στοιχείου με συγκεκριμένες δραστηριότητες και χρονικές περιόδους υλοποίησης. Με τον τρόπο αυτό καθίσταται δυνατή η προσομοίωση της εξέλιξης του έργου στον χρόνο, παρέχοντας μια δυναμική εικόνα της κατασκευαστικής διαδικασίας.

Το 4D BIM χρησιμοποιείται ευρέως για:

- προγραμματισμό έργων,
- έλεγχο προόδου,
- ανάλυση εναλλακτικών σεναρίων κατασκευής,
- βελτιστοποίηση αλληλουχίας εργασιών,
- εντοπισμό πιθανών καθυστερήσεων.

Η σημαντικότερη συνεισφορά του 4D BIM είναι ότι μετατρέπει ένα στατικό χρονοδιάγραμμα σε ένα οπτικοποιημένο εργαλείο λήψης αποφάσεων. Οι διαχειριστές έργου μπορούν να παρακολουθούν την εξέλιξη της κατασκευής μέσω του ίδιου του μοντέλου, γεγονός που βελτιώνει την κατανόηση των κατασκευαστικών αλληλουχιών και περιορίζει τον κίνδυνο λαθών στον προγραμματισμό (Bryde et al., 2013).

Επιπλέον, το 4D BIM συμβάλλει:

- στη βελτίωση της επικοινωνίας μεταξύ μελετητών και κατασκευαστών,
- στον έγκαιρο εντοπισμό προβλημάτων,
- στη μείωση των καθυστερήσεων,
- στη βελτιστοποίηση της χρήσης πόρων.

Για το λόγο αυτό θεωρείται ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία σύγχρονης διαχείρισης τεχνικών έργων.

2.4.4 5D BIM – Διαχείριση Κόστους

Η πέμπτη διάσταση του BIM (5D BIM) προκύπτει από τη σύνδεση του ψηφιακού μοντέλου με οικονομικά δεδομένα και πληροφορίες κόστους.

Σε ένα περιβάλλον 5D BIM κάθε δομικό στοιχείο συνδέεται με συγκεκριμένες οικονομικές παραμέτρους, επιτρέποντας την αυτόματη παραγωγή ποσοτήτων και την εκτίμηση του κόστους του έργου.

Η βασική διαφορά σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους κοστολόγησης είναι ότι κάθε μεταβολή στο μοντέλο ενημερώνει αυτόματα τις αντίστοιχες ποσότητες και κατ' επέκταση τον προϋπολογισμό του έργου.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα του 5D BIM είναι:

- αυτοματοποιημένη ποσομέτρηση,
- ταχύτερη εκτίμηση κόστους,
- μείωση λαθών στους προϋπολογισμούς,
- καλύτερος οικονομικός έλεγχος,
- άμεση αξιολόγηση εναλλακτικών λύσεων.

Σύμφωνα με τους Monteiro και Martins (2013), η χρήση BIM για την παραγωγή ποσοτήτων μπορεί να μειώσει σημαντικά τον χρόνο εκπόνησης προμετρήσεων και να αυξήσει την ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

Παράλληλα, η σύνδεση των οικονομικών δεδομένων με τις χρονικές πληροφορίες του 4D BIM επιτρέπει την ανάπτυξη ολοκληρωμένων μοντέλων ελέγχου κόστους και ταμειακών ροών, τα οποία υποστηρίζουν τη διαδικασία λήψης αποφάσεων σε όλα τα στάδια του έργου.

Στην παρούσα μελέτη η εφαρμογή του 5D BIM αφορά την εξαγωγή ποσοτήτων από το μοντέλο της κατοικίας και την αξιοποίησή τους για τη δημιουργία ενδεικτικού προϋπολογισμού.

2.4.5 6D BIM – Βιωσιμότητα και Ενεργειακή Απόδοση

Η έκτη διάσταση του BIM (6D BIM) συνδέεται με την περιβαλλοντική και ενεργειακή απόδοση των κτιρίων.

Το 6D BIM επιτρέπει την αξιολόγηση παραμέτρων όπως:

- ενεργειακή κατανάλωση,
- θερμική συμπεριφορά,
- εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα,
- επιλογή υλικών,
- περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

Η δυνατότητα αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική στο πλαίσιο της βιώσιμης ανάπτυξης και των πολιτικών ενεργειακής αναβάθμισης των κτιρίων. Μέσω εξειδικευμένων εφαρμογών μπορούν να πραγματοποιηθούν ενεργειακές προσομοιώσεις ήδη από τα πρώτα στάδια του σχεδιασμού, επιτρέποντας τη λήψη βέλτιστων αποφάσεων πριν την κατασκευή.

2.4.6 7D BIM – Λειτουργία και Συντήρηση

Η έβδομη διάσταση του BIM (7D BIM) αφορά τη διαχείριση των εγκαταστάσεων κατά τη φάση λειτουργίας του έργου.

Η φάση λειτουργίας αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο ποσοστό του συνολικού κύκλου ζωής ενός κτιρίου και συνδέεται με σημαντικά κόστη συντήρησης και διαχείρισης.

Μέσω του 7D BIM αποθηκεύονται πληροφορίες όπως:

- ✓ τεχνικά χαρακτηριστικά εξοπλισμού,
- ✓ εγχειρίδια λειτουργίας,
- ✓ ημερομηνίες συντήρησης,
- ✓ προγράμματα επιθεωρήσεων,
- ✓ ιστορικό επεμβάσεων.

Η συγκέντρωση όλων των παραπάνω δεδομένων σε ένα ενιαίο ψηφιακό περιβάλλον διευκολύνει σημαντικά τη διαχείριση εγκαταστάσεων (Facility Management) και βελτιώνει τη λειτουργική απόδοση των κτιρίων (Volk et al., 2014).

2.4.7 Η σημασία των 3D, 4D και 5D BIM για την παρούσα έρευνα

Παρότι οι διαστάσεις του BIM εκτείνονται μέχρι τη λειτουργία και τη συντήρηση των εγκαταστάσεων, η παρούσα διπλωματική επικεντρώνεται κυρίως στις διαστάσεις 3D, 4D και 5D.

Η επιλογή αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι οι συγκεκριμένες διαστάσεις συνδέονται άμεσα με τα στάδια σχεδιασμού, προγραμματισμού και κοστολόγησης ενός έργου κατοικίας, τα οποία αποτελούν και το βασικό αντικείμενο της μελέτης περίπτωσης.

Μέσω της ανάπτυξης του BIM μοντέλου στο Autodesk Revit θα αξιολογηθεί κατά πόσο οι δυνατότητες αυτές μπορούν να συμβάλουν στη βελτίωση της οργάνωσης και διαχείρισης ενός κτιριακού έργου μικρής κλίμακας στην ελληνική πραγματικότητα.

2.5 Επίπεδα Ανάπτυξης Πληροφορίας (Level of Development – LOD)

2.5.1 Η ανάγκη καθορισμού επιπέδων ανάπτυξης στα BIM μοντέλα

Η επιτυχής εφαρμογή της μεθοδολογίας Building Information Modeling προϋποθέτει την ύπαρξη σαφών κανόνων σχετικά με το περιεχόμενο, την ακρίβεια και την αξιοπιστία των πληροφοριών που περιλαμβάνονται σε ένα ψηφιακό μοντέλο. Καθώς ένα έργο εξελίσσεται από τη φάση της σύλληψης προς τη φάση της κατασκευής και τελικά της λειτουργίας, η ποσότητα και η ποιότητα των διαθέσιμων πληροφοριών μεταβάλλονται συνεχώς.

Στα πρώτα στάδια ενός έργου οι πληροφορίες είναι περιορισμένες και αφορούν κυρίως τη γενική μορφή, τις διαστάσεις και τη χωροθέτηση του κτιρίου. Αντίθετα, κατά τα τελικά στάδια σχεδιασμού και κατασκευής απαιτείται ιδιαίτερα υψηλός βαθμός ακρίβειας, καθώς οι πληροφορίες χρησιμοποιούνται για προμετρήσεις, παραγγελίες υλικών, κατασκευαστικές λεπτομέρειες και διαδικασίες εγκατάστασης.

Η ανάγκη διαχείρισης αυτής της σταδιακής ωρίμανσης των πληροφοριών οδήγησε στην ανάπτυξη της έννοιας του Level of Development (LOD). Το LOD αποτελεί σήμερα ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία τυποποίησης των BIM διαδικασιών, καθώς καθορίζει με σαφήνεια ποιο επίπεδο πληροφορίας μπορεί να θεωρηθεί αξιόπιστο σε κάθε φάση ενός έργου.

Σύμφωνα με το BIMForum, το οποίο έχει διαμορφώσει την πλέον διαδεδομένη προδιαγραφή LOD διεθνώς, το Level of Development δεν αφορά μόνο τον βαθμό λεπτομέρειας της γεωμετρίας αλλά και την αξιοπιστία των πληροφοριών που συνοδεύουν κάθε στοιχείο του μοντέλου. Με άλλα λόγια, ένα στοιχείο υψηλού LOD δεν είναι απλώς πιο λεπτομερές, αλλά και περισσότερο αξιόπιστο ως προς τη χρήση του για λήψη αποφάσεων.

Η διάκριση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς συχνά συγχέεται ο όρος Level of Development με τον όρο Level of Detail. Στην πραγματικότητα, η έννοια της ανάπτυξης αναφέρεται στον βαθμό ωρίμανσης και αξιοπιστίας της πληροφορίας, ενώ η έννοια της λεπτομέρειας αφορά κυρίως την οπτική αναπαράσταση του στοιχείου.

2.5.2 Η εξέλιξη των επιπέδων LOD

Τα επίπεδα ανάπτυξης ακολουθούν την πορεία εξέλιξης ενός έργου από τον αρχικό σχεδιασμό έως την τελική παράδοση. Η λογική αυτή επιτρέπει σε όλους τους εμπλεκόμενους φορείς να γνωρίζουν με ακρίβεια ποια δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιήσουν και σε ποιο βαθμό μπορούν να βασιστούν σε αυτά.

Η σύγχρονη ταξινόμηση περιλαμβάνει τα επίπεδα:

- LOD 100
- LOD 200
- LOD 300
- LOD 350
- LOD 400
- LOD 500

τα οποία χρησιμοποιούνται διεθνώς σε έργα BIM όλων των κατηγοριών.

2.5.3 LOD 100 – Εννοιολογικός Σχεδιασμός

Το LOD 100 αντιπροσωπεύει το αρχικό στάδιο ανάπτυξης ενός έργου. Στο επίπεδο αυτό το μοντέλο περιλαμβάνει μόνο γενικές πληροφορίες σχετικά με τη μορφή, τη χωροθέτηση και τη συνολική κλίμακα του κτιρίου.

Τα στοιχεία δεν διαθέτουν ακριβή γεωμετρία ούτε συγκεκριμένα τεχνικά χαρακτηριστικά. Η πληροφορία χρησιμοποιείται κυρίως για προκαταρκτικές εκτιμήσεις επιφανειών, όγκων και βασικών οικονομικών μεγεθών. Τα στοιχεία λειτουργούν περισσότερο ως ενδείξεις ύπαρξης ενός συστήματος παρά ως πλήρως ορισμένα κατασκευαστικά αντικείμενα.

Στην πράξη, ένα κτίριο στο στάδιο LOD 100 μπορεί να αναπαρίσταται ως ένας απλός όγκος χωρίς πληροφορίες για τοιχοποιίες, ανοίγματα ή δομικά συστήματα.

2.5.4 LOD 200 – Σχηματικός Σχεδιασμός

Κατά το επίπεδο LOD 200 αρχίζει η ουσιαστική διαμόρφωση του έργου. Τα βασικά στοιχεία αποκτούν προσεγγισμένες διαστάσεις, μορφή, προσανατολισμό και θέση μέσα στο μοντέλο.

Παρότι τα στοιχεία εξακολουθούν να είναι γενικευμένα, παρέχουν πλέον τη δυνατότητα παραγωγής προκαταρκτικών ποσοτήτων και εκτιμήσεων κόστους. Οι πληροφορίες θεωρούνται ενδεικτικές και όχι οριστικές.

Στην περίπτωση μιας κατοικίας, στο επίπεδο αυτό μπορούν να έχουν καθοριστεί οι βασικοί χώροι, οι κύριες τοιχοποιίες, οι στάθμες και η γενική μορφή της στέγης, χωρίς όμως να έχουν οριστικοποιηθεί όλες οι τεχνικές λεπτομέρειες.

2.5.5 LOD 300 – Οριστική Μελέτη

Το επίπεδο LOD 300 θεωρείται σημείο καμπής στην ανάπτυξη ενός BIM μοντέλου.

Σε αυτό το στάδιο τα στοιχεία διαθέτουν ακριβείς διαστάσεις, ακριβή θέση, σχήμα, προσανατολισμό και ποσότητες. Οι πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή κατασκευαστικών σχεδίων, ποσομετρήσεων και τεχνικών αναλύσεων.

Για ένα έργο κατοικίας, το μοντέλο LOD 300 επιτρέπει:

- εξαγωγή κατόψεων,
- παραγωγή όψεων,
- παραγωγή τομών,
- ποσομέτρηση δομικών στοιχείων,
- δημιουργία πινάκων κουφωμάτων,
- σύνταξη τεχνικής τεκμηρίωσης.

Στην πράξη, τα περισσότερα αρχιτεκτονικά μοντέλα Revit που συνοδεύουν οικοδομικές άδειες αντιστοιχούν περίπου σε επίπεδο LOD 300.

2.5.6 LOD 350 – Συντονισμός Συστημάτων

Το LOD 350 εισήχθη μεταγενέστερα από το BIMForum προκειμένου να καλύψει τις ανάγκες συντονισμού μεταξύ διαφορετικών ειδικοτήτων.

Στο επίπεδο αυτό αποτυπώνονται όχι μόνο τα ίδια τα στοιχεία αλλά και οι σχέσεις τους με γειτονικά συστήματα. Οι συνδέσεις, οι διεπιφάνειες και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ αρχιτεκτονικών, στατικών και ηλεκτρομηχανολογικών στοιχείων γίνονται πλέον σαφείς.

Η ύπαρξη LOD 350 είναι ιδιαίτερα σημαντική για διαδικασίες clash detection και BIM coordination.

2.5.7 LOD 400 – Κατασκευαστική Πληροφορία

Το LOD 400 αφορά στοιχεία που περιλαμβάνουν πληροφορίες κατάλληλες για κατασκευή, προμήθεια και εγκατάσταση.

Σε αυτό το στάδιο τα αντικείμενα περιλαμβάνουν:

- κατασκευαστικές λεπτομέρειες,
- πληροφορίες προμηθευτών,
- στοιχεία κατασκευής,
- δεδομένα συναρμολόγησης,
- πληροφορίες εγκατάστασης.

Το επίπεδο αυτό χρησιμοποιείται συχνά από κατασκευαστικές εταιρείες και βιομηχανίες προκατασκευασμένων στοιχείων.

2.5.8 LOD 500 – As-Built Μοντέλο

Το LOD 500 αντιπροσωπεύει την τελική κατάσταση του έργου μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής.

Τα στοιχεία έχουν επιβεβαιωθεί στο πεδίο και αποτυπώνουν την πραγματική κατάσταση του κτιρίου. Το μοντέλο χρησιμοποιείται κυρίως για λειτουργία, συντήρηση και διαχείριση εγκαταστάσεων (Facility Management).

Στο επίπεδο αυτό το BIM μετατρέπεται ουσιαστικά σε ψηφιακό αρχείο του κατασκευασμένου έργου, παρέχοντας πληροφορίες που μπορούν να αξιοποιηθούν για πολλές δεκαετίες μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής.

2.5.9 Εφαρμογή των LOD στη μελέτη περίπτωσης της παρούσας εργασίας

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, το BIM μοντέλο της κατοικίας θα αναπτυχθεί κυρίως έως επίπεδο LOD 300, καθώς ο στόχος είναι η παραγωγή ολοκληρωμένου αρχιτεκτονικού μοντέλου, η εξαγωγή ποσοτήτων και η υποστήριξη εφαρμογών 4D και 5D BIM.

Η επιλογή αυτή θεωρείται επαρκής για:

- ✓ την παραγωγή τεχνικής τεκμηρίωσης,
- ✓ την εξαγωγή ποσοτήτων,
- ✓ την υποστήριξη κοστολόγησης,
- ✓ την ανάπτυξη χρονοδιαγράμματος,
- ✓ την αξιολόγηση των δυνατοτήτων της μεθοδολογίας BIM σε έργο κατοικίας μικρής κλίμακας.

Με τον τρόπο αυτό διασφαλίζεται η ισορροπία μεταξύ απαιτούμενης πληροφορίας και διαθέσιμου χρόνου ανάπτυξης του μοντέλου, ενώ παράλληλα καλύπτονται πλήρως οι στόχοι της παρούσας έρευνας.

2.6 Επίπεδα Ωριμότητας BIM (BIM Maturity Levels)

2.6.1 Η έννοια της ωριμότητας στο BIM

Η επιτυχής εφαρμογή του Building Information Modeling δεν εξαρτάται αποκλειστικά από τη χρήση εξειδικευμένων λογισμικών αλλά από τον βαθμό στον οποίο ένας οργανισμός, μία μελετητική ομάδα ή μία κατασκευαστική επιχείρηση έχει ενσωματώσει τις αρχές του BIM στις καθημερινές του διαδικασίες. Για τον λόγο αυτό αναπτύχθηκε η έννοια της ωριμότητας BIM (BIM Maturity), η οποία χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση του επιπέδου υιοθέτησης και αξιοποίησης της μεθοδολογίας.

Σύμφωνα με τον Succar (2009), η ωριμότητα BIM περιγράφει τον βαθμό στον οποίο μία επιχείρηση ή ένας οργανισμός εφαρμόζει αποτελεσματικά τεχνολογίες, διαδικασίες και πολιτικές που σχετίζονται με το BIM. Η έννοια αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς η κατοχή ενός λογισμικού BIM δεν συνεπάγεται αυτομάτως και αποτελεσματική εφαρμογή της μεθοδολογίας.

Η διεθνής βιβλιογραφία αναγνωρίζει ότι η μετάβαση από τις παραδοσιακές διαδικασίες σχεδιασμού σε ένα πλήρως συνεργατικό περιβάλλον BIM πραγματοποιείται σταδιακά. Η μετάβαση αυτή απαιτεί αλλαγές στην οργανωτική κουλτούρα, στις διαδικασίες ανταλλαγής πληροφοριών, στη δομή των ομάδων έργου και στον τρόπο λήψης αποφάσεων (Succar, 2009; Sacks et al., 2018).

Για την περιγραφή αυτής της σταδιακής μετάβασης έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα ωριμότητας. Το πιο διαδεδομένο είναι το μοντέλο Bew–Richards BIM Maturity Model, το οποίο υιοθετήθηκε ευρέως στο Ηνωμένο Βασίλειο και αποτέλεσε τη βάση για πολλές εθνικές στρατηγικές εφαρμογής BIM.

2.6.2 Το μοντέλο Bew–Richards

Το μοντέλο Bew–Richards αναπτύχθηκε με σκοπό να περιγράψει τα διαφορετικά στάδια εξέλιξης των οργανισμών ως προς την εφαρμογή του BIM. Το μοντέλο διακρίνει τέσσερα βασικά επίπεδα ωριμότητας:

- ✓ Level 0
- ✓ Level 1
- ✓ Level 2
- ✓ Level 3

Κάθε επίπεδο χαρακτηρίζεται από διαφορετικό βαθμό ψηφιοποίησης, συνεργασίας και ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων (Bew & Richards, 2008).

2.6.3 Level 0 – Παραδοσιακή Σχεδίαση

Το επίπεδο 0 αντιπροσωπεύει την παραδοσιακή προσέγγιση σχεδιασμού, η οποία βασίζεται κυρίως σε δισδιάστατα σχέδια και σε συμβατικές διαδικασίες ανταλλαγής πληροφοριών.

Σε αυτό το επίπεδο:

- δεν χρησιμοποιούνται BIM μοντέλα,
- δεν υπάρχει κοινή βάση δεδομένων,
- η ανταλλαγή πληροφοριών γίνεται κυρίως μέσω έντυπων ή ηλεκτρονικών σχεδίων,
- οι πληροφορίες είναι αποσπασματικές και συχνά ασυνεπείς.

Παρότι η χρήση λογισμικών CAD μπορεί να είναι εκτεταμένη, η συνεργασία εξακολουθεί να βασίζεται σε ξεχωριστά αρχεία που διαχειρίζεται κάθε ειδικότητα ανεξάρτητα.

Το επίπεδο αυτό εξακολουθεί να συναντάται σε σημαντικό ποσοστό μικρών έργων διεθνώς, ιδιαίτερα σε χώρες όπου η υιοθέτηση του BIM βρίσκεται ακόμη σε αρχικό στάδιο.

2.6.4 Level 1 – Ψηφιακή Μετάβαση

Το επίπεδο 1 αποτελεί το πρώτο βήμα μετάβασης προς το BIM.

Σε αυτό το στάδιο χρησιμοποιούνται συνδυαστικά:

- δισδιάστατα σχέδια CAD,
- περιορισμένα τρισδιάστατα μοντέλα,
- βασικές διαδικασίες διαχείρισης πληροφοριών.

Παρά την αυξημένη χρήση ψηφιακών εργαλείων, η συνεργασία παραμένει σε μεγάλο βαθμό αποσπασματική, καθώς κάθε ειδικότητα εξακολουθεί να αναπτύσσει και να διαχειρίζεται τα δικά της δεδομένα.

Ωστόσο, στο επίπεδο αυτό αρχίζουν να εφαρμόζονται κοινές συμβάσεις ονοματοδοσίας αρχείων, πρότυπα ανταλλαγής πληροφοριών και βασικές διαδικασίες ελέγχου δεδομένων.

Το Level 1 θεωρείται συχνά μεταβατικό στάδιο μεταξύ του παραδοσιακού CAD και του πλήρους BIM.

2.6.5 Level 2 – Συνεργατικό BIM

Το Level 2 BIM αποτέλεσε για αρκετά χρόνια τον βασικό στόχο της εθνικής στρατηγικής BIM του Ηνωμένου Βασιλείου.

Στο επίπεδο αυτό:

-  κάθε ειδικότητα αναπτύσσει το δικό της BIM μοντέλο,
-  τα μοντέλα ανταλλάσσονται σε κοινά πρότυπα,
-  χρησιμοποιούνται διαδικασίες συντονισμού και ελέγχου συγκρούσεων,
-  εφαρμόζονται κοινές προδιαγραφές διαχείρισης πληροφοριών.

Η ανταλλαγή δεδομένων βασίζεται κυρίως σε ανοικτά πρότυπα όπως το Industry Foundation Classes (IFC), τα οποία επιτρέπουν τη συνεργασία μεταξύ διαφορετικών λογισμικών.

Σε αντίθεση με τα προηγούμενα επίπεδα, το BIM χρησιμοποιείται πλέον ως βασικό εργαλείο παραγωγής και διαχείρισης πληροφοριών και όχι απλώς ως εργαλείο σχεδίασης.

Η πλειονότητα των σύγχρονων έργων που εφαρμόζουν BIM παγκοσμίως λειτουργεί σε επίπεδο Level 2.

2.6.6 Level 3 – Πλήρως Ολοκληρωμένο BIM

Το Level 3 αντιπροσωπεύει το υψηλότερο επίπεδο ωριμότητας σύμφωνα με το μοντέλο Bew–Richards.

Σε αυτό το στάδιο όλοι οι συμμετέχοντες:

- ❖ εργάζονται σε κοινό ψηφιακό περιβάλλον,
- ❖ έχουν πρόσβαση στην ίδια βάση πληροφοριών,
- ❖ ενημερώνουν δυναμικά τα δεδομένα του έργου,
- ❖ συνεργάζονται σε πραγματικό χρόνο.

Το επίπεδο αυτό συνδέεται άμεσα με την έννοια του Integrated BIM, των Common Data Environments (CDE) και των σύγχρονων ψηφιακών διδύμων (Digital Twins).

Παρότι θεωρείται ο τελικός στόχος της ψηφιακής μετάβασης του κατασκευαστικού κλάδου, η πλήρης εφαρμογή του εξακολουθεί να αποτελεί πρόκληση ακόμη και για τις πλέον ανεπτυγμένες αγορές.

2.6.7 Το μοντέλο ωριμότητας του Succar

Παράλληλα με το μοντέλο Bew–Richards, σημαντική συνεισφορά στη μελέτη της ωριμότητας BIM έχει προσφέρει ο Succar (2009), ο οποίος πρότεινε ένα πιο αναλυτικό πλαίσιο αξιολόγησης.

Σύμφωνα με τον Succar, η ωριμότητα BIM βασίζεται σε τρεις βασικούς άξονες:

❖ Τεχνολογία (Technology)

Αφορά τα λογισμικά, τον εξοπλισμό, τις πλατφόρμες δεδομένων και τα πληροφοριακά συστήματα που χρησιμοποιούνται.

❖ Διαδικασίες (Process)

Αφορά τις μεθόδους εργασίας, τις διαδικασίες ανταλλαγής πληροφοριών και τα πρωτόκολλα συνεργασίας.

❖ Πολιτικές (Policy)

Αφορά τους οργανωτικούς κανόνες, τα πρότυπα, τις συμβάσεις και το θεσμικό πλαίσιο που υποστηρίζει την εφαρμογή του BIM.

Η προσέγγιση αυτή θεωρείται ιδιαίτερα σημαντική, καθώς αναγνωρίζει ότι η επιτυχία του BIM δεν εξαρτάται αποκλειστικά από την τεχνολογία αλλά από τον συνδυασμό τεχνολογίας, διαδικασιών και ανθρώπινου παράγοντα.

2.6.8 Η θέση της Ελλάδας ως προς την ωριμότητα BIM

Σε σύγκριση με χώρες όπως το Ηνωμένο Βασίλειο, η Φινλανδία, η Νορβηγία και η Σιγκαπούρη, η Ελλάδα βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο στάδιο υιοθέτησης της μεθοδολογίας BIM.

Η χρήση BIM παρατηρείται κυρίως:

- σε μεγάλα ιδιωτικά έργα,
- σε έργα διεθνών επενδυτών,

- σε εξειδικευμένα μελετητικά γραφεία,
- σε ορισμένα μεγάλα δημόσια έργα.

Ωστόσο, η εφαρμογή του σε έργα μικρής και μεσαίας κλίμακας παραμένει περιορισμένη. Οι βασικοί λόγοι είναι:

- το κόστος εκπαίδευσης,
- η έλλειψη εξειδικευμένου προσωπικού,
- η απουσία υποχρεωτικών εθνικών προδιαγραφών,
- η περιορισμένη εξοικείωση των επαγγελματιών με τις συνεργατικές διαδικασίες BIM.

Η κατάσταση αυτή δημιουργεί σημαντικά περιθώρια ανάπτυξης τα επόμενα χρόνια, ιδιαίτερα καθώς η Ευρωπαϊκή Ένωση προωθεί την ψηφιοποίηση των κατασκευών και τη χρήση ανοικτών προτύπων διαχείρισης πληροφοριών.

2.6.9 Συσχέτιση με την παρούσα έρευνα

Η παρούσα διπλωματική εργασία τοποθετείται ουσιαστικά στο πλαίσιο εφαρμογής πρακτικών που αντιστοιχούν σε επίπεδο ωριμότητας μεταξύ Level 1 και Level 2.

Η ανάπτυξη του BIM μοντέλου της κατοικίας στο Autodesk Revit, η παραγωγή ποσοτήτων, η υποστήριξη χρονοπρογραμματισμού και η αξιοποίηση κοινών πληροφοριών αποτελούν χαρακτηριστικά που προσεγγίζουν τη φιλοσοφία του συνεργατικού BIM.

Παρότι η μελέτη δεν περιλαμβάνει πλήρη διεπιστημονικό συντονισμό πολλαπλών ειδικοτήτων, αναδεικνύει τις δυνατότητες μετάβασης από τις συμβατικές διαδικασίες σχεδιασμού σε ένα περισσότερο ολοκληρωμένο περιβάλλον διαχείρισης πληροφοριών, το οποίο συνάδει με τις σύγχρονες διεθνείς πρακτικές.

2.7 Διαλειτουργικότητα και OpenBIM

2.7.1 Η ανάγκη διαλειτουργικότητας στα έργα BIM

Ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της σύγχρονης κατασκευαστικής βιομηχανίας είναι η συμμετοχή πολλών διαφορετικών ειδικοτήτων και οργανισμών σε κάθε έργο. Αρχιτέκτονες, πολιτικοί μηχανικοί, μηχανολόγοι, ηλεκτρολόγοι, εργολάβοι, προμηθευτές και διαχειριστές εγκαταστάσεων καλούνται να συνεργαστούν και να ανταλλάξουν μεγάλο όγκο πληροφοριών καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός έργου.

Η αποτελεσματική συνεργασία προϋποθέτει ότι οι πληροφορίες μπορούν να μεταφέρονται με ακρίβεια μεταξύ διαφορετικών λογισμικών και συστημάτων. Ωστόσο, στην πράξη οι συμμετέχοντες χρησιμοποιούν συχνά διαφορετικές πλατφόρμες λογισμικού, γεγονός που δημιουργεί δυσκολίες στην ανταλλαγή δεδομένων και στον συντονισμό των ομάδων έργου.

Το πρόβλημα αυτό είναι γνωστό ως πρόβλημα διαλειτουργικότητας (interoperability). Σύμφωνα με τους Eastman et al. (2011), η διαλειτουργικότητα αποτελεί έναν από τους βασικότερους παράγοντες επιτυχίας της μεθοδολογίας BIM, καθώς χωρίς αποτελεσματική ανταλλαγή δεδομένων περιορίζονται σημαντικά τα οφέλη που προσφέρει η ψηφιακή μοντελοποίηση.

Η ανάγκη επίλυσης αυτού του προβλήματος οδήγησε στην ανάπτυξη της φιλοσοφίας OpenBIM και στη δημιουργία διεθνών προτύπων ανταλλαγής πληροφοριών.

2.7.2 Η έννοια του OpenBIM

Ο όρος OpenBIM αναφέρεται στη δυνατότητα συνεργασίας μεταξύ διαφορετικών λογισμικών BIM μέσω ανοικτών και διεθνώς αναγνωρισμένων προτύπων ανταλλαγής δεδομένων.

Η φιλοσοφία OpenBIM βασίζεται στην αρχή ότι τα δεδομένα ενός έργου πρέπει να παραμένουν προσβάσιμα ανεξάρτητα από το λογισμικό που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία τους. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η εξάρτηση από συγκεκριμένους κατασκευαστές λογισμικού και διευκολύνεται η συνεργασία μεταξύ διαφορετικών οργανισμών.

Η προσέγγιση αυτή υποστηρίζεται διεθνώς από τον οργανισμό buildingSMART International, ο οποίος αναπτύσσει και προωθεί ανοικτά πρότυπα για την ανταλλαγή πληροφοριών στον κατασκευαστικό τομέα (buildingSMART International, 2023).

Τα βασικά πλεονεκτήματα του OpenBIM περιλαμβάνουν:

- βελτιωμένη συνεργασία μεταξύ ειδικοτήτων,
- ανεξαρτησία από συγκεκριμένο λογισμικό,
- διατήρηση των δεδομένων σε βάθος χρόνου,
- μείωση απώλειας πληροφοριών,
- αποτελεσματικότερο συντονισμό των έργων.

2.7.3 Το πρότυπο IFC (Industry Foundation Classes)

Το σημαντικότερο ανοικτό πρότυπο ανταλλαγής δεδομένων BIM είναι το Industry Foundation Classes (IFC).

Το IFC αναπτύχθηκε από τον οργανισμό buildingSMART International και αποτελεί σήμερα το πλέον διαδεδομένο πρότυπο ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ BIM εφαρμογών.

Το πρότυπο λειτουργεί ως μια κοινή γλώσσα επικοινωνίας μεταξύ διαφορετικών λογισμικών. Μέσω του IFC, ένα μοντέλο που δημιουργήθηκε σε ένα λογισμικό μπορεί να μεταφερθεί σε άλλο χωρίς να χαθούν κρίσιμες πληροφορίες σχετικά με τα δομικά στοιχεία και τα χαρακτηριστικά τους.

Στην πράξη, ένα αρχιτεκτονικό μοντέλο που δημιουργήθηκε στο Autodesk Revit μπορεί να εξαχθεί σε μορφή IFC και να χρησιμοποιηθεί από στατικά, ηλεκτρομηχανολογικά ή διαχειριστικά λογισμικά χωρίς να απαιτείται αναδημιουργία του μοντέλου.

Η δυνατότητα αυτή μειώνει σημαντικά τον χρόνο εργασίας, περιορίζει τα σφάλματα και ενισχύει τη συνεργασία μεταξύ των ομάδων έργου.

2.7.4 Το πρότυπο COBie

Ένα ακόμη σημαντικό πρότυπο ανταλλαγής πληροφοριών είναι το Construction Operations Building Information Exchange (COBie).

Το COBie αναπτύχθηκε με στόχο τη μεταφορά πληροφοριών που αφορούν τη λειτουργία και συντήρηση ενός κτιρίου μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής.

Οι πληροφορίες αυτές περιλαμβάνουν:

- εξοπλισμό,
- τεχνικά χαρακτηριστικά,
- εγχειρίδια λειτουργίας,
- στοιχεία συντήρησης,

- προγράμματα επιθεωρήσεων.

Η χρήση του COBie διευκολύνει σημαντικά τη μετάβαση από τη φάση κατασκευής στη φάση λειτουργίας και συντήρησης του έργου.

Παρότι το COBie χρησιμοποιείται κυρίως σε μεγάλα έργα, η φιλοσοφία του αναδεικνύει τη σημασία της διατήρησης και αξιοποίησης των πληροφοριών σε όλο τον κύκλο ζωής μιας κατασκευής.

2.7.5 Η σημασία της διαλειτουργικότητας στη μελέτη περίπτωσης

Στην παρούσα εργασία το BIM μοντέλο της κατοικίας αναπτύσσεται στο Autodesk Revit. Παρότι η μελέτη δεν περιλαμβάνει πλήρη συνεργασία πολλών ειδικοτήτων, η έννοια της διαλειτουργικότητας παραμένει ιδιαίτερα σημαντική.

Η δυνατότητα εξαγωγής του μοντέλου σε μορφή IFC επιτρέπει τη μελλοντική αξιοποίησή του από άλλες εφαρμογές ανάλυσης, κοστολόγησης ή διαχείρισης έργων. Παράλληλα, αναδεικνύεται η αξία των ανοικτών προτύπων ως μέσων διασφάλισης της διαχρονικής αξιοποίησης των δεδομένων ενός έργου.

Η διαλειτουργικότητα αποτελεί βασική προϋπόθεση για την πλήρη αξιοποίηση των δυνατοτήτων του BIM και έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που συμβάλλουν στη διάδοση της μεθοδολογίας σε διεθνές επίπεδο.

2.8 Πλεονεκτήματα της Εφαρμογής του Building Information Modeling (BIM)

2.8.1 Εισαγωγή

Η συνεχώς αυξανόμενη υιοθέτηση της μεθοδολογίας Building Information Modeling σε διεθνές επίπεδο οφείλεται κυρίως στα σημαντικά οφέλη που προσφέρει σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής ενός έργου. Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές μεθόδους σχεδιασμού, όπου οι πληροφορίες διαχειρίζονται μέσω ανεξάρτητων σχεδίων και εγγράφων, το BIM βασίζεται σε ένα ενιαίο ψηφιακό μοντέλο το οποίο συγκεντρώνει και διαχειρίζεται το σύνολο των πληροφοριών του έργου.

Πλήθος ερευνητικών μελετών έχει καταδείξει ότι η εφαρμογή του BIM συμβάλλει στη βελτίωση της ποιότητας σχεδιασμού, στη μείωση σφαλμάτων, στην αύξηση της παραγωγικότητας, στη βελτίωση της συνεργασίας μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων και στη μείωση του συνολικού κόστους των έργων (Azhar, 2011; Bryde et al., 2013; Eastman et al., 2011).

Τα πλεονεκτήματα αυτά εκτείνονται σε όλες τις φάσεις του έργου και επηρεάζουν θετικά τόσο τους μελετητές όσο και τους κατασκευαστές, τους ιδιοκτήτες και τους διαχειριστές των εγκαταστάσεων.

2.8.2 Βελτίωση της οπτικοποίησης και της κατανόησης του έργου

Ένα από τα πρώτα και πιο άμεσα οφέλη του BIM είναι η δυνατότητα τρισδιάστατης απεικόνισης του έργου ήδη από τα πρώτα στάδια του σχεδιασμού.

Στα παραδοσιακά συστήματα CAD η κατανόηση ενός έργου βασίζεται κυρίως στην ερμηνεία δισδιάστατων σχεδίων, όπως κατόψεις, όψεις και τομές. Η διαδικασία αυτή απαιτεί σημαντική εμπειρία από την πλευρά του μηχανικού και συχνά δυσκολεύει τους ιδιοκτήτες ή άλλους μη εξειδικευμένους συμμετέχοντες να αντιληφθούν τη μορφή και τη λειτουργία του κτιρίου.

Αντίθετα, τα BIM μοντέλα παρέχουν ολοκληρωμένη τρισδιάστατη αναπαράσταση του έργου, επιτρέποντας την άμεση κατανόηση της γεωμετρίας, της χωροθέτησης και των σχέσεων μεταξύ των επιμέρους στοιχείων. Η δυνατότητα αυτή διευκολύνει την επικοινωνία μεταξύ μηχανικού και πελάτη και περιορίζει την πιθανότητα λανθασμένων αποφάσεων που οφείλονται σε ελλιπή κατανόηση των σχεδίων.

Για έργα κατοικιών, όπου οι ιδιοκτήτες συμμετέχουν συχνά ενεργά στις σχεδιαστικές αποφάσεις, η τρισδιάστατη απεικόνιση αποτελεί ιδιαίτερα σημαντικό πλεονέκτημα.

2.8.3 Βελτίωση της ποιότητας του σχεδιασμού

Η παραμετρική φύση των BIM μοντέλων συμβάλλει σημαντικά στη βελτίωση της ποιότητας του σχεδιασμού.

Κάθε στοιχείο του μοντέλου διαθέτει συγκεκριμένες ιδιότητες και σχέσεις με τα υπόλοιπα στοιχεία. Ως αποτέλεσμα, οι τροποποιήσεις πραγματοποιούνται με συστηματικό τρόπο και ενημερώνουν αυτόματα όλα τα σχετικά σχέδια και δεδομένα.

Η δυνατότητα αυτή περιορίζει σημαντικά τα σφάλματα που εμφανίζονται συχνά στα παραδοσιακά σχέδια λόγω ασυμφωνιών μεταξύ κατόψεων, όψεων και τομών. Επιπλέον, διευκολύνει την αξιολόγηση εναλλακτικών λύσεων κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού, οδηγώντας σε πιο τεκμηριωμένες αποφάσεις.

2.8.4 Εντοπισμός συγκρούσεων και μείωση σφαλμάτων

Η ανίχνευση συγκρούσεων (clash detection) αποτελεί μία από τις πλέον σημαντικές εφαρμογές του BIM.

Σε συμβατικές διαδικασίες σχεδιασμού, οι συγκρούσεις μεταξύ διαφορετικών μελετών εντοπίζονται συχνά κατά τη φάση της κατασκευής, γεγονός που προκαλεί καθυστερήσεις, πρόσθετο κόστος και ανάγκη επανασχεδιασμού.

Το BIM επιτρέπει τον έγκαιρο εντοπισμό αυτών των προβλημάτων σε ψηφιακό περιβάλλον πριν ξεκινήσει η κατασκευή. Με τον τρόπο αυτό μειώνονται σημαντικά οι αλλαγές κατά τη διάρκεια του έργου και περιορίζονται οι οικονομικές επιπτώσεις που σχετίζονται με διορθωτικές παρεμβάσεις.

Μελέτες έχουν δείξει ότι η εφαρμογή διαδικασιών clash detection μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση των κατασκευαστικών σφαλμάτων και σε βελτίωση της συνολικής απόδοσης των έργων (Azhar, 2011).

2.8.5 Αυτοματοποιημένη παραγωγή τεχνικής τεκμηρίωσης

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα των BIM εφαρμογών είναι η δυνατότητα αυτόματης παραγωγής σχεδίων και τεχνικών εγγράφων.

Κατόψεις, όψεις, τομές, πίνακες κουφωμάτων και πίνακες ποσοτήτων παράγονται απευθείας από το μοντέλο. Κάθε τροποποίηση που πραγματοποιείται ενημερώνει αυτόματα όλα τα παραγόμενα έγγραφα.

Η δυνατότητα αυτή περιορίζει σημαντικά τον χρόνο παραγωγής μελετών και μειώνει τον κίνδυνο εμφάνισης ασυμφωνιών μεταξύ διαφορετικών σχεδίων.

2.8.6 Ακριβέστερη ποσομέτρηση και κοστολόγηση

Η δυνατότητα εξαγωγής ποσοτήτων από το ψηφιακό μοντέλο αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του BIM.

Σε παραδοσιακές διαδικασίες οι προμετρήσεις πραγματοποιούνται χειροκίνητα, γεγονός που αυξάνει την πιθανότητα σφαλμάτων και απαιτεί σημαντικό χρόνο εργασίας.

Στο BIM οι ποσότητες παράγονται αυτόματα από το μοντέλο και ενημερώνονται δυναμικά κάθε φορά που πραγματοποιείται κάποια τροποποίηση. Αυτό επιτρέπει την ακριβέστερη εκτίμηση κόστους και τη βελτίωση του οικονομικού ελέγχου του έργου.

Οι Monteiro και Martins (2013) επισημαίνουν ότι η χρήση BIM μπορεί να αυξήσει σημαντικά την ακρίβεια των ποσομετρήσεων και να μειώσει τον χρόνο σύνταξης προϋπολογισμών.

2.8.7 Βελτίωση του χρονικού προγραμματισμού

Η σύνδεση του BIM με δεδομένα χρονοπρογραμματισμού (4D BIM) επιτρέπει την οπτικοποίηση της εξέλιξης του έργου στον χρόνο.

Οι υπεύθυνοι διαχείρισης μπορούν να παρακολουθούν την αλληλουχία των εργασιών και να εντοπίζουν πιθανά προβλήματα πριν αυτά εμφανιστούν στο εργοτάξιο.

Η δυνατότητα αυτή βελτιώνει τον προγραμματισμό, περιορίζει καθυστερήσεις και διευκολύνει τη λήψη αποφάσεων σχετικά με την κατανομή πόρων.

Και εδώ είναι το σημείο που «κουμπώνει» ιδανικά με το μεταπτυχιακό σου στη Διαχείριση Τεχνικών Έργων.

2.8.8 Βελτίωση της συνεργασίας και της επικοινωνίας

Η αποτελεσματική συνεργασία αποτελεί βασικό παράγοντα επιτυχίας κάθε τεχνικού έργου.

Το BIM λειτουργεί ως κοινή πηγή πληροφορίας για όλους τους συμμετέχοντες, επιτρέποντας τη διαρκή ενημέρωση και τον καλύτερο συντονισμό μεταξύ των διαφορετικών ειδικοτήτων.

Η βελτίωση της επικοινωνίας οδηγεί σε μείωση παρεξηγήσεων, ταχύτερη επίλυση προβλημάτων και αποτελεσματικότερη λήψη αποφάσεων.

2.8.9 Υποστήριξη της διαχείρισης του κύκλου ζωής του έργου

Ένα από τα σημαντικότερα στρατηγικά πλεονεκτήματα του BIM είναι ότι οι πληροφορίες δεν χάνονται μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής.

Το ψηφιακό μοντέλο μπορεί να αξιοποιηθεί κατά τη λειτουργία και συντήρηση του κτιρίου, παρέχοντας πληροφορίες για τον εξοπλισμό, τα υλικά, τις επιθεωρήσεις και τις εργασίες συντήρησης. Η δυνατότητα αυτή μετατρέπει το BIM από εργαλείο σχεδιασμού σε εργαλείο διαχείρισης ολόκληρου του κύκλου ζωής της κατασκευής.

2.9 Προκλήσεις και Περιορισμοί της Εφαρμογής BIM

Αυτό το κεφάλαιο είναι απαραίτητο γιατί δείχνει κριτική προσέγγιση. Οι καλές διπλωματικές δεν παρουσιάζουν μόνο τα οφέλη μιας τεχνολογίας, αλλά εξετάζουν και τις δυσκολίες που συνοδεύουν την εφαρμογή της.

2.9.1 Εισαγωγή

Παρά τα σημαντικά οφέλη που προσφέρει η μεθοδολογία Building Information Modeling, η εφαρμογή της δεν είναι πάντοτε εύκολη ούτε απαλλαγμένη από δυσκολίες. Η μετάβαση από τις παραδοσιακές διαδικασίες σχεδιασμού σε ένα περιβάλλον BIM απαιτεί αλλαγές σε τεχνολογικό, οργανωτικό και ανθρώπινο επίπεδο. Για τον λόγο αυτό, η υιοθέτηση του BIM συνοδεύεται συχνά από προκλήσεις που επηρεάζουν τόσο τους μελετητές όσο και τους κατασκευαστές και τους φορείς διαχείρισης έργων.

Η διεθνής βιβλιογραφία επισημαίνει ότι τα εμπόδια εφαρμογής του BIM σχετίζονται κυρίως με το κόστος υιοθέτησης, την ανάγκη εξειδικευμένης εκπαίδευσης, την αντίσταση στην αλλαγή και τις δυσκολίες συνεργασίας μεταξύ διαφορετικών οργανισμών (Gu & London, 2010; Azhar, 2011).

2.9.2 Υψηλό αρχικό κόστος υιοθέτησης

Ένα από τα σημαντικότερα εμπόδια εφαρμογής του BIM είναι το αρχικό κόστος μετάβασης.

Η αποτελεσματική εφαρμογή της μεθοδολογίας απαιτεί:

- αγορά εξειδικευμένου λογισμικού,
- αναβάθμιση υπολογιστικού εξοπλισμού,
- επένδυση σε εκπαίδευση προσωπικού,
- ανάπτυξη νέων διαδικασιών εργασίας.

Για μεγάλους οργανισμούς το κόστος αυτό μπορεί να αποσβεστεί σχετικά γρήγορα μέσω της βελτίωσης της παραγωγικότητας. Αντίθετα, για μικρά μελετητικά γραφεία και ελεύθερους επαγγελματίες το οικονομικό βάρος συχνά λειτουργεί αποτρεπτικά.

Η πρόκληση αυτή είναι ιδιαίτερα εμφανής στην ελληνική αγορά, όπου σημαντικό μέρος των τεχνικών υπηρεσιών παρέχεται από μικρά γραφεία με περιορισμένους πόρους.

2.9.3 Ανάγκη εξειδικευμένης εκπαίδευσης

Η επιτυχής αξιοποίηση του BIM προϋποθέτει εξειδικευμένες γνώσεις και δεξιότητες. Σε αντίθεση με τα συμβατικά προγράμματα CAD, τα BIM λογισμικά βασίζονται σε διαφορετική φιλοσοφία εργασίας και απαιτούν βαθύτερη κατανόηση των διαδικασιών διαχείρισης πληροφοριών. Η εκμάθηση λογισμικών όπως το Autodesk Revit δεν περιορίζεται στην εκμάθηση εντολών αλλά περιλαμβάνει:

-  ανάπτυξη παραμετρικών μοντέλων,
-  διαχείριση δεδομένων,
-  οργάνωση πληροφοριών,
-  συνεργατικές διαδικασίες εργασίας.

Η έλλειψη κατάλληλης εκπαίδευσης αποτελεί έναν από τους συχνότερους λόγους αποτυχημένης εφαρμογής BIM σε οργανισμούς που επιχειρούν να υιοθετήσουν τη μεθοδολογία χωρίς επαρκή προετοιμασία.

2.9.4 Αντίσταση στην οργανωτική αλλαγή

Η εισαγωγή του BIM συνεπάγεται σημαντικές αλλαγές στον τρόπο εργασίας των μηχανικών και των οργανισμών.

Πολλοί επαγγελματίες έχουν αναπτύξει επί σειρά ετών διαδικασίες βασισμένες σε λογισμικά CAD και είναι συχνά διστακτικοί απέναντι στην υιοθέτηση νέων μεθόδων εργασίας.

Η αντίσταση αυτή μπορεί να εκδηλωθεί με διάφορους τρόπους:

- άρνηση χρήσης νέων εργαλείων,
- περιορισμένη αξιοποίηση των δυνατοτήτων του BIM,
- προτίμηση παλαιότερων διαδικασιών,

- δυσκολία προσαρμογής σε συνεργατικά περιβάλλοντα.

Η επιτυχής εφαρμογή του BIM απαιτεί επομένως όχι μόνο τεχνολογική αλλά και οργανωτική μετάβαση.

2.9.5 Προβλήματα διαλειτουργικότητας

Παρά τη σημαντική πρόοδο που έχει σημειωθεί τα τελευταία χρόνια, εξακολουθούν να υπάρχουν προβλήματα ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ διαφορετικών λογισμικών.

Οι μεταφορές μοντέλων μέσω μορφών όπως το IFC ενδέχεται σε ορισμένες περιπτώσεις να οδηγήσουν σε:

- απώλεια πληροφορίας,
- διαφοροποίηση γεωμετρίας,
- ασυμβατότητες παραμέτρων,
- ανάγκη πρόσθετων διορθώσεων.

Τα προβλήματα αυτά επηρεάζουν κυρίως έργα στα οποία συμμετέχουν πολλοί οργανισμοί και χρησιμοποιούνται διαφορετικές πλατφόρμες λογισμικού.

2.9.6 Νομικά και συμβατικά ζητήματα

Η ανάπτυξη συνεργατικών BIM μοντέλων δημιουργεί νέα ζητήματα σχετικά με την ιδιοκτησία, τη διαχείριση και την ευθύνη των πληροφοριών.

Προκύπτουν ερωτήματα όπως:

- ✓ Ποιος είναι ο ιδιοκτήτης του μοντέλου;
- ✓ Ποιος ευθύνεται για σφάλματα που περιέχονται στο BIM μοντέλο;
- ✓ Πώς διασφαλίζεται η εγκυρότητα των πληροφοριών;
- ✓ Πώς προστατεύονται τα πνευματικά δικαιώματα των δημιουργών;

Τα ζητήματα αυτά αποτελούν αντικείμενο συνεχούς εξέλιξης σε διεθνές επίπεδο και συνδέονται άμεσα με την ανάπτυξη προτύπων και συμβατικών πλαισίων BIM.

2.9.7 Περιορισμένη εφαρμογή στην Ελλάδα

Παρότι η χρήση BIM αυξάνεται σταδιακά, η εφαρμογή του στην Ελλάδα εξακολουθεί να βρίσκεται σε μεταβατικό στάδιο.

Οι σημαντικότεροι ανασταλτικοί παράγοντες είναι:

- η απουσία υποχρεωτικής εφαρμογής σε δημόσια έργα,
- η περιορισμένη διάδοση σχετικής εκπαίδευσης,
- η έλλειψη εθνικών προτύπων BIM,
- η μικρή εξοικείωση πολλών επαγγελματιών με συνεργατικά περιβάλλοντα εργασίας.

Ωστόσο, οι εξελίξεις σε ευρωπαϊκό επίπεδο και η σταδιακή ψηφιοποίηση του κατασκευαστικού κλάδου δημιουργούν θετικές προοπτικές για την ευρύτερη υιοθέτηση της μεθοδολογίας τα επόμενα χρόνια.

2.9.8 Συνολική αποτίμηση

Παρά τις δυσκολίες που παρουσιάζονται κατά την εφαρμογή του BIM, η διεθνής εμπειρία δείχνει ότι τα οφέλη της μεθοδολογίας υπερτερούν σημαντικά των περιορισμών της. Οι περισσότερες προκλήσεις σχετίζονται με τη διαδικασία μετάβασης και όχι με εγγενείς αδυναμίες του ίδιου του BIM.

Η συνεχής εξέλιξη των λογισμικών, η ανάπτυξη διεθνών προτύπων και η αυξανόμενη εξοικείωση των επαγγελματιών με τις ψηφιακές τεχνολογίες αναμένεται να περιορίσουν σταδιακά τα εμπόδια εφαρμογής και να ενισχύσουν περαιτέρω τη χρήση του BIM στον κατασκευαστικό τομέα.

2.10 Η Εφαρμογή του Building Information Modeling στην Ευρώπη και στην Ελλάδα

2.10.1 Εισαγωγή

Κατά τις τελευταίες δύο δεκαετίες, το Building Information Modeling έχει εξελιχθεί από μία καινοτόμο τεχνολογία σχεδιασμού σε βασικό εργαλείο ψηφιακού μετασχηματισμού του κατασκευαστικού κλάδου. Η υιοθέτηση του BIM δεν περιορίζεται πλέον σε μεμονωμένες επιχειρήσεις ή εξειδικευμένα έργα, αλλά αποτελεί στρατηγική επιλογή πολλών κρατών που επιδιώκουν τη βελτίωση της αποδοτικότητας, της ποιότητας και της βιωσιμότητας των κατασκευών.

Η ανάπτυξη εθνικών στρατηγικών BIM συνδέεται άμεσα με την προσπάθεια αντιμετώπισης χρόνιων προβλημάτων της κατασκευαστικής βιομηχανίας, όπως οι καθυστερήσεις, οι υπερβάσεις κόστους, η περιορισμένη συνεργασία μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων και η χαμηλή παραγωγικότητα του κλάδου (European Commission, 2019).

Στο πλαίσιο αυτό, πολλές ευρωπαϊκές χώρες έχουν προχωρήσει στη θεσμοθέτηση υποχρεωτικής ή ημιυποχρεωτικής χρήσης BIM σε δημόσια έργα, δημιουργώντας ένα νέο περιβάλλον λειτουργίας για τον κατασκευαστικό τομέα.

2.10.2 Η εφαρμογή του BIM στην Ευρώπη

Η Ευρώπη αποτελεί μία από τις πλέον ανεπτυγμένες περιοχές παγκοσμίως ως προς την εφαρμογή του BIM. Η διάδοση της μεθοδολογίας ενισχύθηκε σημαντικά μετά την Οδηγία 2014/24/ΕΕ για τις δημόσιες συμβάσεις, η οποία αναγνώρισε τη δυνατότητα χρήσης ηλεκτρονικών εργαλείων μοντελοποίησης πληροφοριών κτιρίων κατά τη διαδικασία ανάθεσης και υλοποίησης δημοσίων έργων.

Η εξέλιξη αυτή ενθάρρυνε πολλές ευρωπαϊκές κυβερνήσεις να αναπτύξουν εθνικές στρατηγικές BIM και να προχωρήσουν στη δημιουργία προτύπων, κατευθυντήριων οδηγιών και πλαισίων εφαρμογής.

Ηνωμένο Βασίλειο

Το Ηνωμένο Βασίλειο θεωρείται διεθνώς μία από τις πλέον επιτυχημένες περιπτώσεις υιοθέτησης BIM. Από το 2016 κατέστη υποχρεωτική η εφαρμογή BIM Level 2 σε όλα τα κεντρικά δημόσια έργα.

Η εθνική στρατηγική BIM του Ηνωμένου Βασιλείου συνέβαλε σημαντικά:

- στη βελτίωση της συνεργασίας,
- στη μείωση των κατασκευαστικών σφαλμάτων,
- στη βελτίωση της διαχείρισης πληροφοριών,
- στην αύξηση της παραγωγικότητας του κλάδου.

Παράλληλα, η βρετανική εμπειρία αποτέλεσε τη βάση για τη διαμόρφωση του προτύπου ISO 19650, το οποίο εφαρμόζεται σήμερα διεθνώς.

Σκανδιναβικές χώρες

Η Φινλανδία, η Νορβηγία και η Δανία συγκαταλέγονται μεταξύ των πρώτων χωρών που υιοθέτησαν συστηματικά το BIM.

Η Φινλανδία θεωρείται πρωτοπόρος στη χρήση ανοικτών προτύπων IFC και στην ανάπτυξη ψηφιακών διαδικασιών σχεδιασμού. Αντίστοιχα, η Νορβηγία και η Δανία έχουν εφαρμόσει εκτεταμένες πολιτικές ψηφιοποίησης των δημόσιων έργων, ενισχύοντας τη χρήση BIM σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής των κατασκευών.

Γερμανία και Γαλλία

Η Γερμανία και η Γαλλία έχουν αναπτύξει τα τελευταία χρόνια ολοκληρωμένα εθνικά προγράμματα προώθησης του BIM.

Ιδιαίτερα στη Γερμανία, η εφαρμογή BIM συνδέεται άμεσα με μεγάλα έργα υποδομών και μεταφορών, ενώ στη Γαλλία έχει δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στη χρήση της μεθοδολογίας σε δημόσια και ιδιωτικά κτιριακά έργα.

2.10.3 Ο ρόλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Η Ευρωπαϊκή Ένωση αντιμετωπίζει το BIM ως βασικό εργαλείο για τον ψηφιακό μετασχηματισμό του κατασκευαστικού τομέα.

Σημαντική πρωτοβουλία αποτέλεσε η δημιουργία της EU BIM Task Group, μιας ομάδας εργασίας που συγκεντρώνει εκπροσώπους κρατών-μελών με στόχο την ανάπτυξη κοινών κατευθυντήριων γραμμών για την εφαρμογή του BIM στον δημόσιο τομέα.

Η ομάδα αυτή δημοσίευσε το 2017 το EU BIM Handbook, το οποίο αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα ευρωπαϊκά κείμενα αναφοράς για την υιοθέτηση της μεθοδολογίας.

Η ευρωπαϊκή στρατηγική επικεντρώνεται:

- στη βελτίωση της διαφάνειας των δημοσίων έργων,
- στη μείωση του κόστους κατασκευής,
- στη βελτίωση της ποιότητας των υποδομών,
- στην προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης,
- στην ενίσχυση της καινοτομίας στον κατασκευαστικό κλάδο.

2.10.4 Η εφαρμογή του BIM στην Ελλάδα

Σε αντίθεση με αρκετές ευρωπαϊκές χώρες, η εφαρμογή του BIM στην Ελλάδα βρίσκεται ακόμη σε μεταβατικό στάδιο.

Παρότι τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αυξημένο ενδιαφέρον από μελετητικά γραφεία, κατασκευαστικές εταιρείες και ακαδημαϊκά ιδρύματα, η χρήση της μεθοδολογίας παραμένει περιορισμένη σε σχέση με τον ευρωπαϊκό μέσο όρο.

Η αξιοποίηση του BIM εμφανίζεται κυρίως:

- σε μεγάλα ιδιωτικά έργα,
- σε έργα ξένων επενδυτών,
- σε σύνθετα τουριστικά έργα,
- σε μεγάλα έργα υποδομών,
- σε εξειδικευμένα μελετητικά γραφεία.

Αντίθετα, η χρήση του σε μικρής και μεσαίας κλίμακας έργα παραμένει σχετικά περιορισμένη.

2.10.5 Βασικά εμπόδια εφαρμογής στην Ελλάδα

Η περιορισμένη διάδοση του BIM στην ελληνική αγορά οφείλεται σε συνδυασμό παραγόντων.

Έλλειψη θεσμικού πλαισίου

Σε αντίθεση με άλλες ευρωπαϊκές χώρες, η Ελλάδα δεν διαθέτει ακόμη πλήρως ανεπτυγμένο εθνικό πλαίσιο εφαρμογής BIM για το σύνολο των δημοσίων έργων.

Περιορισμένη εκπαίδευση

Παρότι τα τελευταία χρόνια αυξάνονται οι σχετικές εκπαιδευτικές δράσεις, σημαντικό μέρος των επαγγελματιών εξακολουθεί να μην διαθέτει εξειδικευμένες γνώσεις BIM.

Κόστος μετάβασης

Η προμήθεια λογισμικών, η εκπαίδευση προσωπικού και η αναδιοργάνωση των διαδικασιών εργασίας απαιτούν επενδύσεις που συχνά αποθαρρύνουν μικρούς οργανισμούς.

Δομή της ελληνικής αγοράς

Ο κατασκευαστικός τομέας στην Ελλάδα χαρακτηρίζεται από μεγάλο αριθμό μικρών μελετητικών γραφείων και τεχνικών εταιρειών, γεγονός που δυσχεραίνει την υιοθέτηση νέων τεχνολογιών μεγάλης κλίμακας.

2.10.6 Προοπτικές ανάπτυξης του BIM στην Ελλάδα

Παρά τις δυσκολίες που εξακολουθούν να υπάρχουν, οι προοπτικές ανάπτυξης του BIM στην Ελλάδα είναι ιδιαίτερα θετικές.

Η αυξανόμενη ψηφιοποίηση του δημόσιου τομέα, η ανάγκη συμμόρφωσης με τις ευρωπαϊκές πολιτικές, η ανάπτυξη σύγχρονων έργων υποδομής και η αυξανόμενη εξοικείωση των νέων μηχανικών με τα BIM εργαλεία αναμένεται να επιταχύνουν σημαντικά τη διάδοση της μεθοδολογίας τα επόμενα χρόνια.

Ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο αναμένεται να διαδραματίσουν:

- τα πανεπιστήμια,
- τα επαγγελματικά επιμελητήρια,
- οι κατασκευαστικές εταιρείες,
- οι δημόσιοι φορείς,
- οι διεθνείς επενδύσεις.

Η σταδιακή ενσωμάτωση του BIM στις εκπαιδευτικές διαδικασίες και η αύξηση της ζήτησης από την αγορά εργασίας δημιουργούν ένα περιβάλλον που ευνοεί τη μελλοντική ανάπτυξη της μεθοδολογίας.

2.10.7 Σύνδεση με την παρούσα έρευνα

Η παρούσα διπλωματική εργασία εντάσσεται στο ευρύτερο πλαίσιο της προσπάθειας διάδοσης και αξιολόγησης της μεθοδολογίας BIM στην ελληνική πραγματικότητα.

Η επιλογή μίας ισόγειας κατοικίας ως μελέτης περίπτωσης παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς η πλειονότητα των σχετικών ερευνών επικεντρώνεται σε μεγάλα και σύνθετα έργα. Αντίθετα, η παρούσα εργασία εξετάζει κατά πόσο οι δυνατότητες του BIM μπορούν να αξιοποιηθούν αποτελεσματικά σε έργα μικρής κλίμακας, τα οποία αποτελούν σημαντικό τμήμα της ελληνικής οικοδομικής δραστηριότητας.

Η διερεύνηση αυτή αποκτά ιδιαίτερη σημασία σε μία περίοδο κατά την οποία ο κατασκευαστικός τομέας καλείται να προσαρμοστεί στις απαιτήσεις της ψηφιακής εποχής και να υιοθετήσει νέες μεθοδολογίες σχεδιασμού και διαχείρισης έργων.

2.11 Σύνοψη Κεφαλαίου 2

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάστηκε το θεωρητικό υπόβαθρο της μεθοδολογίας Building Information Modeling (BIM). Αρχικά αναλύθηκε η έννοια και η ιστορική εξέλιξη του BIM, ενώ στη συνέχεια παρουσιάστηκαν τα βασικά χαρακτηριστικά του και οι αρχές λειτουργίας του ως ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης πληροφοριών.

Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στις διαστάσεις του BIM και ειδικότερα στις εφαρμογές 3D, 4D και 5D, οι οποίες συνδέονται άμεσα με τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό, τον χρονικό προγραμματισμό και τη διαχείριση κόστους των τεχνικών έργων. Παρουσιάστηκαν επίσης τα επίπεδα ανάπτυξης πληροφορίας (LOD), τα επίπεδα ωριμότητας BIM, καθώς και ζητήματα διαλειτουργικότητας μέσω ανοικτών προτύπων ανταλλαγής δεδομένων.

Παράλληλα, αναλύθηκαν τα κυριότερα πλεονεκτήματα της μεθοδολογίας, όπως η βελτίωση της οπτικοποίησης, η ενίσχυση της συνεργασίας, η αυτοματοποίηση της παραγωγής τεχνικής τεκμηρίωσης και η υποστήριξη της διαχείρισης χρόνου και κόστους. Επιπλέον, παρουσιάστηκαν οι βασικές προκλήσεις και περιορισμοί που εξακολουθούν να επηρεάζουν την ευρύτερη υιοθέτηση του BIM, καθώς και η υφιστάμενη κατάσταση εφαρμογής του στην Ευρώπη και στην Ελλάδα.

Από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση προκύπτει ότι το BIM αποτελεί μία ολοκληρωμένη προσέγγιση διαχείρισης πληροφοριών με σημαντικές δυνατότητες βελτίωσης του σχεδιασμού και της διαχείρισης των τεχνικών έργων. Η αξιολόγηση των δυνατοτήτων αυτών στο πλαίσιο ενός πραγματικού έργου κατοικίας αποτελεί το αντικείμενο της παρούσας έρευνας.

Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζεται η ερευνητική μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, καθώς και η διαδικασία ανάπτυξης και αξιολόγησης του BIM μοντέλου της εξεταζόμενης κατοικίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο:

Ερευνητική Μεθοδολογία

3.1 Εισαγωγή

Η επιλογή της κατάλληλης ερευνητικής μεθοδολογίας αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την αξιοπιστία και την εγκυρότητα μιας επιστημονικής έρευνας. Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιδιώκεται η διερεύνηση των δυνατοτήτων εφαρμογής της μεθοδολογίας Building Information Modeling (BIM) στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό και στη διαχείριση κτιριακών έργων μέσω της ανάπτυξης και αξιολόγησης ενός πραγματικού μοντέλου κατοικίας.

Η έρευνα δεν περιορίζεται στη θεωρητική ανάλυση της μεθοδολογίας BIM αλλά επικεντρώνεται στην πρακτική εφαρμογή της σε πραγματικές συνθήκες σχεδιασμού. Για τον λόγο αυτό επιλέχθηκε η μεθοδολογική προσέγγιση της μελέτης περίπτωσης (case study), η οποία επιτρέπει τη διερεύνηση ενός φαινομένου μέσα στο πραγματικό του περιβάλλον και διευκολύνει τη σύνδεση θεωρίας και πρακτικής εφαρμογής (Yin, 2018).

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η ερευνητική προσέγγιση που ακολουθήθηκε, περιγράφονται τα στάδια της έρευνας, τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και η διαδικασία ανάπτυξης του BIM μοντέλου της εξεταζόμενης κατοικίας.

3.2 Ερευνητική Προσέγγιση

Η παρούσα εργασία ακολουθεί ποιοτική ερευνητική προσέγγιση βασισμένη στη μέθοδο της μελέτης περίπτωσης (case study). Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται ευρέως στις επιστήμες μηχανικού και στη διαχείριση έργων, καθώς επιτρέπει τη λεπτομερή ανάλυση σύνθετων τεχνικών διαδικασιών σε πραγματικές συνθήκες εφαρμογής.

Σύμφωνα με τον Yin (2018), η μελέτη περίπτωσης είναι ιδιαίτερα κατάλληλη όταν ο ερευνητής επιδιώκει να απαντήσει σε ερωτήματα που σχετίζονται με το «πώς» και το «γιατί» ενός φαινομένου, χωρίς να επηρεάζει άμεσα το περιβάλλον στο οποίο αυτό εκδηλώνεται.

Η επιλογή της συγκεκριμένης προσέγγισης κρίθηκε κατάλληλη, καθώς ο βασικός στόχος της έρευνας είναι να διερευνηθεί πώς η μεθοδολογία BIM μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα πραγματικό έργο κατοικίας και ποια οφέλη ή περιορισμοί προκύπτουν από την εφαρμογή της.

Η μελέτη περίπτωσης αφορά την ανάπτυξη BIM μοντέλου για ισόγεια μονοκατοικία, η οποία βρίσκεται στο στάδιο κατασκευής και διαθέτει πλήρη αρχιτεκτονική τεκμηρίωση σε περιβάλλον AutoCAD.

3.3 Σχεδιασμός της Έρευνας

Η έρευνα οργανώθηκε σε διαδοχικά στάδια, τα οποία ακολουθούν τη λογική εξέλιξη ενός έργου BIM από τη συλλογή δεδομένων έως την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

Η διαδικασία περιλαμβάνει:

Στάδιο 1: Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Πραγματοποιήθηκε ανασκόπηση της διεθνούς και ελληνικής βιβλιογραφίας σχετικά με:

- ✚ τη μεθοδολογία BIM,
- ✚ τις διαστάσεις του BIM,
- ✚ τα επίπεδα ανάπτυξης πληροφορίας,
- ✚ τα επίπεδα ωριμότητας,
- ✚ τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς της εφαρμογής BIM,
- ✚ τη χρήση BIM στη διαχείριση τεχνικών έργων.

Η βιβλιογραφική ανασκόπηση αποτέλεσε τη θεωρητική βάση της έρευνας και συνέβαλε στη διαμόρφωση του ερευνητικού πλαισίου.

Στάδιο 2: Συλλογή Δεδομένων

Συγκεντρώθηκαν τα διαθέσιμα στοιχεία της κατοικίας, τα οποία περιλάμβαναν:

- ✓ αρχιτεκτονικά σχέδια,
- ✓ κατόψεις,
- ✓ όψεις,
- ✓ τομές,
- ✓ διαγράμματα κάλυψης,
- ✓ τεχνικά στοιχεία της μελέτης.

Τα σχέδια ήταν διαθέσιμα σε ψηφιακή μορφή AutoCAD και αποτέλεσαν τη βάση για την ανάπτυξη του BIM μοντέλου.

Στάδιο 3: Ανάπτυξη BIM Μοντέλου

Πραγματοποιήθηκε η μεταφορά των διαθέσιμων δεδομένων στο Autodesk Revit και η ανάπτυξη του τρισδιάστατου παραμετρικού μοντέλου της κατοικίας.

Κατά τη διαδικασία αυτή δημιουργήθηκαν:

- ✓ τοπογραφικά και υψομετρικά στοιχεία,
- ✓ τοίχοι,
- ✓ πλάκες,
- ✓ στέγη,
- ✓ ανοίγματα,
- ✓ κουφώματα,
- ✓ αρχιτεκτονικά στοιχεία.

Παράλληλα ενσωματώθηκαν πληροφορίες που σχετίζονται με τα υλικά και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κτιρίου.

Στάδιο 4: Παραγωγή Πληροφοριών BIM

Μετά την ολοκλήρωση του μοντέλου πραγματοποιήθηκε η αξιοποίηση των δυνατοτήτων του BIM για την παραγωγή:

- κατόψεων,
- όψεων,
- τομών,
- τρισδιάστατων απεικονίσεων,
- πινάκων ποσοτήτων,
- τεχνικής τεκμηρίωσης.

Στάδιο 5: Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

Στο τελικό στάδιο αξιολογήθηκαν τα αποτελέσματα της εφαρμογής BIM ως προς:

- ✚ τη βελτίωση της οπτικοποίησης,
- ✚ τη διαχείριση πληροφοριών,
- ✚ την παραγωγή ποσοτήτων,
- ✚ την υποστήριξη χρονοπρογραμματισμού,
- ✚ τη δυνατότητα αξιοποίησης της μεθοδολογίας σε έργα κατοικιών.

3.4 Ερευνητικά Εργαλεία

Η ανάπτυξη της έρευνας βασίστηκε στη χρήση εξειδικευμένων ψηφιακών εργαλείων σχεδιασμού και επεξεργασίας δεδομένων.

Autodesk AutoCAD

Το AutoCAD χρησιμοποιήθηκε ως πηγή των αρχικών σχεδίων της κατοικίας. Τα σχέδια αποτέλεσαν τη βάση για τη δημιουργία του BIM μοντέλου.

Autodesk Revit

Το Autodesk Revit αποτέλεσε το βασικό λογισμικό ανάπτυξης του BIM μοντέλου. Μέσω του Revit πραγματοποιήθηκε η παραμετρική μοντελοποίηση του κτιρίου και η παραγωγή των απαιτούμενων σχεδίων και ποσοτήτων.

Microsoft Excel

Το Microsoft Excel χρησιμοποιήθηκε για την οργάνωση και επεξεργασία ποσοτικών δεδομένων που προέκυψαν από το BIM μοντέλο, καθώς και για την υποστήριξη της ανάλυσης των αποτελεσμάτων.

3.5 Δυνατότητες Εξαγωγής και Αξιοποίησης Δεδομένων μέσω BIM

3.5.1 Εξαγωγή Ποσοτικών και Τεχνικών Δεδομένων από το BIM Μοντέλο

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της μεθοδολογίας Building Information Modeling είναι η δυνατότητα εξαγωγής ποσοτικών και τεχνικών δεδομένων απευθείας από το ψηφιακό μοντέλο. Σε αντίθεση με τις συμβατικές μεθόδους σχεδιασμού, όπου οι ποσότητες προκύπτουν συνήθως μέσω χειροκίνητων υπολογισμών και επιμετρήσεων, το BIM επιτρέπει την αυτόματη παραγωγή πληροφοριών που σχετίζονται με τα δομικά στοιχεία του έργου.

Η δυνατότητα αυτή καθιστά το BIM ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο για τη διαχείριση τεχνικών έργων, καθώς παρέχει αξιόπιστα δεδομένα τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν στον προγραμματισμό, στην κοστολόγηση και στον έλεγχο των κατασκευών.

3.5.2 Δυνατότητες Ποσομέτρησης μέσω BIM

Η παραμετρική δομή του μοντέλου επιτρέπει την αποθήκευση πληροφοριών για κάθε επιμέρους στοιχείο της κατασκευής. Ως αποτέλεσμα, το BIM μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή πινάκων ποσοτήτων (Schedules), οι οποίοι ενημερώνονται αυτόματα κάθε φορά που πραγματοποιείται τροποποίηση στο μοντέλο.

Οι πληροφορίες που μπορούν να εξαχθούν περιλαμβάνουν:

- επιφάνειες χώρων,
- μήκη και επιφάνειες τοίχων,
- αριθμό και διαστάσεις κουφωμάτων,
- επιφάνειες πλακών,
- επιφάνειες στέγης,
- χωρικά χαρακτηριστικά των επιμέρους λειτουργικών ενοτήτων.

Η αυτοματοποιημένη παραγωγή των δεδομένων αυτών μειώνει σημαντικά την πιθανότητα σφαλμάτων και συμβάλλει στη βελτίωση της αξιοπιστίας των ποσομετρήσεων.

3.5.3 Συμβολή των Ποσοτικών Δεδομένων στη Διαχείριση Έργου

Η δυνατότητα εξαγωγής ποσοτικών δεδομένων αποτελεί βασικό στοιχείο σύνδεσης του BIM με τις διαδικασίες διαχείρισης έργων. Οι πληροφορίες που προκύπτουν από το μοντέλο μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βάση για:

- ❖ την εκτίμηση ποσοτήτων υλικών,
- ❖ την υποστήριξη διαδικασιών κοστολόγησης,
- ❖ τον προγραμματισμό προμηθειών,
- ❖ την παρακολούθηση της προόδου των εργασιών,
- ❖ την ανάπτυξη εφαρμογών 5D BIM.

Η αξιοποίηση των δεδομένων αυτών συμβάλλει στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων και ενισχύει τον έλεγχο του έργου σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής του.

3.5.4 Αξιολόγηση της Χρήσης Ποσοτικών Δεδομένων

Η εξαγωγή ποσοτικών και τεχνικών δεδομένων από το BIM μοντέλο αναδεικνύει μία από τις σημαντικότερες δυνατότητες της μεθοδολογίας Building Information Modeling. Η συγκέντρωση των πληροφοριών σε ένα ενιαίο ψηφιακό περιβάλλον επιτρέπει την αποτελεσματική οργάνωση των δεδομένων του έργου και τη δυνατότητα άμεσης πρόσβασης σε στοιχεία που αφορούν τη γεωμετρία και τα χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων.

Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές μεθόδους σχεδιασμού, όπου οι ποσότητες προκύπτουν συνήθως μέσω χειροκίνητων υπολογισμών, το BIM παρέχει τη δυνατότητα αυτοματοποιημένης εξαγωγής πληροφοριών από το ίδιο το μοντέλο. Η δυνατότητα αυτή συμβάλλει στη βελτίωση της αξιοπιστίας των δεδομένων και δημιουργεί τις προϋποθέσεις για την υποστήριξη διαδικασιών προγραμματισμού και κοστολόγησης του έργου.

3.6 Περιορισμοί της Έρευνας

Όπως κάθε επιστημονική εργασία, έτσι και η παρούσα μελέτη παρουσιάζει ορισμένους περιορισμούς. Η έρευνα επικεντρώνεται αποκλειστικά σε μία κατοικία και επομένως τα συμπεράσματα δεν μπορούν να γενικευθούν αυτούσια σε όλες τις κατηγορίες κτιριακών έργων. Επιπλέον, το BIM μοντέλο αναπτύχθηκε κυρίως σε αρχιτεκτονικό επίπεδο και δεν περιλαμβάνει πλήρη ανάπτυξη στατικών ή ηλεκτρομηχανολογικών μελετών.

Παράλληλα, η αξιολόγηση των δυνατοτήτων 4D και 5D BIM πραγματοποιείται σε ενδεικτικό επίπεδο, με στόχο τη διερεύνηση των δυνατοτήτων της μεθοδολογίας και όχι την πλήρη ανάπτυξη ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης έργου.

Παρά τους παραπάνω περιορισμούς, η μελέτη παρέχει ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα εφαρμογής BIM σε έργο κατοικίας και επιτρέπει την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων σχετικά με τις δυνατότητες αξιοποίησης της μεθοδολογίας στην ελληνική πραγματικότητα.

3.7 Περιγραφή της Μελέτης Περίπτωσης

Η παρούσα διπλωματική εργασία βασίζεται στη μελέτη περίπτωσης μίας πραγματικής ισόγειας μονοκατοικίας, η οποία βρίσκεται σε φάση κατασκευής κατά τον χρόνο εκπόνησης της έρευνας. Η επιλογή του συγκεκριμένου έργου πραγματοποιήθηκε με στόχο τη διερεύνηση της εφαρμογής της μεθοδολογίας Building Information Modeling (BIM) σε ένα κτιριακό έργο μικρής κλίμακας που αντανακλά τις συνθήκες της ελληνικής κατασκευαστικής πραγματικότητας.

Η κατοικία αποτελεί τυπικό παράδειγμα σύγχρονης μονοκατοικίας και διαθέτει πλήρη αρχιτεκτονική μελέτη σε ψηφιακή μορφή. Τα διαθέσιμα στοιχεία περιλαμβάνουν κατόψεις, όψεις, τομές και λοιπά σχέδια που έχουν εκπονηθεί σε περιβάλλον AutoCAD. Τα σχέδια αυτά χρησιμοποιήθηκαν ως βάση για την ανάπτυξη του BIM μοντέλου στο Autodesk Revit.

Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του έργου αποτελεί το γεγονός ότι πρόκειται για κατοικία η οποία είναι υπερυψωμένη σε σχέση με τη στάθμη του φυσικού εδάφους, γεγονός που απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή κατά τη διαδικασία ψηφιακής μοντελοποίησης και αναπαράστασης των υψομετρικών δεδομένων.

Η επιλογή πραγματικού έργου αντί υποθετικού παραδείγματος επιτρέπει την αξιολόγηση των δυνατοτήτων του BIM σε συνθήκες που προσεγγίζουν την καθημερινή επαγγελματική πρακτική. Παράλληλα, δίνει τη δυνατότητα διερεύνησης των πλεονεκτημάτων αλλά και των περιορισμών που προκύπτουν κατά τη μετάβαση από τα συμβατικά σχέδια CAD σε ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον BIM.

Στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας αναπτύχθηκε τρισδιάστατο παραμετρικό μοντέλο της κατοικίας στο Autodesk Revit, με στόχο την παραγωγή σχεδίων, την εξαγωγή ποσοτήτων και την αξιολόγηση των δυνατοτήτων υποστήριξης διαδικασιών διαχείρισης έργου μέσω των διαστάσεων 4D και 5D BIM.

Η διαδικασία ανάπτυξης του μοντέλου και τα αποτελέσματα της εφαρμογής παρουσιάζονται αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

3.8 Σύνοψη Κεφαλαίου

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάστηκε η ερευνητική μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Περιγράφηκε η επιλογή της μελέτης περίπτωσης ως βασικής

ερευνητικής προσέγγισης, τα στάδια ανάπτυξης της έρευνας, τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και οι περιορισμοί της μελέτης.

Παράλληλα, παρουσιάστηκε συνοπτικά το έργο που επιλέχθηκε ως μελέτη περίπτωσης και τεκμηριώθηκε η καταλληλότητά του για τη διερεύνηση των δυνατοτήτων εφαρμογής της μεθοδολογίας BIM σε έργα κατοικιών.

Με βάση τη μεθοδολογική προσέγγιση που αναπτύχθηκε, στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά η μελέτη περίπτωσης και η διαδικασία ανάπτυξης του BIM μοντέλου της κατοικίας στο Autodesk Revit.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο:

Ανάπτυξη BIM Μοντέλου και Εφαρμογή στη Μελέτη Περίπτωσης

4.1 Εισαγωγή

Η παρούσα ενότητα αποτελεί τον πυρήνα της ερευνητικής εργασίας, καθώς παρουσιάζει την πρακτική εφαρμογή της μεθοδολογίας **Building Information Modeling (BIM)** σε πραγματικό κτιριακό έργο. Μετά την ανάλυση του θεωρητικού πλαισίου και της ερευνητικής μεθοδολογίας που προηγήθηκε, ακολουθεί η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου πληροφοριακού μοντέλου, με σκοπό την αξιολόγηση των δυνατοτήτων που προσφέρει η τεχνολογία BIM κατά τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό και τη διαχείριση τεχνικών δεδομένων.

Η εφαρμογή πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού **Autodesk Revit**, το οποίο αποτελεί μία από τις πλέον διαδεδομένες πλατφόρμες ανάπτυξης πληροφοριακών μοντέλων διεθνώς. Η επιλογή του βασίστηκε στην ικανότητά του να ενσωματώνει σε ένα ενιαίο ψηφιακό περιβάλλον τόσο τη γεωμετρική αναπαράσταση του κτιρίου όσο και τα πληροφοριακά χαρακτηριστικά κάθε δομικού στοιχείου, επιτρέποντας τη συνεχή αλληλεπίδραση μεταξύ σχεδιασμού, τεκμηρίωσης και διαχείρισης του έργου (Eastman et al., 2018· Autodesk, 2024).

Ως μελέτη περίπτωσης επιλέχθηκε μία ισόγεια μονοκατοικία σύγχρονης κατασκευής, η οποία μοντελοποιήθηκε εξ ολοκλήρου σε περιβάλλον BIM, αξιοποιώντας τα αρχιτεκτονικά σχέδια της μελέτης εφαρμογής ως βασικό υπόβαθρο. Η επιλογή ενός πραγματικού έργου επιτρέπει την αξιολόγηση της εφαρμοσιμότητας της μεθοδολογίας σε πραγματικές συνθήκες σχεδιασμού και αναδεικνύει τα πλεονεκτήματα της παραμετρικής μοντελοποίησης σε σχέση με τις συμβατικές διαδικασίες παραγωγής μελετών.

Κατά τη διαδικασία ανάπτυξης του μοντέλου δημιουργήθηκαν όλα τα βασικά δομικά και αρχιτεκτονικά στοιχεία της κατοικίας, όπως τοίχοι, δάπεδα, πλάκες, στέγη, ανοίγματα, χώροι και λοιπά κατασκευαστικά στοιχεία. Παράλληλα, σε κάθε αντικείμενο αποδόθηκαν οι απαραίτητες γεωμετρικές και μη γεωμετρικές ιδιότητες, μετατρέποντας το τρισδιάστατο μοντέλο σε μία ολοκληρωμένη βάση πληροφοριών του έργου. Η παραμετρική αυτή δομή εξασφαλίζει ότι κάθε μεταβολή του μοντέλου ενημερώνει αυτόματα όλα τα παραγόμενα σχέδια, τις τομές, τις όψεις και τους πίνακες ποσοτήτων, διατηρώντας τη συνέπεια των δεδομένων σε όλο τον κύκλο ανάπτυξης της μελέτης (Sacks et al., 2020).

Η ανάπτυξη του πληροφοριακού μοντέλου δεν περιορίστηκε στη δημιουργία της τρισδιάστατης γεωμετρίας, αλλά επεκτάθηκε στην οργάνωση των δεδομένων του έργου μέσω παραμετρικών

οικογενειών (Families), ιδιοτήτων (Parameters), χωρικών οντοτήτων (Rooms) και δυναμικών πινάκων ποσοτήτων (Schedules). Με τον τρόπο αυτό, το μοντέλο λειτουργήσε ως ενιαίο αποθετήριο πληροφοριών, από το οποίο ήταν δυνατή η αυτόματη παραγωγή τεχνικής τεκμηρίωσης, η εξαγωγή ποσοτικών στοιχείων και η υποστήριξη διαδικασιών διαχείρισης του έργου, σύμφωνα με τις αρχές που περιγράφονται στη σειρά προτύπων ISO 19650 (ISO 19650-1, 2018).

Σκοπός του παρόντος κεφαλαίου είναι η αναλυτική παρουσίαση της διαδικασίας ανάπτυξης του πληροφοριακού μοντέλου, από την αρχική οργάνωση του έργου έως την ολοκλήρωση της παραμετρικής μοντελοποίησης και την παραγωγή της τεχνικής τεκμηρίωσης. Παράλληλα, παρουσιάζονται οι δυνατότητες του μοντέλου ως εργαλείου συγκέντρωσης και διαχείρισης πληροφοριών, δημιουργώντας τη βάση για την ανάλυση των αποτελεσμάτων που ακολουθεί στο επόμενο κεφάλαιο.

4.2 Περιγραφή-Παρουσίαση της Μελέτης Περίπτωσης

4.2.1 Γενικά Χαρακτηριστικά του Έργου

Η μελέτη περίπτωσης της παρούσας διπλωματικής εργασίας αφορά την ανάπτυξη BIM μοντέλου μίας ισόγειας μονοκατοικίας, η οποία επιλέχθηκε ως μελέτη περίπτωσης λόγω της αντιπροσωπευτικότητας της γεωμετρίας της, της πληρότητας της αρχιτεκτονικής μελέτης και της δυνατότητας ανάπτυξης ενός ολοκληρωμένου πληροφοριακού μοντέλου. Για λόγους προστασίας προσωπικών δεδομένων, παραλείπονται στοιχεία που αφορούν την ακριβή θέση του ακινήτου και τους ιδιοκτήτες, καθώς δεν επηρεάζουν την επιστημονική αξιολόγηση της εφαρμογής.

Η κατοικία αποτελεί ένα ισόγειο κτίριο κατοικίας με σύγχρονη αρχιτεκτονική μορφολογία και τετράρριχτη κεραμοσκεπή, σχεδιασμένη σύμφωνα με τις ισχύουσες πολεοδομικές και κατασκευαστικές απαιτήσεις. Η αρχιτεκτονική σύνθεση χαρακτηρίζεται από καθαρούς γεωμετρικούς όγκους, λειτουργική διάταξη των χώρων και ανάπτυξη στεγασμένων υπαίθριων επιφανειών, στοιχεία που καθιστούν το έργο κατάλληλο για την αξιολόγηση της εφαρμογής παραμετρικής μοντελοποίησης.

Η κατοικία ανεγέρθηκε σε οικόπεδο εντός εγκεκριμένου σχεδίου πόλεως και διαθέτει συνολική επιφάνεια 166,13 m². Η αρχιτεκτονική της διαμόρφωση περιλαμβάνει κύριους και βοηθητικούς χώρους κατοίκησης, ενώ καλύπτεται από κεκλιμένη ξύλινη στέγη επενδεδυμένη με κεραμίδια. Η συνολική επιφάνεια της στέγης ανέρχεται σε 221,18 m².

Η κατοικία είναι υπερυψωμένη σε σχέση με τη στάθμη του φυσικού εδάφους, γεγονός που επηρεάζει τη γεωμετρία του κτιρίου και τον τρόπο ψηφιακής αναπαράστασής του στο περιβάλλον BIM. Η ανάπτυξη του πληροφοριακού μοντέλου βασίστηκε αποκλειστικά στα εγκεκριμένα αρχιτεκτονικά σχέδια της μελέτης εφαρμογής. Τα σχέδια αυτά χρησιμοποιήθηκαν ως γεωμετρικό υπόβαθρο για την παραμετρική αναπαράσταση όλων των δομικών και αρχιτεκτονικών στοιχείων στο περιβάλλον του Autodesk Revit. Με τον τρόπο αυτό διασφαλίστηκε η γεωμετρική ακρίβεια του μοντέλου και η πιστή αναπαραγωγή των πραγματικών χαρακτηριστικών της κατασκευής.

Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε όχι μόνο στη γεωμετρική απεικόνιση του κτιρίου αλλά και στην πληροφοριακή οργάνωση των στοιχείων του. Κάθε αντικείμενο του μοντέλου αναπτύχθηκε ως παραμετρικό στοιχείο (parametric object), στο οποίο αποδόθηκαν ιδιότητες σχετικές με τη γεωμετρία, τα υλικά, τις διαστάσεις και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του. Η προσέγγιση αυτή διαφοροποιεί ουσιαστικά το BIM από την παραδοσιακή σχεδίαση CAD, καθώς κάθε μεταβολή σε ένα στοιχείο ενημερώνει αυτόματα όλες τις συνδεδεμένες όψεις, τομές, κατόψεις και πίνακες ποσοτήτων του έργου (Eastman et al., 2018).

Παρότι η εγκεκριμένη οικοδομική άδεια περιλαμβάνει επιπλέον βοηθητικές κατασκευές και διαμορφώσεις περιβάλλοντος χώρου, στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας η ανάπτυξη του BIM μοντέλου περιορίστηκε αποκλειστικά στην κύρια κατοικία. Η επιλογή αυτή πραγματοποιήθηκε προκειμένου να δοθεί έμφαση στην αξιολόγηση της εφαρμογής της μεθοδολογίας BIM στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό και στη διαχείριση κτιριακού έργου κατοικίας.

4.2.2 Αρχιτεκτονική Διάταξη και Λειτουργική Οργάνωση

Κατά τον σχεδιασμό της κατοικίας δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στη λειτουργικότητα των χώρων, στην εξασφάλιση συνθηκών άνετης διαβίωσης και στη βέλτιστη αξιοποίηση του διαθέσιμου οικοπέδου. Σύμφωνα με την αρχιτεκτονική μελέτη, η κατοικία οργανώνεται γύρω από έναν ενιαίο χώρο καθιστικού, τραπεζαρίας και κουζίνας, ο οποίος αποτελεί τον βασικό πυρήνα των καθημερινών δραστηριοτήτων των χρηστών.

Στον χώρο της κουζίνας προβλέπεται ανεξάρτητος χώρος τροφοθήκης (pantry), καθώς και βοηθητικός χώρος αποθήκης – πλυσταριού (laundry room), ο οποίος χρησιμοποιείται για την εγκατάσταση εξοπλισμού οικιακής χρήσης και την αποθήκευση υλικών καθαρισμού και λοιπών αντικειμένων.

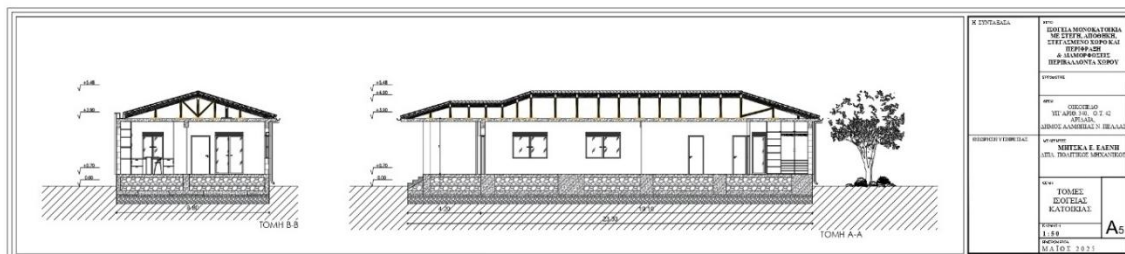
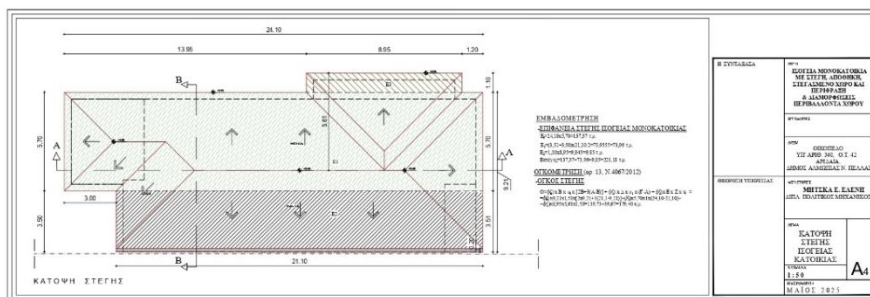
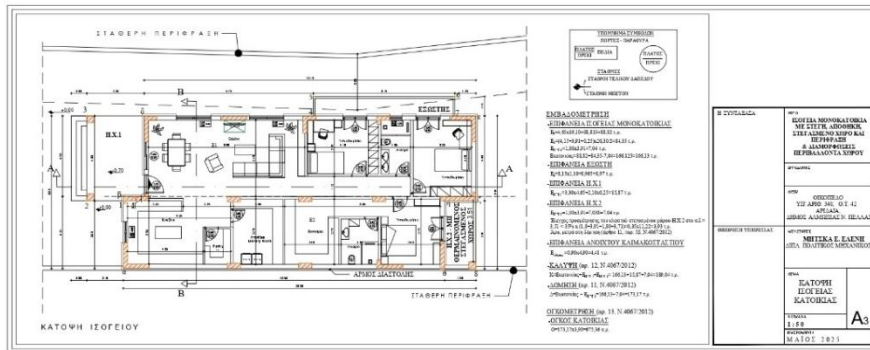
Η κατοικία διαθέτει τρία υπνοδωμάτια, εκ των οποίων το ένα αποτελεί κύριο υπνοδωμάτιο (master bedroom) με ανεξάρτητο λουτρό και χώρο βεστιαρίου. Επιπλέον προβλέπεται δεύτερο λουτρό κοινής

χρήσης, καθώς και οι απαραίτητοι χώροι κυκλοφορίας που εξασφαλίζουν την ομαλή σύνδεση των επιμέρους λειτουργικών ενότητων του κτιρίου.

Η πρόσβαση στην κατοικία πραγματοποιείται μέσω υπερυψωμένης εισόδου και ανοικτού κλιμακοστασίου επιφάνειας 4,41 m², ενώ έχουν προβλεφθεί δύο ημιυπαίθριοι χώροι συνολικής επιφάνειας 22,91 m² και εξώστης επιφάνειας 8,97 m². Οι χώροι αυτοί συμβάλλουν τόσο στη λειτουργική όσο και στη βιοκλιματική συμπεριφορά του κτιρίου, βελτιώνοντας τον φυσικό φωτισμό, τον αερισμό και τη σκίαση των εσωτερικών χώρων.

ΕΛΕΝΗ Ε. ΜΗΤΣΚΑ

Σχήμα 4.1 Κατόψεις της ισόγειας κατοικίας και της στέγης, τομές και όψεις όπως σχεδιάστηκαν στο περιβάλλον AutoCAD.



4.3 Ανάπτυξη του BIM Μοντέλου στο Autodesk Revit

Η ανάπτυξη του πληροφοριακού μοντέλου της κατοικίας πραγματοποιήθηκε στο περιβάλλον του **Autodesk Revit**, ακολουθώντας τις αρχές της παραμετρικής μοντελοποίησης που διέπουν τη μεθοδολογία Building Information Modeling (BIM). Σε αντίθεση με τη συμβατική δισδιάστατη σχεδίαση, όπου κάθε σχέδιο αποτελεί ανεξάρτητο αρχείο, στο BIM όλα τα δομικά στοιχεία δημιουργούνται ως παραμετρικά αντικείμενα (parametric objects), τα οποία συνδέονται μεταξύ τους και συγκροτούν ένα ενιαίο πληροφοριακό μοντέλο του έργου (Eastman et al., 2018).

Η ανάπτυξη του μοντέλου βασίστηκε στα εγκεκριμένα αρχιτεκτονικά σχέδια της κατοικίας, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ως γεωμετρικό υπόβαθρο για την αναπαραγωγή της πραγματικής κατασκευής. Κατά τη διαδικασία αυτή δεν πραγματοποιήθηκε απλή τρισδιάστατη αναπαράσταση του κτιρίου, αλλά δημιουργήθηκε ένα ολοκληρωμένο ψηφιακό μοντέλο, στο οποίο κάθε στοιχείο διαθέτει τόσο γεωμετρικές όσο και πληροφοριακές ιδιότητες. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει στο μοντέλο να λειτουργεί ως ενιαία βάση δεδομένων, από την οποία παράγονται όλα τα τεχνικά παραδοτέα του έργου.

Η διαδικασία ανάπτυξης οργανώθηκε σε διαδοχικά στάδια, τα οποία περιλάμβαναν την προετοιμασία των δεδομένων, τον καθορισμό των επιπέδων αναφοράς, τη μοντελοποίηση των δομικών και αρχιτεκτονικών στοιχείων, την παραγωγή της τεχνικής τεκμηρίωσης και, τέλος, την οργάνωση των πληροφοριών του έργου μέσω παραμετρικών ιδιοτήτων και πινάκων ποσοτήτων. Η συγκεκριμένη προσέγγιση εξασφάλισε τη γεωμετρική συνέπεια του μοντέλου, τη διασύνδεση όλων των επιμέρους στοιχείων και την αυτόματη ενημέρωση των παραγόμενων σχεδίων μετά από κάθε τροποποίηση (Sacks et al., 2020).

Στις επόμενες υποενότητες παρουσιάζονται αναλυτικά τα επιμέρους στάδια ανάπτυξης του πληροφοριακού μοντέλου, από την εισαγωγή των αρχιτεκτονικών δεδομένων έως την παραγωγή των τελικών σχεδίων και την οργάνωση των πληροφοριών που υποστηρίζουν τη διαχείριση του έργου.

4.3.1 Προετοιμασία και Εισαγωγή των Δεδομένων

Η ανάπτυξη του BIM μοντέλου ξεκίνησε με την προετοιμασία των αρχιτεκτονικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν ως βάση της παραμετρικής μοντελοποίησης. Η αρχιτεκτονική μελέτη είχε αρχικά

εκπονηθεί σε περιβάλλον AutoCAD, περιλαμβάνοντας κατόψεις, όψεις και τομές του κτιρίου, οι οποίες αποτέλεσαν το βασικό γεωμετρικό υπόβαθρο για την ανάπτυξη του πληροφοριακού μοντέλου.

Πριν από την εισαγωγή των σχεδίων στο Autodesk Revit πραγματοποιήθηκε έλεγχος της πληρότητας και της συνέπειας των διαθέσιμων αρχείων. Εξετάστηκαν οι γεωμετρικές διαστάσεις, οι στάθμες, οι άξονες και οι βασικές κατασκευαστικές λεπτομέρειες, ώστε να εξασφαλιστεί η ορθή μεταφορά της πληροφορίας στο περιβάλλον BIM. Η διαδικασία αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς η ακρίβεια των αρχικών δεδομένων επηρεάζει άμεσα την αξιοπιστία του τελικού πληροφοριακού μοντέλου (Eastman et al., 2018).

Στη συνέχεια τα σχέδια εισήχθησαν στο Autodesk Revit σε μορφή DWG και χρησιμοποιήθηκαν ως αρχεία αναφοράς (reference files), επάνω στα οποία πραγματοποιήθηκε η ανάπτυξη όλων των δομικών και αρχιτεκτονικών στοιχείων της κατοικίας. Η χρήση των αρχείων ως υποβάθρου επέτρεψε την ακριβή αναπαραγωγή της γεωμετρίας της μελέτης, διατηρώντας πλήρη αντιστοιχία μεταξύ των αρχικών σχεδίων και του πληροφοριακού μοντέλου.

Κατά την εισαγωγή των δεδομένων δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στη σωστή κλίμακα, στον προσανατολισμό και στην ευθυγράμμιση των σχεδίων, ώστε να αποφευχθούν αποκλίσεις κατά τη διαδικασία της μοντελοποίησης. Παράλληλα οργανώθηκαν οι βασικές προβολές και οι ρυθμίσεις του έργου, δημιουργώντας ένα συνεκτικό περιβάλλον εργασίας που διευκόλυνε την ανάπτυξη του μοντέλου στα επόμενα στάδια.

Η επιτυχής ολοκλήρωση του σταδίου αυτού αποτέλεσε τη βάση για την ανάπτυξη ενός αξιόπιστου και γεωμετρικά συνεπούς πληροφοριακού μοντέλου, ικανού να υποστηρίξει τόσο την παραγωγή της τεχνικής τεκμηρίωσης όσο και την εξαγωγή πληροφοριών που αξιοποιούνται στις διαδικασίες διαχείρισης του έργου.

4.3.2 Δημιουργία Επιπέδων Αναφοράς (Levels)

Η δημιουργία των επιπέδων αναφοράς (Levels) αποτέλεσε το πρώτο στάδιο οργάνωσης του πληροφοριακού μοντέλου και τη βάση για τη συστηματική ανάπτυξη όλων των δομικών και αρχιτεκτονικών στοιχείων της κατοικίας. Στο περιβάλλον BIM, τα επίπεδα αναφοράς δεν λειτουργούν μόνο ως υψομετρικές στάθμες, αλλά αποτελούν βασικούς μηχανισμούς παραμετρικής συσχέτισης των στοιχείων του έργου, εξασφαλίζοντας τη γεωμετρική συνέπεια και την ορθή λειτουργία του μοντέλου (Eastman et al., 2018).

Η διαμόρφωση των επιπέδων βασίστηκε στα εγκεκριμένα αρχιτεκτονικά σχέδια και στις αντίστοιχες τομές της μελέτης εφαρμογής. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στην ορθή αποτύπωση των υψομετρικών διαφορών της κατασκευής, καθώς η εξεταζόμενη κατοικία είναι υπερυψωμένη σε σχέση με τη στάθμη του φυσικού εδάφους. Η επιλογή αυτή επηρέασε τον καθορισμό των βασικών στάθμεων του έργου και τη σωστή τοποθέτηση των δομικών στοιχείων στο τρισδιάστατο περιβάλλον. Η επιλογή αυτή επέτρεψε την ορθή αναπαράσταση της γεωμετρίας του έργου και τη σωστή τοποθέτηση των επιμέρους δομικών στοιχείων.

Μετά τον καθορισμό των επιπέδων οργανώθηκε η βασική παραμετρική δομή του μοντέλου. Κάθε στοιχείο της κατασκευής συνδέθηκε με συγκεκριμένα επίπεδα αναφοράς και απέκτησε παραμετρική συμπεριφορά, επιτρέποντας την αυτόματη προσαρμογή του σε περίπτωση τροποποίησης των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του έργου. Η συγκεκριμένη προσέγγιση αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της τεχνολογίας BIM, καθώς εξασφαλίζει ότι οι μεταβολές πραγματοποιούνται στο ίδιο το πληροφοριακό μοντέλο και όχι στα επιμέρους σχέδια, τα οποία ενημερώνονται αυτόματα (Sacks et al., 2020).

Η παραμετρική οργάνωση του μοντέλου συνέβαλε σημαντικά στη διατήρηση της συνέπειας μεταξύ των κατόψεων, των όψεων, των τομών και των τρισδιάστατων προβολών. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η πιθανότητα ασυμφωνιών μεταξύ των παραδοτέων της μελέτης, οι οποίες αποτελούν συχνό πρόβλημα στις συμβατικές διαδικασίες σχεδιασμού που βασίζονται αποκλειστικά στη δισδιάστατη σχεδίαση CAD (Succar, 2009).

Επιπλέον, η δημιουργία της παραμετρικής δομής αποτέλεσε το θεμέλιο για την οργάνωση των πληροφοριών του έργου στα επόμενα στάδια της μοντελοποίησης. Η σύνδεση κάθε στοιχείου με συγκεκριμένες ιδιότητες, γεωμετρικά χαρακτηριστικά και τεχνικές παραμέτρους επέτρεψε τη δημιουργία ενός δυναμικού πληροφοριακού μοντέλου, το οποίο υποστηρίζει όχι μόνο την παραγωγή της τεχνικής τεκμηρίωσης αλλά και την εξαγωγή ποσοτικών δεδομένων και την αξιοποίησή τους στις διαδικασίες διαχείρισης του έργου.

4.3.3 Ανάπτυξη των Αρχιτεκτονικών Στοιχείων

Μετά την οργάνωση της βασικής παραμετρικής δομής του έργου ακολούθησε η ανάπτυξη των δομικών και αρχιτεκτονικών στοιχείων της κατοικίας. Η διαδικασία αυτή αποτέλεσε το κύριο στάδιο δημιουργίας του πληροφοριακού μοντέλου, καθώς μέσω αυτής αναπαραστάθηκε ψηφιακά το σύνολο της κατασκευής, ενσωματώνοντας τόσο τη γεωμετρία όσο και τις απαραίτητες τεχνικές πληροφορίες κάθε στοιχείου.

Η μοντελοποίηση πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τα εγκεκριμένα αρχιτεκτονικά σχέδια της κατοικίας, με στόχο την ακριβή αποτύπωση της πραγματικής κατασκευής. Κάθε δομικό στοιχείο δημιουργήθηκε ως ανεξάρτητο παραμετρικό αντικείμενο (parametric object), το οποίο διαθέτει ιδιότητες που αφορούν τη γεωμετρία, τις διαστάσεις, τα υλικά, τη θέση και τη σχέση του με τα υπόλοιπα στοιχεία του μοντέλου. Η προσέγγιση αυτή αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό της φιλοσοφίας του BIM και διαφοροποιεί ουσιαστικά την παραμετρική μοντελοποίηση από τη συμβατική σχεδίαση CAD, όπου τα στοιχεία αναπαρίστανται αποκλειστικά μέσω γραμμών και συμβόλων χωρίς πληροφοριακό περιεχόμενο (Eastman et al., 2018).

Αρχικά αναπτύχθηκαν οι εξωτερικές και εσωτερικές τοιχοποιίες, σύμφωνα με τη γεωμετρία και τις διαστάσεις της αρχιτεκτονικής μελέτης. Στη συνέχεια μοντελοποιήθηκαν οι πλάκες δαπέδου, τα δομικά στοιχεία της στέγης και οι επιμέρους κατασκευαστικές λεπτομέρειες, με τρόπο που να διασφαλίζεται η γεωμετρική συνέχεια και η ορθή σύνδεση μεταξύ όλων των στοιχείων του κτιρίου. Η χρήση παραμετρικών αντικειμένων επέτρεψε τη δυναμική διασύνδεση των στοιχείων, με αποτέλεσμα οποιαδήποτε τροποποίηση να ενημερώνει αυτόματα το σύνολο του μοντέλου και της παραγόμενης τεχνικής τεκμηρίωσης.

Στη συνέχεια ενσωματώθηκαν τα αρχιτεκτονικά ανοίγματα της κατοικίας, όπως θύρες και παράθυρα, μέσω παραμετρικών οικογενειών (Families). Κάθε οικογένεια περιλαμβάνει προκαθορισμένα γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά, όπως διαστάσεις, τύπο κατασκευής και θέση εγκατάστασης, επιτρέποντας την ομοιόμορφη διαχείριση όλων των ανοιγμάτων του έργου. Η χρήση των Families συμβάλλει σημαντικά στην τυποποίηση των στοιχείων, στη μείωση των σφαλμάτων και στην αποτελεσματική διαχείριση των πληροφοριών του μοντέλου (Autodesk, 2024).

Ιδιαίτερη σημασία δόθηκε επίσης στη δημιουργία των λειτουργικών χώρων (Rooms), οι οποίοι δεν αποτελούν απλώς γεωμετρικές περιοχές αλλά πληροφοριακές οντότητες του BIM μοντέλου. Μέσω των χώρων κατέστη δυνατή η αυτόματη εξαγωγή δεδομένων, όπως επιφάνειες, περίμετροι και λοιπά

χωρικά χαρακτηριστικά, τα οποία αξιοποιούνται τόσο για την τεχνική τεκμηρίωση όσο και για την περαιτέρω διαχείριση του έργου. Η πληροφορία αυτή παραμένει διαρκώς συνδεδεμένη με το μοντέλο και ενημερώνεται αυτόματα σε κάθε μεταβολή της γεωμετρίας.

Κατά τη διάρκεια της μοντελοποίησης δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στη γεωμετρική συνέπεια μεταξύ όλων των δομικών στοιχείων. Η ακριβής σύνδεση τοιχοποιιών, δαπέδων, στεγών και ανοιγμάτων διασφάλισε ότι το πληροφοριακό μοντέλο αποδίδει με πιστότητα την πραγματική κατασκευή, ενώ παράλληλα παρέχει τη δυνατότητα παραγωγής αξιόπιστων κατόψεων, όψεων, τομών και τρισδιάστατων απεικονίσεων χωρίς την ανάγκη ξεχωριστής σχεδίασης κάθε παραδοτέου.

Η ολοκλήρωση της παραμετρικής μοντελοποίησης αποτέλεσε το σημείο μετάβασης από τη γεωμετρική αναπαράσταση του έργου στη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου πληροφοριακού μοντέλου. Σε αυτό το στάδιο, κάθε δομικό στοιχείο της κατοικίας δεν λειτουργεί πλέον ως απλή σχεδιαστική οντότητα, αλλά ως φορέας τεχνικών πληροφοριών που μπορούν να αξιοποιηθούν σε όλα τα επόμενα στάδια του κύκλου ζωής του έργου, από την παραγωγή τεχνικής τεκμηρίωσης έως την επιμέτρηση, την κοστολόγηση και τη διαχείριση της κατασκευής (ISO 19650-1, 2018).

4.3.4 Δημιουργία της Στέγης

Η δημιουργία της στέγης αποτέλεσε ένα από τα σημαντικότερα στάδια της ανάπτυξης του BIM μοντέλου, καθώς πρόκειται για βασικό μορφολογικό στοιχείο της κατοικίας που επηρεάζει τόσο την αρχιτεκτονική της εικόνα όσο και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κτιρίου.

Σύμφωνα με την αρχιτεκτονική μελέτη, η κατοικία καλύπτεται από κεκλιμένη ξύλινη στέγη με επικάλυψη κεραμιδιών, η οποία διαμορφώνεται σύμφωνα με τη γεωμετρία της κάτοψης και τις απαιτήσεις της λειτουργικής και αισθητικής σύνθεσης του έργου. Η συνολική επιφάνεια της στέγης ανέρχεται σε 221,18 m².

Η ανάπτυξη της στέγης στο Autodesk Revit πραγματοποιήθηκε με βάση τα διαθέσιμα αρχιτεκτονικά σχέδια και τις αντίστοιχες τομές της μελέτης. Αρχικά καθορίστηκαν τα όρια της στέγης και στη συνέχεια αποδόθηκαν οι απαραίτητες κλίσεις ώστε να προσεγγιστεί με ακρίβεια η μορφή της πραγματικής κατασκευής.

Η παραμετρική φύση του BIM μοντέλου επέτρεψε τη συσχέτιση της στέγης με τα υπόλοιπα δομικά στοιχεία της κατοικίας. Ως αποτέλεσμα, οποιαδήποτε μεταβολή στη γεωμετρία του μοντέλου

μπορούσε να ενημερώνει αυτόματα τα παραγόμενα σχέδια, τις όψεις, τις τομές και τις ποσότητες που σχετίζονται με το συγκεκριμένο στοιχείο.

Η μοντελοποίηση της στέγης συνέβαλε σημαντικά στη ρεαλιστική απεικόνιση του έργου και στη βελτίωση της συνολικής ποιότητας του BIM μοντέλου, καθώς επέτρεψε την ακριβή αναπαράσταση της τελικής μορφής της κατοικίας και τη δημιουργία ολοκληρωμένων τρισδιάστατων απεικονίσεων.

4.3.5 Παραγωγή Όψεων, Τομών και Τρισδιάστατων Απεικονίσεων

Μετά την ολοκλήρωση της μοντελοποίησης των βασικών αρχιτεκτονικών στοιχείων, το BIM μοντέλο αξιοποιήθηκε για την παραγωγή των απαραίτητων σχεδίων και απεικονίσεων του έργου. Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα της μεθοδολογίας BIM είναι η δυνατότητα αυτόματης παραγωγής τεχνικής τεκμηρίωσης από το ίδιο το μοντέλο, χωρίς να απαιτείται η ξεχωριστή σχεδίαση κάθε επιμέρους σχεδίου.

Από το αναπτυγμένο μοντέλο παρήχθησαν κατόψεις, όψεις και τομές, οι οποίες ενημερώνονταν αυτόματα σε κάθε τροποποίηση της γεωμετρίας ή των χαρακτηριστικών των δομικών στοιχείων. Η διαδικασία αυτή συνέβαλε σημαντικά στη διασφάλιση της συνέπειας των πληροφοριών και στη μείωση της πιθανότητας εμφάνισης σφαλμάτων μεταξύ διαφορετικών σχεδίων.

Παράλληλα, αξιοποιήθηκαν οι δυνατότητες τρισδιάστατης απεικόνισης του Revit για τη δημιουργία προοπτικών εικόνων και τρισδιάστατων προβολών της κατοικίας. Οι απεικονίσεις αυτές διευκόλυναν την κατανόηση της μορφής του κτιρίου και επέτρεψαν την πληρέστερη παρουσίαση του έργου σε σχέση με τα συμβατικά δισδιάστατα σχέδια.

Η παραγωγή σχεδίων και τρισδιάστατων απεικονίσεων επιβεβαίωσε στην πράξη ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του BIM, δηλαδή την ύπαρξη ενός ενιαίου ψηφιακού μοντέλου από το οποίο προκύπτουν όλες οι απαραίτητες πληροφορίες και τα παραδοτέα του έργου.

4.3.6 Παραγωγή Τεχνικής Τεκμηρίωσης και Τρισδιάστατων Απεικονίσεων

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της μεθοδολογίας Building Information Modeling (BIM) είναι ότι όλα τα παραδοτέα της μελέτης προέρχονται από ένα ενιαίο πληροφοριακό μοντέλο. Σε αντίθεση με τις συμβατικές διαδικασίες σχεδιασμού, όπου κάθε κάτοψη, όψη ή τομή αναπτύσσεται

ως ανεξάρτητο σχέδιο, στο περιβάλλον BIM όλες οι προβολές αποτελούν διαφορετικές απεικονίσεις του ίδιου ψηφιακού μοντέλου. Ως αποτέλεσμα, οποιαδήποτε τροποποίηση πραγματοποιείται σε ένα δομικό στοιχείο ενημερώνει αυτόματα το σύνολο της τεχνικής τεκμηρίωσης, εξασφαλίζοντας την απόλυτη συνέπεια μεταξύ όλων των παραδοτέων (Eastman et al., 2018).

Μετά την ολοκλήρωση της παραμετρικής μοντελοποίησης δημιουργήθηκαν όλες οι απαιτούμενες αρχιτεκτονικές προβολές της κατοικίας, συμπεριλαμβανομένων των κατόψεων, των όψεων, των τομών και των τρισδιάστατων απεικονίσεων. Η παραγωγή τους πραγματοποιήθηκε χωρίς επανασχεδίαση, καθώς κάθε σχέδιο προέκυψε αυτόματα από το ίδιο πληροφοριακό μοντέλο. Η διαδικασία αυτή μειώνει σημαντικά την πιθανότητα σφαλμάτων που συχνά εμφανίζονται κατά τη χειροκίνητη ενημέρωση των σχεδίων στις παραδοσιακές μεθόδους CAD.

Η κάτοψη του ισογείου αποτέλεσε το βασικό σχέδιο αναφοράς του έργου, αποτυπώνοντας τη χωρική οργάνωση της κατοικίας, τις λειτουργικές σχέσεις των επιμέρους χώρων και τη θέση όλων των δομικών και αρχιτεκτονικών στοιχείων. Παράλληλα, η κάτοψη της στέγης επέτρεψε την πλήρη απεικόνιση της γεωμετρίας της τετράρριχτης κεραμοσκεπής, συμβάλλοντας στην ολοκληρωμένη κατανόηση της μορφολογίας του κτιρίου.

Οι όψεις του κτιρίου δημιουργήθηκαν επίσης απευθείας από το πληροφοριακό μοντέλο και αποτυπώνουν με ακρίβεια τη μορφολογία, τις αναλογίες και τα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά της κατοικίας. Η αυτόματη ενημέρωσή τους μετά από κάθε τροποποίηση του μοντέλου αποτελεί βασικό πλεονέκτημα της παραμετρικής προσέγγισης, καθώς εξαλείφει την ανάγκη ξεχωριστής επεξεργασίας κάθε σχεδίου.

Αντίστοιχα, οι τομές του κτιρίου παρήχθησαν δυναμικά από το μοντέλο και χρησιμοποιήθηκαν για την απεικόνιση των υψομετρικών σχέσεων, της εσωτερικής διάρθρωσης των χώρων και της δομικής σύνθεσης της κατασκευής. Μέσω των τομών κατέστη δυνατή η επαλήθευση της γεωμετρικής συνέπειας του μοντέλου, καθώς και η επιβεβαίωση της ορθής σύνδεσης των επιμέρους δομικών στοιχείων.

Πέραν των συμβατικών σχεδίων, το πληροφοριακό μοντέλο παρείχε τη δυνατότητα παραγωγής τρισδιάστατων απεικονίσεων υψηλής ακρίβειας, οι οποίες διευκολύνουν την οπτική κατανόηση της κατασκευής και επιτρέπουν την πληρέστερη αξιολόγηση της αρχιτεκτονικής σύνθεσης ήδη από τα πρώτα στάδια του σχεδιασμού. Οι τρισδιάστατες προβολές αποτελούν ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο τόσο για τον μελετητή όσο και για τους υπόλοιπους εμπλεκόμενους φορείς του έργου, καθώς

διευκολύνουν την επικοινωνία των σχεδιαστικών επιλογών και συμβάλλουν στον έγκαιρο εντοπισμό πιθανών ασυμβατοτήτων πριν από την έναρξη της κατασκευής (Succar, 2009).

Η δυνατότητα αυτόματης παραγωγής όλων των παραπάνω παραδοτέων από ένα μοναδικό πληροφοριακό μοντέλο αποτελεί μία από τις σημαντικότερες διαφοροποιήσεις της τεχνολογίας BIM σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους σχεδιασμού. Η ενιαία αυτή φιλοσοφία διαχείρισης της πληροφορίας διασφαλίζει υψηλό επίπεδο ακρίβειας, περιορίζει σημαντικά τον χρόνο ενημέρωσης των σχεδίων και ενισχύει τη συνολική αξιοπιστία της μελέτης, δημιουργώντας παράλληλα τις απαραίτητες προϋποθέσεις για την αξιοποίηση των πληροφοριών στα επόμενα στάδια του κύκλου ζωής του έργου.

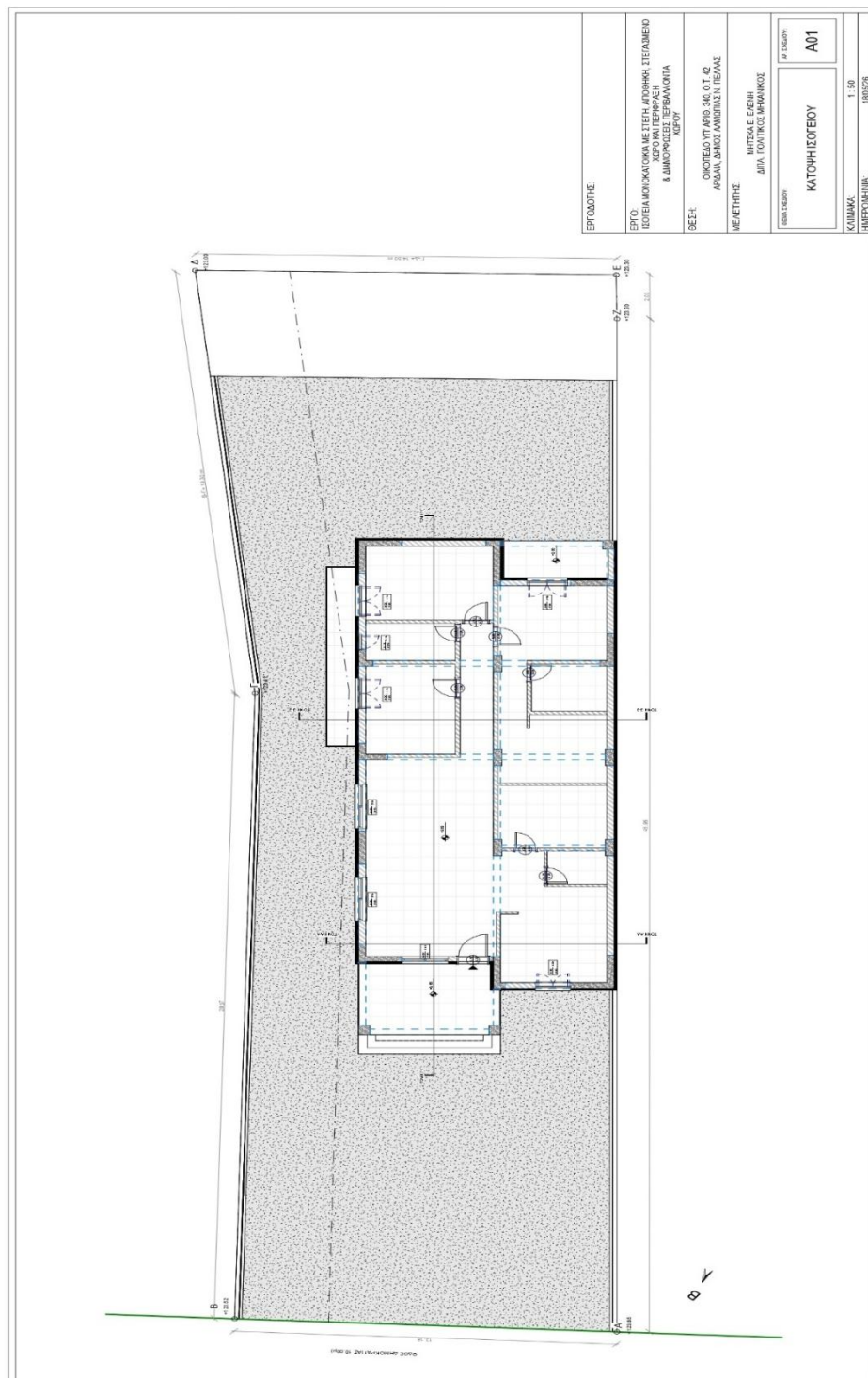
Σχήμα 4.2. Κάτοψη του πληροφοριακού μοντέλου της κατοικίας όπως αναπτύχθηκε στο Autodesk Revit.

Σχήμα 4.3. Κάτοψη του πληροφοριακού μοντέλου της στέγης της κατοικίας όπως αναπτύχθηκε στο Autodesk Revit

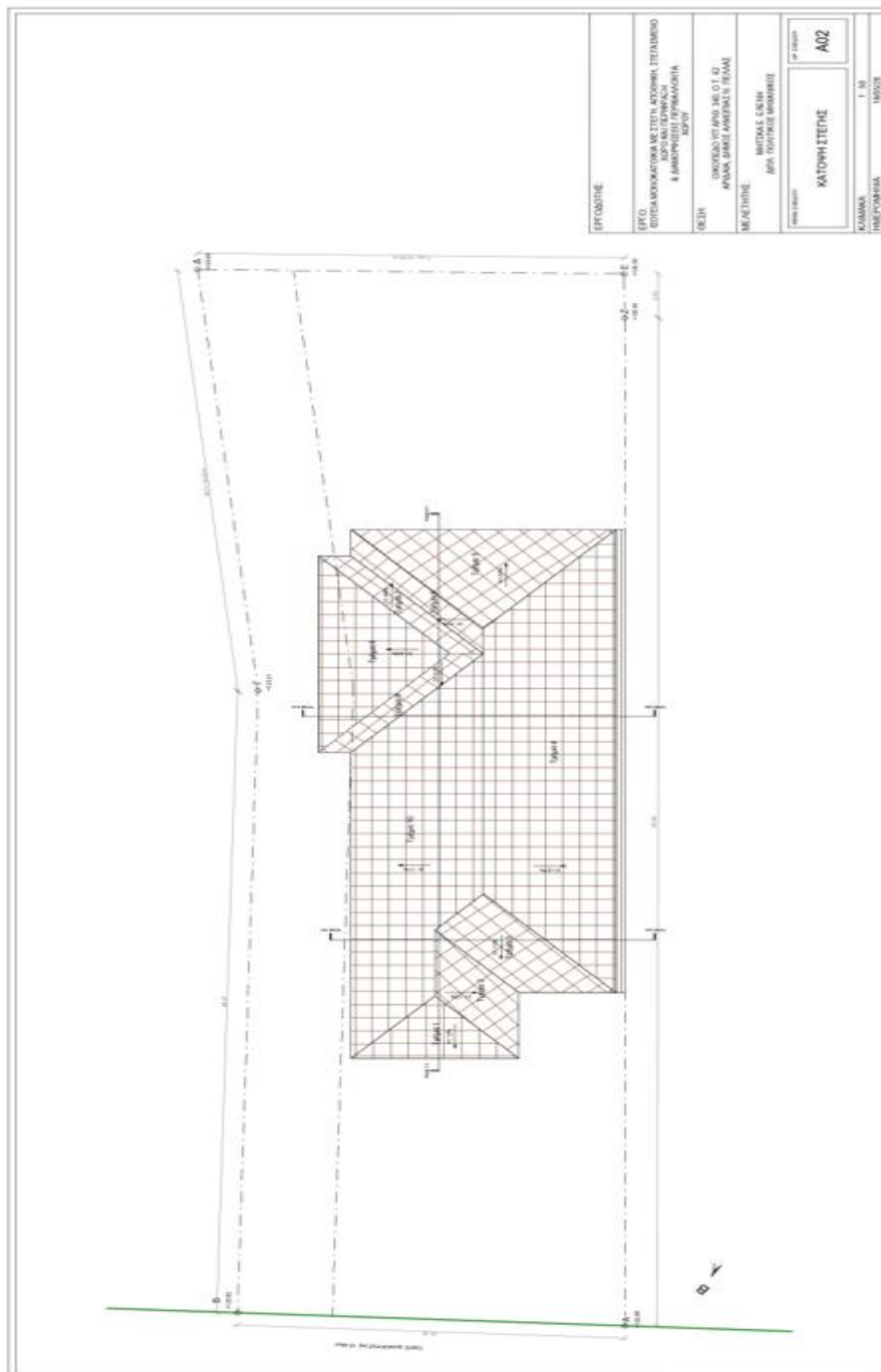
Σχήμα 4.3. Τομή του πληροφοριακού μοντέλου της κατοικίας όπως αναπτύχθηκε στο Autodesk Revit.

Σχήμα 4.4. Όψη του πληροφοριακού μοντέλου της κατοικίας όπως αναπτύχθηκε στο Autodesk Revit.

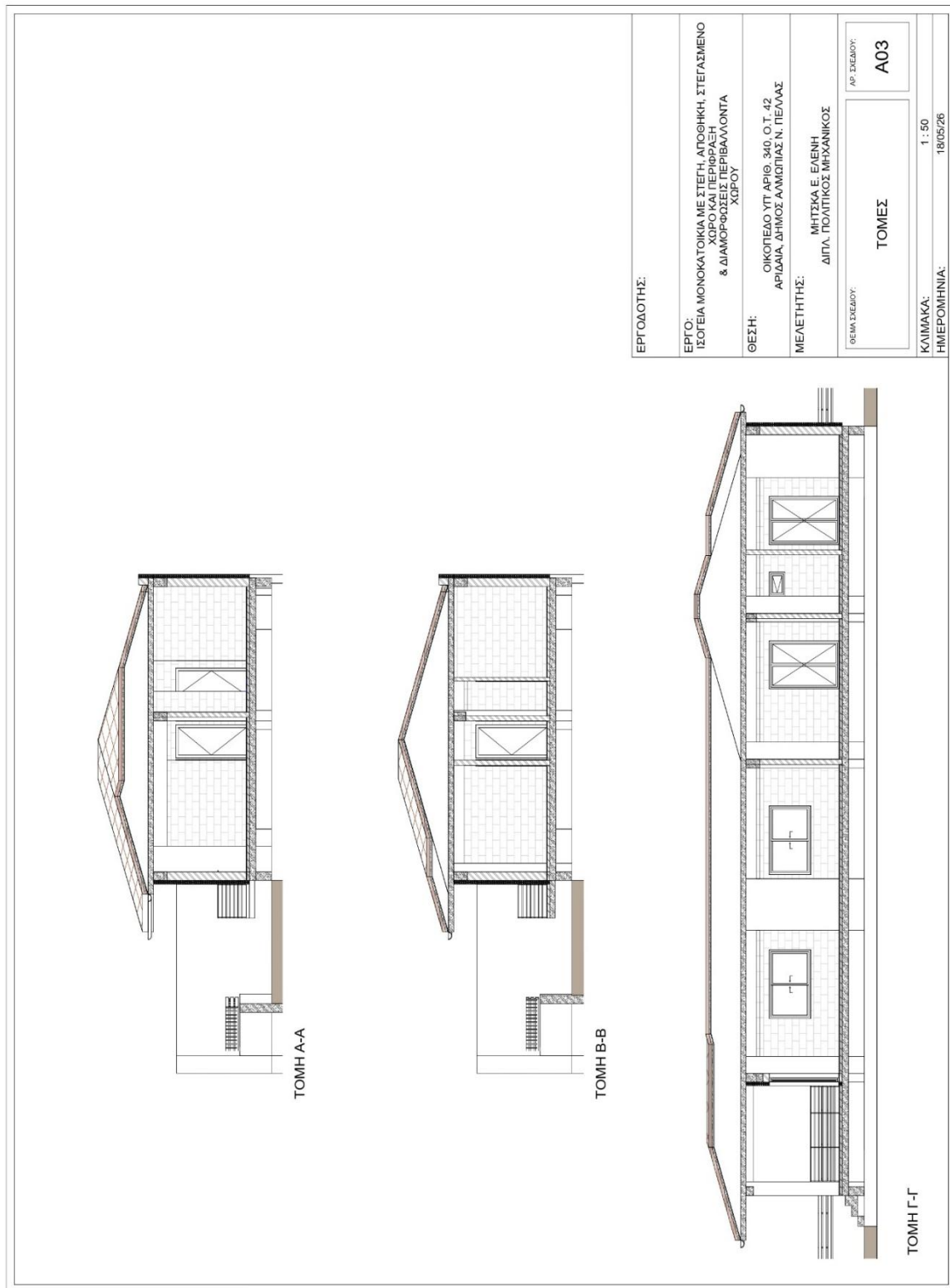
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΤΟΨΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΣΤΟ AUTODESK REVIT



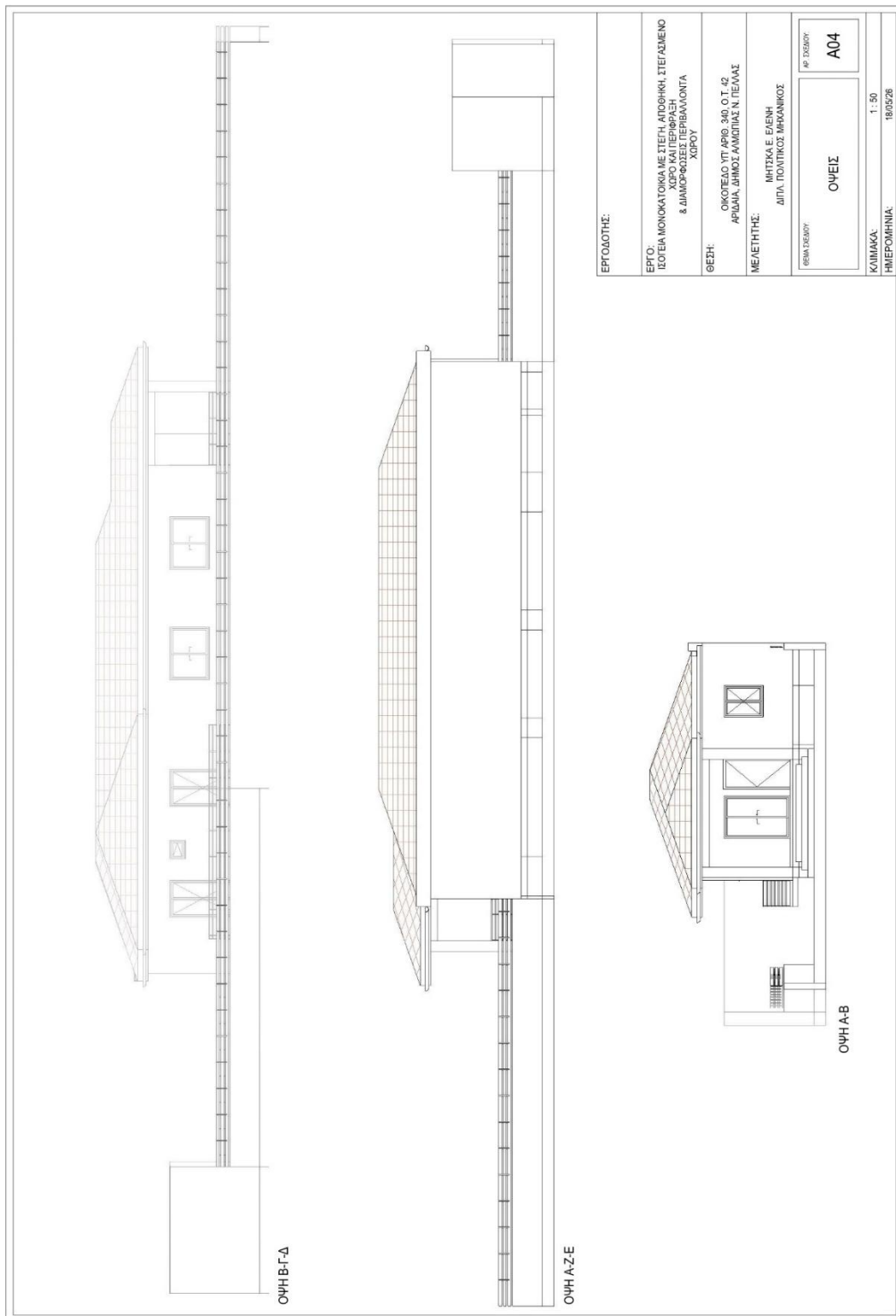
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΤΟΨΗΣ ΣΤΕΓΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΣΤΟ AUTODESK REVIT



ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΟΜΩΝ ΣΤΟ AUTODESK REVIT



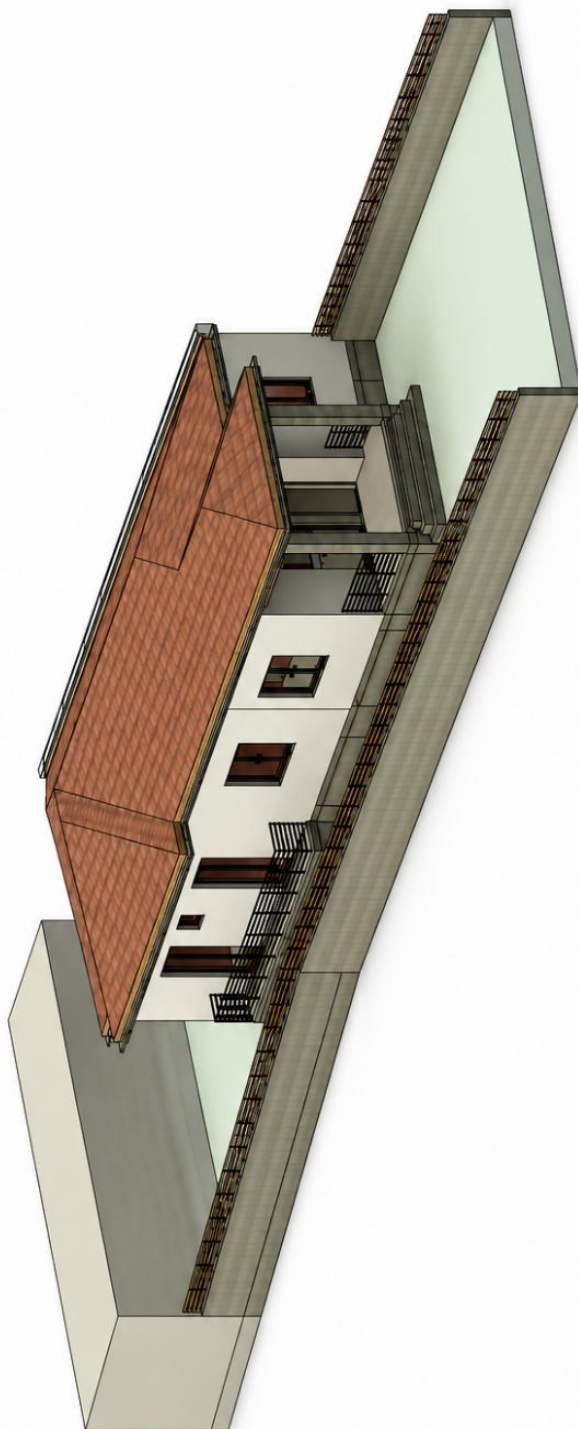
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΟΨΕΩΝ ΣΤΟ AUTODESK REVIT



Η ολοκληρωμένη τρισδιάστατη αναπαράσταση της κατοικίας παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.5, όπου αποτυπώνεται η συνολική γεωμετρία του μοντέλου όπως διαμορφώθηκε στο περιβάλλον του Autodesk Revit. Η συγκεκριμένη απεικόνιση αποτελεί τη βάση πάνω στην οποία αναπτύχθηκαν όλα τα επιμέρους αρχιτεκτονικά σχέδια και οι πληροφοριακές δομές που παρουσιάζονται στις αντίστοιχες ενότητες.

Σχήμα 4.5. Τρισδιάστατη άποψη του παραμετρικού BIM μοντέλου της μελέτης περίπτωσης, όπως αναπτύχθηκε στο Autodesk Revit.

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΣΤΟ AUTODESK REVIT



4.4 Οργάνωση της Πληροφορίας και Προετοιμασία για την Εξαγωγή Δεδομένων

Η ολοκλήρωση της παραμετρικής μοντελοποίησης δεν σηματοδοτεί το τέλος της διαδικασίας ανάπτυξης του πληροφοριακού μοντέλου, αλλά την έναρξη της αξιοποίησής του ως δυναμικής βάσης δεδομένων του έργου. Ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της τεχνολογίας Building Information Modeling (BIM) είναι ότι κάθε στοιχείο του μοντέλου λειτουργεί ταυτόχρονα ως γεωμετρική οντότητα και ως φορέας πληροφοριών. Η πληροφορία αυτή παραμένει διαρκώς συνδεδεμένη με το αντίστοιχο αντικείμενο και ενημερώνεται αυτόματα μετά από κάθε τροποποίηση, διατηρώντας τη συνέπεια και την αξιοπιστία όλων των δεδομένων του έργου (Eastman et al., 2018).

Στο πλαίσιο της παρούσας εφαρμογής οργανώθηκαν οι πληροφορίες όλων των βασικών δομικών και αρχιτεκτονικών στοιχείων της κατοικίας μέσω των παραμετρικών ιδιοτήτων (Parameters) του Autodesk Revit. Για κάθε κατηγορία στοιχείων αποδόθηκαν τα κατάλληλα χαρακτηριστικά που αφορούν τις γεωμετρικές διαστάσεις, τα υλικά, τις επιφάνειες, τους όγκους, καθώς και πρόσθετες πληροφορίες που σχετίζονται με τη διαχείριση της κατασκευής. Η διαδικασία αυτή επέτρεψε τη συγκέντρωση όλων των απαραίτητων δεδομένων σε ένα ενιαίο πληροφοριακό περιβάλλον, χωρίς την ανάγκη δημιουργίας ανεξάρτητων πινάκων ή εξωτερικών αρχείων.

Η πληροφοριακή οργάνωση του μοντέλου πραγματοποιήθηκε μέσω της δημιουργίας παραμετρικών πινάκων (Schedules), οι οποίοι αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία του BIM για την αυτόματη εξαγωγή δεδομένων. Σε αντίθεση με τους συμβατικούς πίνακες επιμετρήσεων, οι οποίοι συντάσσονται χειροκίνητα, οι πίνακες του BIM ενημερώνονται δυναμικά από το ίδιο το πληροφοριακό μοντέλο. Κάθε μεταβολή που πραγματοποιείται σε ένα στοιχείο της κατασκευής αντικατοπτρίζεται αυτόματα στους αντίστοιχους πίνακες, εξαλείφοντας τον κίνδυνο ασυμφωνιών μεταξύ σχεδίων και ποσοτικών δεδομένων (Autodesk, 2024).

Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης δημιουργήθηκαν πίνακες πληροφοριών που αφορούν τους χώρους, τα δάπεδα, τις τοιχοποιίες, τα κουφώματα, τις θύρες, τη θερμομόνωση, τα στοιχεία σκυροδέματος, τη στέγη, τις μαρμαροποδιές καθώς και τις επιφάνειες χρωματισμών. Η ανάπτυξη των συγκεκριμένων πινάκων δεν αποσκοπούσε μόνο στην παραγωγή ποσοτικών στοιχείων, αλλά κυρίως στην επίδειξη της δυνατότητας του πληροφοριακού μοντέλου να συγκεντρώνει, να οργανώνει και να διαχειρίζεται μεγάλο όγκο τεχνικών πληροφοριών μέσα από μία ενιαία ψηφιακή βάση δεδομένων.

Η αξιοποίηση των παραμετρικών πινάκων αποτελεί βασικό στοιχείο της φιλοσοφίας του BIM, καθώς μετατρέπει το πληροφοριακό μοντέλο από ένα απλό εργαλείο τρισδιάστατης αναπαράστασης σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης δεδομένων. Μέσω των Schedules καθίσταται δυνατή η άμεση εξαγωγή ποσοτήτων, η υποστήριξη διαδικασιών κοστολόγησης, η παρακολούθηση της κατασκευαστικής προόδου και η διασύνδεση των πληροφοριών με εφαρμογές χρονικού προγραμματισμού και διαχείρισης του έργου (Succar, 2009· ISO 19650-1, 2018).

Η οργάνωση των πληροφοριών που πραγματοποιήθηκε στο παρόν στάδιο αποτέλεσε τη βάση για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων της έρευνας. Μέσω του πληροφοριακού μοντέλου κατέστη δυνατή η αυτόματη παραγωγή ποσοτικών δεδομένων για όλα τα βασικά στοιχεία της κατοικίας, καθώς και η συγκέντρωση τεχνικών πληροφοριών που μπορούν να αξιοποιηθούν σε διαδικασίες επιμέτρησης, τεχνικής τεκμηρίωσης και διαχείρισης του έργου.

Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθοδολογίας BIM στη μελέτη περίπτωσης. Ειδικότερα, αναλύονται οι πίνακες πληροφοριών που δημιουργήθηκαν στο πληροφοριακό μοντέλο, αξιολογούνται οι δυνατότητες εξαγωγής ποσοτικών δεδομένων και εξετάζεται ο τρόπος με τον οποίο η τεχνολογία BIM μπορεί να υποστηρίξει αποτελεσματικότερα τον σχεδιασμό, την επιμέτρηση και τη διαχείριση ενός κτιριακού έργου.

4.5 Κριτική Αποτίμηση της Διαδικασίας Ανάπτυξης του BIM Μοντέλου

Η εφαρμογή της μεθοδολογίας Building Information Modeling (BIM) στη συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης ανέδειξε στην πράξη τις δυνατότητες αλλά και τις απαιτήσεις που συνοδεύουν την ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου πληροφοριακού μοντέλου. Η διαδικασία μοντελοποίησης δεν περιορίστηκε στη δημιουργία μίας τρισδιάστατης γεωμετρικής αναπαράστασης της κατοικίας, αλλά εξελίχθηκε στη συγκρότηση μιας ενιαίας ψηφιακής βάσης δεδομένων, μέσα στην οποία κάθε δομικό στοιχείο συνδέεται με τεχνικές, γεωμετρικές και λειτουργικές πληροφορίες.

Κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του μοντέλου διαπιστώθηκε ότι η επιτυχής εφαρμογή της μεθοδολογίας BIM εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα των αρχικών δεδομένων και από τη σωστή οργάνωση του πληροφοριακού περιβάλλοντος ήδη από τα πρώτα στάδια της μοντελοποίησης.

Η ορθή δημιουργία των επιπέδων αναφοράς, η συνεπής χρήση παραμετρικών οικογενειών και η συστηματική οργάνωση των ιδιοτήτων κάθε στοιχείου αποδείχθηκαν καθοριστικοί παράγοντες για τη διατήρηση της συνοχής του μοντέλου και την αξιοπιστία των παραγόμενων δεδομένων.

Παράλληλα, η ανάπτυξη του πληροφοριακού μοντέλου ανέδειξε ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας BIM: τη δυνατότητα αυτόματης ενημέρωσης όλων των σχεδίων και των πληροφοριών μετά από οποιαδήποτε τροποποίηση της γεωμετρίας. Η λειτουργία αυτή περιορίζει σημαντικά την πιθανότητα ασυμφωνιών μεταξύ των επιμέρους παραδοτέων και μειώνει τον χρόνο που απαιτείται για την αναθεώρηση της μελέτης, προσφέροντας σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις παραδοσιακές διαδικασίες σχεδιασμού που βασίζονται αποκλειστικά στη δισδιάστατη σχεδίαση CAD (Eastman et al., 2018).

Ιδιαίτερα σημαντική αποδείχθηκε και η δυνατότητα οργάνωσης της πληροφορίας μέσω παραμετρικών πινάκων (Schedules). Η αυτόματη εξαγωγή επιφανειών, ποσοτήτων και λοιπών τεχνικών χαρακτηριστικών επιβεβαίωσε ότι το πληροφοριακό μοντέλο μπορεί να αποτελέσει ένα αποτελεσματικό εργαλείο υποστήριξης όχι μόνο του σχεδιασμού αλλά και της επιμέτρησης, της τεχνικής τεκμηρίωσης και της διαχείρισης του έργου. Με τον τρόπο αυτό, το BIM λειτουργεί ως κοινή πηγή αξιόπιστων δεδομένων για όλους τους εμπλεκόμενους φορείς, ενισχύοντας τη συνεργασία και μειώνοντας την πιθανότητα λαθών κατά την εξέλιξη του έργου (ISO 19650-1, 2018).

Ωστόσο, η εφαρμογή της μεθοδολογίας ανέδειξε και ορισμένες πρακτικές απαιτήσεις. Η ανάπτυξη ενός αξιόπιστου πληροφοριακού μοντέλου προϋποθέτει επαρκή γνώση του λογισμικού, συστηματική οργάνωση των δεδομένων και αυξημένο χρόνο κατά τα αρχικά στάδια της μοντελοποίησης. Παρόλα αυτά, η επιπλέον αυτή προσπάθεια αντισταθμίζεται από τα σημαντικά οφέλη που προκύπτουν στα επόμενα στάδια του κύκλου ζωής του έργου, όπου η διαχείριση των πληροφοριών πραγματοποιείται με μεγαλύτερη ταχύτητα, ακρίβεια και αξιοπιστία.

Συνολικά, η εφαρμογή της μεθοδολογίας στη συγκεκριμένη κατοικία απέδειξε ότι ακόμη και σε έργα σχετικά περιορισμένης κλίμακας, η αξιοποίηση του BIM μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την οργάνωση της τεχνικής πληροφορίας, να αυτοματοποιήσει την παραγωγή των παραδοτέων και να δημιουργήσει ένα αξιόπιστο πληροφοριακό υπόβαθρο για την υποστήριξη των διαδικασιών σχεδιασμού και διαχείρισης. Τα ποσοτικά και ποιοτικά δεδομένα που προέκυψαν από το πληροφοριακό μοντέλο παρουσιάζονται και αξιολογούνται αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο:

Αποτελέσματα και Αξιολόγηση της Εφαρμογής του BIM

5.1 Εισαγωγή

Η ανάπτυξη του πληροφοριακού μοντέλου της κατοικίας δημιούργησε ένα ολοκληρωμένο ψηφιακό περιβάλλον, μέσα από το οποίο κατέστη δυνατή η αυτόματη παραγωγή γεωμετρικών, ποσοτικών και τεχνικών δεδομένων που αφορούν το σύνολο της κατασκευής. Σε αντίθεση με τις συμβατικές διαδικασίες σχεδιασμού, όπου οι επιμετρήσεις και οι τεχνικοί πίνακες συντάσσονται ανεξάρτητα από τα σχέδια, στο περιβάλλον Building Information Modeling (BIM) όλες οι πληροφορίες παράγονται απευθείας από το ίδιο πληροφοριακό μοντέλο, διατηρώντας απόλυτη συνέπεια μεταξύ γεωμετρίας και δεδομένων (Eastman et al., 2018).

Η δυνατότητα αυτή αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της μεθοδολογίας BIM, καθώς μετατρέπει το ψηφιακό μοντέλο από μέσο τρισδιάστατης αναπαράστασης σε εργαλείο διαχείρισης πληροφοριών καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του έργου. Οι πληροφορίες που παράγονται μπορούν να αξιοποιηθούν τόσο κατά τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό όσο και σε επόμενα στάδια, όπως η επιμέτρηση, η κοστολόγηση, ο χρονικός προγραμματισμός και η διαχείριση της κατασκευής (ISO 19650-1, 2018).

Στο πλαίσιο της παρούσας εφαρμογής αναπτύχθηκαν παραμετρικοί πίνακες (Schedules) για όλες τις βασικές κατηγορίες στοιχείων της κατοικίας, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται οι χώροι, τα δάπεδα, οι τοιχοποιίες, τα κουφώματα, οι θύρες, η θερμομόνωση, τα στοιχεία σκυροδέματος, η στέγη, οι μαρμαροποδιές και οι επιφάνειες χρωματισμών. Οι πίνακες αυτοί ενημερώνονται δυναμικά από το πληροφοριακό μοντέλο και αποτυπώνουν σε πραγματικό χρόνο τις μεταβολές που πραγματοποιούνται κατά τη διαδικασία της μοντελοποίησης.

Σκοπός του παρόντος κεφαλαίου είναι η παρουσίαση και η αξιολόγηση των δεδομένων που προέκυψαν από το πληροφοριακό μοντέλο, καθώς και η διερεύνηση της συμβολής της τεχνολογίας BIM στην οργάνωση της τεχνικής πληροφορίας και στη διαχείριση ενός πραγματικού κτιριακού έργου. Η ανάλυση δεν περιορίζεται στην παρουσίαση των παραγόμενων ποσοτήτων, αλλά επεκτείνεται στην ερμηνεία της χρησιμότητάς τους και στη διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο μπορούν να υποστηρίξουν αποτελεσματικότερα τις διαδικασίες σχεδιασμού, επιμέτρησης και λήψης τεχνικών αποφάσεων.

5.2 Παραγωγή και Αξιολόγηση των Ποσοτικών Δεδομένων του BIM Μοντέλου

Η ολοκλήρωση του πληροφοριακού μοντέλου επέτρεψε την αυτόματη εξαγωγή ποσοτικών και τεχνικών δεδομένων για όλα τα βασικά στοιχεία της κατοικίας. Σε αντίθεση με τις συμβατικές διαδικασίες σχεδιασμού, όπου οι επιμετρήσεις πραγματοποιούνται ανεξάρτητα από τα σχέδια, στο περιβάλλον Building Information Modeling (BIM) οι ποσότητες παράγονται απευθείας από το ίδιο το πληροφοριακό μοντέλο. Ως αποτέλεσμα, κάθε μεταβολή στη γεωμετρία ή στα χαρακτηριστικά ενός στοιχείου ενημερώνει αυτόματα τα αντίστοιχα ποσοτικά δεδομένα, διατηρώντας πλήρη συνέπεια μεταξύ σχεδίων, ποσοτήτων και τεχνικής τεκμηρίωσης (Eastman et al., 2018).

Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης οργανώθηκαν οι πληροφορίες του μοντέλου σε θεματικούς παραμετρικούς πίνακες (Schedules), οι οποίοι συγκεντρώνουν τα δεδομένα των επιμέρους κατηγοριών στοιχείων του έργου. Η συγκεκριμένη οργάνωση επιτρέπει όχι μόνο την άμεση επιμέτρηση της κατασκευής αλλά και την αξιοποίηση των δεδομένων για διαδικασίες χρονικού προγραμματισμού και προκαταρκτικής εκτίμησης κόστους. Με τον τρόπο αυτό, το πληροφοριακό μοντέλο λειτουργεί ως ενιαία βάση δεδομένων του έργου και υποστηρίζει αποτελεσματικά τις διαδικασίες λήψης τεχνικών αποφάσεων.

Η πρώτη κατηγορία πληροφοριών που εξήχθη από το μοντέλο αφορά τη χωρική οργάνωση της κατοικίας. Μέσω των παραμετρικών χώρων (Rooms) καταγράφηκαν αυτόματα τα βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά κάθε λειτουργικού χώρου, όπως η επιφάνεια και η περίμετρος, δημιουργώντας μία αξιόπιστη βάση δεδομένων που μπορεί να αξιοποιηθεί τόσο για την τεχνική τεκμηρίωση όσο και για τον έλεγχο της λειτουργικής οργάνωσης του κτιρίου.

Πίνακας 5.1. Παραμετρικός πίνακας χώρων του πληροφοριακού μοντέλου.

Χώροι		
Χώρος	Επιφάνεια	Εμβαδόν Εσωτερικών περιμετρικών τοίχων
Καθιστικό	46.99 m ²	39.20
Κουζίνα	18.61 m ²	20.71
Master Υπνοδωμάτιο	14.96 m ²	19.17
Υπνοδωμάτιο 2	14.75 m ²	15.50
Υπνοδωμάτιο 1	12.68 m ²	14.40
Βεστιάριο	11.61 m ²	15.66
Laundry	10.64 m ²	13.22
Master Λουτρό	5.56 m ²	9.50
Λουτρό	5.27 m ²	9.60
Pantry	3.07 m ²	7.11
Σύνολο	144.15 m ²	164.06

Έλενα Μήτσκα	Πίνακας/Schedule:		ΠΙΝΑΚΑΣ ΧΩΡΩΝ ΟΙΚΟΠΕΔΟ ΥΠ' ΑΡΙΘ. 340, Ο.Τ. 42 ΑΡΙΔΑΙΑ, ΔΗΜΟΣ ΑΛΜΩΠΙΑΣ Ν. ΠΕΛΛΑΣ	Ημερομηνία: 22/05/2026
	Αρ. Πίνακα: Π1	Έργο:		

Η ανάλυση του πίνακα δείχνει ότι το πληροφοριακό μοντέλο καταγράφει αυτόματα τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά κάθε χώρου, χωρίς να απαιτείται χειροκίνητη επιμέτρηση. Η δυνατότητα αυτή εξασφαλίζει υψηλό επίπεδο αξιοπιστίας, καθώς οποιαδήποτε τροποποίηση στη γεωμετρία του μοντέλου ενημερώνει αυτόματα τις επιφάνειες και τις περιμέτρους των χώρων. Επιπλέον, η συγκέντρωση των δεδομένων σε έναν ενιαίο πίνακα διευκολύνει τον έλεγχο της μελέτης και δημιουργεί τη βάση για τις επιμέρους επιμετρήσεις που παρουσιάζονται στις επόμενες ενότητες.

Η αυτόματη παραγωγή των παραπάνω δεδομένων αναδεικνύει μία από τις σημαντικότερες διαφορές της τεχνολογίας BIM σε σχέση με τις παραδοσιακές διαδικασίες CAD. Ενώ στις συμβατικές μεθόδους οι επιμετρήσεις πραγματοποιούνται ανεξάρτητα από τα σχέδια, στο BIM οι πληροφορίες αποτελούν αναπόσπαστο μέρος του ίδιου του πληροφοριακού μοντέλου. Η προσέγγιση αυτή περιορίζει σημαντικά την πιθανότητα σφαλμάτων, επιταχύνει τη διαδικασία ενημέρωσης των δεδομένων και δημιουργεί μία αξιόπιστη βάση πληροφορίας που μπορεί να αξιοποιηθεί σε όλα τα επόμενα στάδια του κύκλου ζωής του έργου (ISO 19650-1, 2018).

5.3 Αξιοποίηση του BIM για την Επιμέτρηση, τον Χρονικό Προγραμματισμό και την Εκτίμηση Κόστους των Δομικών Στοιχείων

Η παραμετρική οργάνωση του πληροφοριακού μοντέλου επέτρεψε την αυτόματη εξαγωγή ποσοτικών δεδομένων για τα βασικά δομικά στοιχεία της κατοικίας, όπως το σκυρόδεμα, οι τοιχοποιίες και η στέγη. Πέρα από τη γεωμετρική αποτύπωση των στοιχείων αυτών, το μοντέλο εμπλουτίστηκε με πρόσθετες παραμέτρους που αφορούν τον ρυθμό παραγωγής, τον απαιτούμενο χρόνο ολοκλήρωσης και το κόστος των επιμέρους εργασιών. Με τον τρόπο αυτό, το πληροφοριακό μοντέλο δεν περιορίζεται στην παραγωγή επιμετρήσεων, αλλά επεκτείνεται στην υποστήριξη βασικών διαδικασιών προγραμματισμού και διαχείρισης του έργου.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι παράμετροι που αφορούν τον ρυθμό παραγωγής, τον χρόνο ολοκλήρωσης και το κόστος δεν αποτελούν δεδομένα που υπολογίζονται αυτόματα από το Autodesk Revit. Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης εισήχθησαν ως προσαρμοσμένες παραμετρικές ιδιότητες (custom parameters), βασισμένες σε ενδεικτικές τιμές παραγωγικότητας και μοναδιαίου κόστους, με σκοπό να διερευνηθεί η δυνατότητα αξιοποίησης του BIM ως εργαλείου υποστήριξης της διαχείρισης τεχνικών έργων. Η προσέγγιση αυτή είναι απολύτως συμβατή με τη φιλοσοφία του BIM, σύμφωνα με την οποία το πληροφοριακό μοντέλο μπορεί να εμπλουτίζεται με πρόσθετα δεδομένα ανάλογα με τις ανάγκες κάθε έργου.

Πίνακας 5.2. Επιμέτρηση δομικών στοιχείων και ενσωμάτωση παραμέτρων χρόνου και κόστους.

Σκυρόδεμα						
Τύπος	Επιφάνεια	Όγκος	Ρυθμός παραγωγής (Ανά ημέρα)	Χρόνος Ολοκλήρωσης	Κόστος Παραγωγής	Κόστος Εργασίας
Floors	419.27 m²	76.95 m³	125.00	3.35	120.00	50312.28€
Stairs	14.94 m²	1.10 m³	125.00	0.12	120.00	1792.84€
Stairs: Runs	14.94 m²	1.10 m³		0.00		0.00€
Structural Columns	230.49 m²	23.52 m³	125.00	1.84	120.00	27659.33€
Structural Framing	111.90 m²	8.09 m³	125.00	0.90	120.00	13428.08€
Walls	115.01 m²	28.75 m³	125.00	0.92	120.00	13801.40€
Σύνολο:	906.56 m²	139.51 m³		7.13		106993.92€

Στέγη					
Τμήμα στέγης	Επιφάνεια	Ρυθμός παραγωγής (Ανά ημέρα)	Χρόνος Ολοκλήρωσης	Κόστος Παραγωγής	Κόστος εργασίας
Τμήμα 1	8.51 m²	25.00	0.34	90.00	765.611€
Τμήμα 2	8.95 m²	25.00	0.36	90.00	805.809€
Τμήμα 3	12.72 m²	25.00	0.51	90.00	1144.513€
Τμήμα 4	78.33 m²	25.00	3.13	90.00	7049.539€
Τμήμα 5	21.25 m²	25.00	0.85	90.00	1912.444€
Τμήμα 6	5.52 m²	25.00	0.22	90.00	497.035€
Τμήμα 7	5.25 m²	25.00	0.21	90.00	472.334€
Τμήμα 8	20.88 m²	25.00	0.84	90.00	1878.873€
Τμήμα 9	5.30 m²	25.00	0.21	90.00	477.166€
Τμήμα 10	60.57 m²	25.00	2.42	90.00	5451.323€
Σύνολο	227.27 m²		9.09		20454.647€

Τοιχοποιία Τούβλα							
Τύπος	Τρέχον μέτρο	Επιφάνεια	Όγκος	Ρυθμός παραγωγής (Ανά ημέρα)	Χρόνος Ολοκλήρωσης	Κόστος Παραγωγής	Κόστος Εργασίας
Τούβλο 100mm	8.91	24.33 m²	2.43 m³	25.00	0.97	40.00	973.04€
Τούβλο 150mm	38.85	105.90 m²	15.88 m³	25.00	4.24	40.00	4235.88€
Τούβλο 200mm	1.35	4.24 m²	0.85 m³	25.00	0.17	40.00	169.68€
Τούβλο 200mm	21.10	9.92 m²	2.31 m³	25.00	0.40	40.00	396.73€
Τούβλο 250mm	39.71	97.88 m²	31.48 m³	25.00	3.92	40.00	3915.22€
Σύνολο	109.92	242.26 m²	52.95 m³		9.69		9690.54€

Έλενα Μήτσκα	Πίνακας/Schedule:			ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ		Ημερομηνία: 22/05/2026
	Αρ. Πίνακα:	Έργο:		ΟΙΚΟΠΕΔΟ ΥΠ' ΑΡΙΘ. 340, Ο.Τ. 42		
	Π2			ΑΡΙΔΑΙΑ, ΔΗΜΟΣ ΑΛΜΩΠΙΑΣ Ν. ΠΕΛΛΑΣ		

Η ανάλυση του πίνακα καταδεικνύει ότι για κάθε κατηγορία δομικού στοιχείου είναι διαθέσιμες όχι μόνο οι γεωμετρικές ποσότητες (επιφάνειες και όγκοι), αλλά και πληροφορίες που σχετίζονται άμεσα με την οργάνωση της κατασκευαστικής διαδικασίας. Η συσχέτιση των ποσοτήτων με δείκτες παραγωγικότητας επιτρέπει την αυτόματη εκτίμηση του απαιτούμενου χρόνου εκτέλεσης, ενώ η ενσωμάτωση μοναδιαίων τιμών κόστους καθιστά δυνατή μία προκαταρκτική οικονομική προσέγγιση των εργασιών.

Η συγκεκριμένη δυνατότητα αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα μετάβασης από το τρισδιάστατο πληροφοριακό μοντέλο (3D BIM) σε εφαρμογές που υποστηρίζουν τον χρονικό προγραμματισμό (4D BIM) και την εκτίμηση κόστους (5D BIM). Παρότι στην παρούσα εργασία δεν αναπτύχθηκε πλήρες σύστημα διαχείρισης χρονοδιαγράμματος ή προϋπολογισμού, αποδεικνύεται ότι το ίδιο πληροφοριακό μοντέλο μπορεί να αποτελέσει τη βάση για την ανάπτυξη τέτοιων εφαρμογών, χωρίς να απαιτείται επανάληψη της διαδικασίας επιμέτρησης.

Η πρακτική αξία της προσέγγισης αυτής είναι ιδιαίτερα σημαντική κατά τις φάσεις προγραμματισμού και παρακολούθησης ενός έργου. Οποιαδήποτε μεταβολή στη γεωμετρία των δομικών στοιχείων ενημερώνει αυτόματα τις ποσότητες και, κατ' επέκταση, επηρεάζει τις αντίστοιχες εκτιμήσεις χρόνου και κόστους. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται σημαντικά η ανάγκη επαναλαμβανόμενων χειροκίνητων υπολογισμών, περιορίζεται η πιθανότητα λαθών και ενισχύεται η αξιοπιστία των δεδομένων που χρησιμοποιούνται για τη λήψη τεχνικών αποφάσεων.

Η εφαρμογή που παρουσιάζεται στη συγκεκριμένη μελέτη αποδεικνύει ότι ακόμη και σε ένα έργο περιορισμένης κλίμακας, όπως μία μονοκατοικία, η αξιοποίηση των παραμετρικών ιδιοτήτων του BIM μπορεί να υποστηρίξει αποτελεσματικά διαδικασίες που παραδοσιακά πραγματοποιούνται με ανεξάρτητα λογιστικά φύλλα ή χειροκίνητους υπολογισμούς. Η ενοποίηση όλων των πληροφοριών σε ένα ενιαίο πληροφοριακό μοντέλο ενισχύει τη διαφάνεια, τη συνέπεια και την αποτελεσματικότητα της διαχείρισης του έργου.

5.4 Αξιολόγηση Επενδύσεων και Επιστρώσεων μέσω Παραμετρικών Δεδομένων

Πέρα από τα βασικά δομικά στοιχεία, το πληροφοριακό μοντέλο αξιοποιήθηκε και για την οργάνωση των εργασιών ολοκλήρωσης της κατοικίας, όπως τα δάπεδα, η εξωτερική θερμομόνωση και οι εσωτερικοί και εξωτερικοί χρωματισμοί. Οι συγκεκριμένες εργασίες αποτελούν σημαντικό μέρος τόσο του προϋπολογισμού όσο και του χρονοπρογραμματισμού ενός κτιριακού έργου και, κατά συνέπεια, η αξιόπιστη επιμέτρησή τους είναι ιδιαίτερα σημαντική.

Η παραμετρική μοντελοποίηση επέτρεψε την αυτόματη εξαγωγή των επιφανειών κάθε κατηγορίας εργασιών, ενώ παράλληλα ενσωματώθηκαν πρόσθετες παράμετροι που αφορούν τον ρυθμό παραγωγής, τον απαιτούμενο χρόνο ολοκλήρωσης και το ενδεικτικό κόστος των αντίστοιχων εργασιών. Με τον τρόπο αυτό, το πληροφοριακό μοντέλο δεν περιορίζεται στην καταγραφή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της κατασκευής, αλλά μετατρέπεται σε εργαλείο υποστήριξης του προγραμματισμού και της οργάνωσης της παραγωγικής διαδικασίας.

Πίνακας 5.3. Παραμετρικός πίνακας επενδύσεων και επιστρώσεων.

Θερμομόνωση							
Τύπος	Επιφάνεια	Ρυθμός παραγωγής (Ανά ημέρα)	Χρόνος Ολοκλήρωσης	Κόστος Παραγωγής	Κόστος Εργασίας		
EPS 100mm	169.83 m²	25.00	6.79	<varies>	7723.644€		
Σύνολο	169.83 m²		6.79		7723.644€		

Χρωματισμοί Εσωτερικών Τοίχων								
Χώρος	Τοιχοποιίες (τρέχον μέτρο)	Επιφάνεια Τοιχοποιίας	Επιφάνεια Οροφής	Επιφάνεια Χρωματισμού	Ρυθμός παραγωγής (Ανά ημέρα)	Χρόνος Ολοκλήρωσης	Κόστος Παραγωγής	Κόστος Εργασίας
Laundry	13.22 m	52.89 m²	10.64 m²	63.53 m²	60.00	0.18	15.00	159.612€
Master Υπνοδωμάτιο	19.17 m	76.66 m²	14.96 m²	91.62 m²	60.00	0.25	15.00	224.388€
Pantry	7.11 m	28.42 m²	3.07 m²	31.49 m²	60.00	0.05	15.00	46.040€
Βεστιάριο	15.66 m	62.65 m²	11.61 m²	74.26 m²	60.00	0.19	15.00	174.174€
Καθιστικό	39.20 m	156.80 m²	46.99 m²	203.79 m²	60.00	0.78	15.00	704.907€
Κουζίνα	20.71 m	82.83 m²	18.61 m²	101.44 m²	60.00	0.31	15.00	279.205€
Υπνοδωμάτιο 2	15.50 m	62.02 m²	14.75 m²	76.77 m²	60.00	0.25	15.00	221.270€
Υπνοδωμάτιο 1	14.40 m	57.60 m²	12.68 m²	70.28 m²	60.00	0.21	15.00	190.260€
Σύνολο		579.86 m²	133.32 m²	713.19 m²		2.22		1999.856€

Χρωματισμοί Εξωτερικών Τοίχων						
Χώρος	Τρέχον μέτρο	Επιφάνεια	Ρυθμός παραγωγής (Ανά ημέρα)	Χρόνος Ολοκλήρωσης	Κόστος Παραγωγής	Κόστος Εργασίας
Περιμετρικές τοιχοποιίες	58.22	166.18 m²	30.00	5.54	15.00	2492.675€
Σύνολο				5.54		2492.675€

Δάπεδα						
Χώροι	Περιγραφή	Επιφάνεια	Ρυθμός παραγωγής (Ανά ημέρα)	Χρόνος Ολοκλήρωσης	Κόστος Παραγωγής	Κόστος Εργασίας
Laundry	Γρανιτοπλακάκι, Rectified, R10, Matte, d=10mm	10.66 m²	20.00	0.53	30.00	319.824€
Master Υπνοδωμάτιο	Γρανιτοπλακάκι, Rectified, R10, Matte, d=10mm	27.12 m²	20.00	1.36	30.00	813.557€
Master Λουτρό	Γρανιτοπλακάκι, Rectified, R10, Matte, d=10mm	5.58 m²	20.00	0.28	30.00	167.433€
Pantry	Γρανιτοπλακάκι, Rectified, R10, Matte, d=10mm	3.09 m²	20.00	0.15	30.00	92.680€
Εξώστης	Γρανιτοπλακάκι, Rectified, R10, Matte, d=10mm	8.15 m²	20.00	0.41	30.00	244.610€
Ημιυπάθριος χώρος Εισόδου	Γρανιτοπλακάκι, Rectified, R10, Matte, d=10mm	15.29 m²	20.00	0.76	30.00	458.736€
Ημιυπάθριος χώρος Λουτρού	Γρανιτοπλακάκι, Rectified, R10, Matte, d=10mm	6.05 m²	20.00	0.30	30.00	181.523€
Υπνοδωμάτιο 1	Γρανιτοπλακάκι, Rectified, R10, Matte, d=10mm	5.71 m²	20.00	0.29	30.00	171.438€
Υπνοδωμάτιο 2	Γρανιτοπλακάκι, Rectified, R10, Matte, d=10mm	13.71 m²	20.00	0.69	30.00	411.195€
Υπνοδωμάτιο 1	Γρανιτοπλακάκι, Rectified, R10, Matte, d=10mm	14.77 m²	20.00	0.74	30.00	443.192€
Χώρος Δημέρευσης	Γρανιτοπλακάκι, Rectified, R10, Matte, d=10mm	68.52 m²	20.00	3.43	30.00	2055.582€
Σύνολο		178.66 m²		8.93		5359.771€

Έλενα Μήτσκα	Πίνακας/Schedule:	ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ-ΕΠΙΣΤΡΩΣΕΩΝ	Ημερομηνία:
	Αρ. Πίνακα: Π3	Έργο: ΟΙΚΟΠΕΔΟ ΥΠ' ΑΡΙΘ. 340, Ο.Τ. 42 ΑΡΙΔΑΙΑ, ΔΗΜΟΣ ΑΛΜΩΠΙΑΣ Ν. ΠΕΛΛΑΣ	22/05/2026

Η ανάλυση των δεδομένων καταδεικνύει ότι οι ποσότητες των εργασιών ολοκλήρωσης παράγονται απευθείας από το πληροφοριακό μοντέλο, χωρίς να απαιτούνται πρόσθετες επιμετρήσεις από τα σχέδια. Οι επιφάνειες των δαπέδων, της θερμομόνωσης και των χρωματισμών ενημερώνονται αυτόματα σε κάθε μεταβολή της γεωμετρίας του κτιρίου, διασφαλίζοντας την αξιοπιστία των παραγόμενων δεδομένων και περιορίζοντας σημαντικά τον κίνδυνο σφαλμάτων.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η σύνδεση των ποσοτήτων με δείκτες παραγωγικότητας και προκαθορισμένες μοναδιαίες τιμές, καθώς καθίσταται δυνατή η άμεση εκτίμηση του απαιτούμενου χρόνου ολοκλήρωσης και του ενδεικτικού κόστους των εργασιών. Παρότι οι συγκεκριμένες παράμετροι εισήχθησαν στο μοντέλο από τον μελετητή και δεν αποτελούν αυτόματη λειτουργία του λογισμικού, η παραμετρική δομή του BIM επιτρέπει την άμεση αξιοποίησή τους και την αυτόματη ενημέρωσή τους όταν μεταβάλλονται οι ποσότητες των εργασιών.

Η δυνατότητα αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη κατά τη σύνταξη προκαταρκτικών χρονοδιαγραμμάτων και προϋπολογισμών, καθώς επιτρέπει την ταχεία αξιολόγηση των επιπτώσεων που έχουν πιθανές

τροποποιήσεις της μελέτης στη διάρκεια και στο κόστος του έργου. Έτσι, το πληροφοριακό μοντέλο λειτουργεί ως εργαλείο υποστήριξης της λήψης αποφάσεων, παρέχοντας άμεσα επικαιροποιημένα δεδομένα χωρίς την ανάγκη επαναλαμβανόμενων υπολογισμών.

Η εφαρμογή της συγκεκριμένης διαδικασίας στη μελέτη περίπτωσης επιβεβαιώνει ότι το BIM μπορεί να υποστηρίξει αποτελεσματικά όχι μόνο τις κύριες κατασκευαστικές εργασίες αλλά και τις εργασίες ολοκλήρωσης, οι οποίες συχνά αποτελούν σημαντικό ποσοστό του συνολικού κόστους και της διάρκειας ενός έργου. Η συγκέντρωση όλων των δεδομένων σε ένα ενιαίο πληροφοριακό περιβάλλον ενισχύει την αξιοπιστία της τεχνικής πληροφορίας και διευκολύνει τον συντονισμό των επιμέρους φάσεων της κατασκευής.

5.5 Παραμετρική Διαχείριση Αρχιτεκτονικών Στοιχείων και Πληροφορίας

Εκτός από την εξαγωγή ποσοτικών δεδομένων και την υποστήριξη διαδικασιών επιμέτρησης, το πληροφοριακό μοντέλο αξιοποιήθηκε για την οργάνωση και διαχείριση των πληροφοριών που σχετίζονται με τα αρχιτεκτονικά στοιχεία της κατοικίας. Στο περιβάλλον BIM κάθε αντικείμενο λειτουργεί ως παραμετρική οντότητα, στην οποία αποθηκεύονται γεωμετρικά χαρακτηριστικά, τεχνικές ιδιότητες και πρόσθετες πληροφορίες που μπορούν να αξιοποιηθούν σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής του έργου.

Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης αναπτύχθηκαν παραμετρικοί πίνακες για τις θύρες, τα κουφώματα και τις μαρμαροποδιές, μέσω των οποίων καταγράφηκαν στοιχεία όπως οι διαστάσεις, οι τύποι, τα υλικά και ειδικά κατασκευαστικά χαρακτηριστικά. Παράλληλα, για τις μαρμαροποδιές ενσωματώθηκαν πρόσθετες παράμετροι που αφορούν τον ρυθμό παραγωγής, τον εκτιμώμενο χρόνο ολοκλήρωσης και το ενδεικτικό κόστος εργασίας, αναδεικνύοντας τη δυνατότητα επέκτασης του πληροφοριακού μοντέλου πέρα από τη γεωμετρική περιγραφή των στοιχείων.

Πίνακας 5.4. Παραμετρικοί πίνακες αρχιτεκτονικών στοιχείων του πληροφοριακού μοντέλου.

Κουφώματα					
Όνομα κουφώματος	Τύπος κουφώματος	Ύψος	Πλάτος	Ποδιά	
W1	WINDOW-DOUBLE OPENING (xoris rolo)	1.30	1.20	0.90	
W2	WINDOW SLIDING DOUBLE (xoris rolo) BLACK FRAME	2.20	1.60	0.00	
W3	WINDOW SLIDING DOUBLE (xoris rolo) BLACK FRAME	1.30	2.00	0.90	
W4	WINDOW SLIDING DOUBLE (xoris rolo) BLACK FRAME	1.30	2.00	0.90	
W5	WINDOW-DOUBLE OPENING (xoris rolo)	2.20	1.40	0.00	
W6	WINDOW-SINGE OPENING-EXO (xoris rolo)	0.50	0.70	1.70	
W7	WINDOW-DOUBLE OPENING (xoris rolo)	2.20	1.40	0.00	
W8	WINDOW-DOUBLE OPENING (xoris rolo)	2.20	1.40	0.00	

Θύρες					
Επίπεδο	Διαμέρισμα	Ύψος	Πλάτος	Περιγραφή	Τύπος Θύρας
1.Τ.Σ. ΙΣΟΓΕΙΟ	D1	2.20	1.10	Με κάσα	ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ
1.Τ.Σ. ΙΣΟΓΕΙΟ	D2	2.20	0.90	Με κάσα	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ Τ. ΞΥΛΙΝΗ ΠΡΕΣΣΑΡΙΣΤΗ
1.Τ.Σ. ΙΣΟΓΕΙΟ	D3	2.20	0.80	Με κάσα	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ Τ. ΞΥΛΙΝΗ ΠΡΕΣΣΑΡΙΣΤΗ
1.Τ.Σ. ΙΣΟΓΕΙΟ	D4	2.20	0.90	Με κάσα	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ Τ. ΞΥΛΙΝΗ ΠΡΕΣΣΑΡΙΣΤΗ
1.Τ.Σ. ΙΣΟΓΕΙΟ	D5	2.20	0.90	Με κάσα	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ Τ. ΞΥΛΙΝΗ ΠΡΕΣΣΑΡΙΣΤΗ
1.Τ.Σ. ΙΣΟΓΕΙΟ	D6	2.20	0.80	Με κάσα	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ Τ. ΞΥΛΙΝΗ ΠΡΕΣΣΑΡΙΣΤΗ
1.Τ.Σ. ΙΣΟΓΕΙΟ	D7	2.20	0.80	Με κάσα	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ Τ. ΞΥΛΙΝΗ ΠΡΕΣΣΑΡΙΣΤΗ
1.Τ.Σ. ΙΣΟΓΕΙΟ	D8	2.20	0.80	Με κάσα	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ Τ. ΞΥΛΙΝΗ ΠΡΕΣΣΑΡΙΣΤΗ

Μαρμαροποδιές								
Κουφωμα	Τύπος μαρμάρου	Επιφάνεια	Μουρέλο ίσιο	Ποταμός	Ρυθμός παραγωγής (Ανά ημέρα)	Χρόνος Ολοκλήρωσης	Κόστος Παραγωγής	Κόστος Εργασίας
D1	Λευκό μάρμαρο d=20mm	0.12 m²	ΟΧΙ	ΟΧΙ	15.00	0.01	75.00	8.663€
W1	Λευκό μάρμαρο d=20mm	0.50 m²	ΑΠΟ ΤΗΝ 1 ΠΛΕΥΡΑ	ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΛΕΥΡΑ ΤΟΥ ΜΟΥΡΕΛΟΥ	15.00	0.03	75.00	37.350€
W2	Λευκό μάρμαρο d=20mm	0.57 m²	ΟΧΙ	ΟΧΙ	15.00	0.04	75.00	42.600€
W3	Λευκό μάρμαρο d=20mm	0.83 m²	2 ΠΛΕΥΡΕΣ	ΑΠΟ ΤΗΝ ΜΙΑ ΠΛΕΥΡΑ	15.00	0.06	75.00	62.250€
W4	Λευκό μάρμαρο d=20mm	0.83 m²	2 ΠΛΕΥΡΕΣ	ΑΠΟ ΤΗΝ ΜΙΑ ΠΛΕΥΡΑ	15.00	0.06	75.00	62.250€
W5	Λευκό μάρμαρο d=20mm	0.50 m²	ΟΧΙ	ΟΧΙ	15.00	0.03	75.00	37.275€
W6	Λευκό μάρμαρο d=20mm	0.17 m²	ΑΠΟ ΤΗΝ 1 ΠΛΕΥΡΑ	ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΛΕΥΡΑ ΤΟΥ ΜΟΥΡΕΛΟΥ	15.00	0.01	75.00	12.925€
W7	Λευκό μάρμαρο d=20mm	0.50 m²	ΟΧΙ	ΟΧΙ	15.00	0.03	75.00	37.275€
W8	Λευκό μάρμαρο d=20mm	0.50 m²	ΟΧΙ	ΟΧΙ	15.00	0.03	75.00	37.275€
Σύνολο		4.50 m²				0.30		337.862€

Έλενα Μήτσκα	Πίνακας/Schedule:			ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ		Ημερομηνία: 22/05/2026
	Αρ. Πίνακα:	Έργο:		ΟΙΚΟΠΕΔΟ ΥΠ' ΑΡΙΘ. 340, Ο.Τ. 42 ΑΡΙΔΑΙΑ, ΔΗΜΟΣ ΑΛΜΩΠΙΑΣ Ν. ΠΕΛΛΑΣ		
	P4					

Η ανάλυση των παραπάνω δεδομένων επιβεβαιώνει ότι το πληροφοριακό μοντέλο λειτουργεί ως μία ολοκληρωμένη βάση τεχνικής πληροφορίας. Κάθε θύρα και κάθε κούφωμα διαθέτει μοναδική ταυτότητα, συγκεκριμένες διαστάσεις και καθορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά, τα οποία ενημερώνονται αυτόματα σε περίπτωση τροποποίησης του μοντέλου. Αντίστοιχα, οι μαρμαροποδιές συνδέονται άμεσα με τα αντίστοιχα ανοίγματα, επιτρέποντας την αυτόματη ενημέρωση των επιφανειών και των συνοδευτικών παραμέτρων τους.

Η συγκεκριμένη παραμετρική προσέγγιση παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι της συμβατικής σχεδίασης CAD. Στα παραδοσιακά δισδιάστατα σχέδια, οι πληροφορίες για τα κουφώματα, τις θύρες ή άλλα αρχιτεκτονικά στοιχεία καταγράφονται συνήθως σε ανεξάρτητους πίνακες, οι οποίοι απαιτούν χειροκίνητη ενημέρωση μετά από κάθε τροποποίηση της μελέτης. Αντίθετα, στο περιβάλλον BIM οι πίνακες αποτελούν δυναμικές προβολές του ίδιου πληροφοριακού μοντέλου και ενημερώνονται αυτόματα, εξασφαλίζοντας συνέπεια και αξιοπιστία των δεδομένων.

Επιπλέον, η δυνατότητα εμπλουτισμού των αντικειμένων με πρόσθετες ιδιότητες καθιστά το πληροφοριακό μοντέλο ιδιαίτερα ευέλικτο. Ανάλογα με τις απαιτήσεις κάθε έργου, μπορούν να προστεθούν πληροφορίες που αφορούν τον κατασκευαστή, τις τεχνικές προδιαγραφές, την ενεργειακή απόδοση, το κόστος, τον χρόνο εγκατάστασης ή ακόμη και στοιχεία συντήρησης. Η δυνατότητα αυτή αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της τεχνολογίας BIM, καθώς επιτρέπει στο μοντέλο να εξελίσσεται παράλληλα με τις ανάγκες του έργου και να υποστηρίζει αποτελεσματικά όλες τις φάσεις του κύκλου ζωής του (Eastman et al., 2018).

Η εφαρμογή της παραμετρικής διαχείρισης στη συγκεκριμένη κατοικία ανέδειξε ότι ακόμη και για στοιχεία σχετικά μικρής κλίμακας, όπως οι θύρες, τα κουφώματα και οι μαρμαροποδιές, η συγκέντρωση και η διατήρηση της πληροφορίας σε μία ενιαία βάση δεδομένων συμβάλλει ουσιαστικά στη βελτίωση της οργάνωσης της μελέτης, στη μείωση των πιθανών σφαλμάτων και στη διευκόλυνση της μελλοντικής διαχείρισης και συντήρησης του κτιρίου.

5.6 Συνολική Αξιολόγηση της Εφαρμογής του BIM στη Μελέτη Περίπτωσης

Η ανάπτυξη και εφαρμογή του πληροφοριακού μοντέλου στη μελέτη περίπτωσης ανέδειξε στην πράξη τις δυνατότητες της μεθοδολογίας Building Information Modeling (BIM) ως ολοκληρωμένου εργαλείου σχεδιασμού, οργάνωσης και διαχείρισης τεχνικών έργων. Η αξιολόγηση της εφαρμογής έδειξε ότι το BIM δεν περιορίζεται στη δημιουργία μιας τρισδιάστατης αναπαράστασης της κατασκευής, αλλά λειτουργεί ως ένα δυναμικό πληροφοριακό σύστημα, στο οποίο συγκεντρώνονται, οργανώνονται και διαχειρίζονται όλα τα δεδομένα που συνοδεύουν το έργο κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του.

Ένα από τα σημαντικότερα συμπεράσματα της παρούσας εφαρμογής είναι ότι η παραμετρική δομή του μοντέλου εξασφαλίζει υψηλό επίπεδο συνέπειας μεταξύ των γεωμετρικών στοιχείων και των πληροφοριών που τα συνοδεύουν. Κάθε τροποποίηση της γεωμετρίας ενημερώνει αυτόματα τα αρχιτεκτονικά σχέδια, τις τομές, τις όψεις και τους πίνακες ποσοτήτων, περιορίζοντας ουσιαστικά τον κίνδυνο ασυμφωνιών που συχνά εμφανίζονται στις συμβατικές διαδικασίες σχεδιασμού. Η

δυνατότητα αυτή βελτιώνει σημαντικά την αξιοπιστία της μελέτης και μειώνει τον χρόνο που απαιτείται για την αναθεώρηση των τεχνικών παραδοτέων.

Η αυτόματη παραγωγή ποσοτικών δεδομένων αποτέλεσε ένα ακόμη σημαντικό αποτέλεσμα της εφαρμογής. Οι επιφάνειες, οι όγκοι και οι ποσότητες των επιμέρους δομικών στοιχείων εξήχθησαν απευθείας από το πληροφοριακό μοντέλο, χωρίς να απαιτούνται επαναλαμβανόμενες χειροκίνητες επιμετρήσεις. Παράλληλα, η δυνατότητα εμπλουτισμού των στοιχείων με πρόσθετες παραμέτρους, όπως ο ρυθμός παραγωγής, ο απαιτούμενος χρόνος ολοκλήρωσης και το ενδεικτικό κόστος, κατέδειξε ότι το ίδιο μοντέλο μπορεί να αποτελέσει τη βάση για εφαρμογές που σχετίζονται με τον χρονικό προγραμματισμό (4D BIM) και την εκτίμηση κόστους (5D BIM). Παρότι οι συγκεκριμένες παράμετροι δεν παράγονται αυτόματα από το λογισμικό, η ενσωμάτωσή τους στο πληροφοριακό μοντέλο αποδεικνύει την ευελιξία της μεθοδολογίας και τη δυνατότητα προσαρμογής της στις ανάγκες κάθε έργου.

Ιδιαίτερα σημαντική ήταν επίσης η δυνατότητα συγκέντρωσης όλων των τεχνικών πληροφοριών σε ένα ενιαίο πληροφοριακό περιβάλλον. Τα δεδομένα που αφορούν τους χώρους, τα δομικά στοιχεία, τις επενδύσεις, τα κουφώματα και τις λοιπές κατασκευαστικές εργασίες παραμένουν διασυνδεδεμένα και ενημερώνονται δυναμικά, δημιουργώντας μία αξιόπιστη βάση δεδομένων που μπορεί να αξιοποιηθεί τόσο κατά τη φάση του σχεδιασμού όσο και κατά την κατασκευή, τη λειτουργία και τη μελλοντική συντήρηση του κτιρίου. Η προσέγγιση αυτή είναι πλήρως εναρμονισμένη με τη φιλοσοφία των προτύπων ISO 19650, σύμφωνα με τα οποία το BIM αποτελεί μέσο αποτελεσματικής διαχείρισης της πληροφορίας καθ' όλη τη διάρκεια ζωής ενός έργου (ISO 19650-1, 2018).

Παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματα που διαπιστώθηκαν, η εφαρμογή της μεθοδολογίας ανέδειξε και ορισμένες προκλήσεις. Η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου πληροφοριακού μοντέλου απαιτεί αυξημένο χρόνο κατά τα αρχικά στάδια της μοντελοποίησης, συστηματική οργάνωση των δεδομένων και εξοικείωση του μελετητή με τις αρχές της παραμετρικής μοντελοποίησης. Επιπλέον, η αξιοπιστία των παραγόμενων αποτελεσμάτων εξαρτάται άμεσα από την ακρίβεια των αρχικών δεδομένων και από τη σωστή οργάνωση των παραμέτρων του μοντέλου. Ωστόσο, τα αρχικά αυτά απαιτούμενα αντισταθμίζονται από τη σημαντική εξοικονόμηση χρόνου και τη μείωση των σφαλμάτων κατά τις επόμενες φάσεις του έργου.

Συνολικά, η εφαρμογή της μεθοδολογίας BIM στη συγκεκριμένη μονοκατοικία απέδειξε ότι ακόμη και σε έργα σχετικά μικρής κλίμακας είναι δυνατή η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου πληροφοριακού

μοντέλου που υποστηρίζει αποτελεσματικά τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό, την παραγωγή τεχνικής τεκμηρίωσης, την επιμέτρηση, την προκαταρκτική εκτίμηση χρόνου και κόστους, καθώς και την οργάνωση της τεχνικής πληροφορίας. Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης επιβεβαιώνουν ότι η αξιοποίηση της τεχνολογίας BIM μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στη βελτίωση της ποιότητας των μελετών, στην αποτελεσματικότερη διαχείριση των έργων και στη λήψη τεκμηριωμένων τεχνικών αποφάσεων.

Η μελέτη αυτή καταδεικνύει ότι το BIM δεν αποτελεί απλώς ένα σύγχρονο λογισμικό τρισδιάστατης σχεδίασης, αλλά μία ολοκληρωμένη μεθοδολογία διαχείρισης της πληροφορίας. Η μετάβαση από τα παραδοσιακά περιβάλλοντα CAD σε ένα πληροφοριακό μοντέλο δημιουργεί τις προϋποθέσεις για μεγαλύτερη συνεργασία μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών, υψηλότερη αξιοπιστία των δεδομένων και αποτελεσματικότερη υποστήριξη των διαδικασιών σχεδιασμού, κατασκευής και διαχείρισης τεχνικών έργων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο:

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΈΡΕΥΝΑ

6.1 Απαντήσεις στα Ερευνητικά Ερωτήματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία είχε ως βασικό στόχο τη διερεύνηση της εφαρμογής της μεθοδολογίας Building Information Modeling (BIM) στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό και στη διαχείριση ενός κτιριακού έργου μικρής κλίμακας. Μέσα από την ανάπτυξη του πληροφοριακού μοντέλου της κατοικίας και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, κατέστη δυνατή η διατύπωση τεκμηριωμένων απαντήσεων στα ερευνητικά ερωτήματα που τέθηκαν στην αρχή της εργασίας.

Απάντηση στο Ερευνητικό Ερώτημα 1 (EE1)

Το πρώτο ερευνητικό ερώτημα αφορούσε τον τρόπο με τον οποίο η εφαρμογή της μεθοδολογίας BIM συμβάλλει στη βελτίωση του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού σε σύγκριση με τις συμβατικές διαδικασίες που βασίζονται αποκλειστικά σε δισδιάστατα σχέδια.

Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η παραμετρική μοντελοποίηση προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα ως προς τη συνέπεια των δεδομένων, τη μείωση των σφαλμάτων και την ταχύτερη αναθεώρηση της μελέτης. Η αυτόματη ενημέρωση όλων των σχεδίων και των πινάκων μετά από κάθε τροποποίηση του μοντέλου εξασφαλίζει ενιαία και αξιόπιστη πληροφορία, περιορίζοντας τις ασυμφωνίες που εμφανίζονται συχνά στις συμβατικές διαδικασίες σχεδιασμού.

Απάντηση στο Ερευνητικό Ερώτημα 2 (EE2)

Το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα αφορούσε τα οφέλη που προκύπτουν από την ανάπτυξη ενός παραμετρικού BIM μοντέλου ως προς την οργάνωση, την τεκμηρίωση και τη διαχείριση της πληροφορίας.

Η εφαρμογή απέδειξε ότι το πληροφοριακό μοντέλο μπορεί να λειτουργήσει ως ενιαία βάση δεδομένων του έργου, συγκεντρώνοντας γεωμετρικά χαρακτηριστικά, τεχνικές ιδιότητες και ποσοτικά στοιχεία σε ένα κοινό ψηφιακό περιβάλλον. Η δυνατότητα αυτόματης παραγωγής σχεδίων, επιμετρήσεων και παραμετρικών πινάκων ενίσχυσε σημαντικά την οργάνωση της πληροφορίας και διευκόλυνε τη διαχείριση των δεδομένων καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης.

Απάντηση στο Ερευνητικό Ερώτημα 3 (EE3)

Το τρίτο ερευνητικό ερώτημα διερεύνησε κατά πόσο οι διαστάσεις 4D BIM και 5D BIM μπορούν να υποστηρίξουν τον χρονικό προγραμματισμό και την ποσομέτρηση ενός έργου μικρής κλίμακας.

Η έρευνα κατέδειξε ότι, μέσω της ενσωμάτωσης παραμέτρων όπως ο ρυθμός παραγωγής, ο εκτιμώμενος χρόνος ολοκλήρωσης και το μοναδιαίο κόστος, το πληροφοριακό μοντέλο μπορεί να αξιοποιηθεί για την υποστήριξη βασικών διαδικασιών χρονικού προγραμματισμού και προκαταρκτικής εκτίμησης κόστους. Αν και οι παράμετροι αυτές δεν παράγονται αυτόματα από το λογισμικό, η ενσωμάτωσή τους στο μοντέλο απέδειξε τις δυνατότητες επέκτασης του BIM προς εφαρμογές 4D και 5D ακόμη και σε έργα περιορισμένης κλίμακας.

Απάντηση στο Ερευνητικό Ερώτημα 4 (EE4)

Το τέταρτο ερευνητικό ερώτημα αφορούσε τις δυσκολίες και τους περιορισμούς που εμφανίζονται κατά την εφαρμογή της μεθοδολογίας BIM στην ελληνική κατασκευαστική πραγματικότητα.

Κατά την ανάπτυξη της μελέτης διαπιστώθηκε ότι η δημιουργία ενός ολοκληρωμένου πληροφοριακού μοντέλου απαιτεί αυξημένο χρόνο κατά τα αρχικά στάδια, καλή γνώση του λογισμικού και σωστή οργάνωση των παραμέτρων. Επιπλέον, η περιορισμένη διάδοση της μεθοδολογίας BIM στην ελληνική αγορά, σε συνδυασμό με την έλλειψη τυποποιημένων βιβλιοθηκών και καθιερωμένων διαδικασιών συνεργασίας, εξακολουθούν να αποτελούν σημαντικούς παράγοντες που δυσχεραίνουν την ευρύτερη εφαρμογή της.

Απάντηση στο Ερευνητικό Ερώτημα 5 (EE5)

Το πέμπτο ερευνητικό ερώτημα εξέτασε κατά πόσο η εφαρμογή του BIM μπορεί να αποτελέσει μία ρεαλιστική και αποδοτική λύση για την ψηφιακή αναβάθμιση του σχεδιασμού και της διαχείρισης μικρών ιδιωτικών έργων στην Ελλάδα.

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η εφαρμογή της μεθοδολογίας BIM είναι εφικτή και μπορεί να προσφέρει ουσιαστικά οφέλη ακόμη και σε έργα μικρής κλίμακας, όπως μία μονοκατοικία. Η δυνατότητα ενοποίησης της γεωμετρικής πληροφορίας, της τεχνικής τεκμηρίωσης, των ποσοτήτων και των δεδομένων που σχετίζονται με τον χρόνο και το κόστος δημιουργεί ένα αποτελεσματικό εργαλείο υποστήριξης του σχεδιασμού και της διαχείρισης του έργου. Επομένως, η σταδιακή υιοθέτηση της μεθοδολογίας BIM μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στον ψηφιακό μετασχηματισμό του ελληνικού κατασκευαστικού κλάδου, ιδιαίτερα εφόσον συνοδευτεί από κατάλληλη εκπαίδευση, ανάπτυξη προτύπων και ενίσχυση της διαλειτουργικότητας μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων.

6.2 Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία διερεύνησε την εφαρμογή της μεθοδολογίας Building Information Modeling (BIM) στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό και στη διαχείριση ενός κτιριακού έργου μικρής κλίμακας, μέσω της ανάπτυξης και αξιολόγησης ενός ολοκληρωμένου πληροφοριακού μοντέλου πραγματικής ισότητας μονοκατοικίας. Μέσα από τη μελέτη περίπτωσης αξιολογήθηκε η δυνατότητα του BIM να υποστηρίζει όχι μόνο τη διαδικασία του σχεδιασμού, αλλά και την παραγωγή τεχνικής πληροφορίας, την επιμέτρηση, τον χρονικό προγραμματισμό και την προκαταρκτική εκτίμηση του κόστους.

Η ανάπτυξη του πληροφοριακού μοντέλου απέδειξε ότι η μεθοδολογία BIM υπερβαίνει τα όρια της τρισδιάστατης σχεδίασης και λειτουργεί ως ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης της πληροφορίας του έργου. Η δημιουργία παραμετρικών αντικειμένων, η οργάνωση των τεχνικών χαρακτηριστικών των δομικών στοιχείων και η αυτόματη παραγωγή της τεχνικής τεκμηρίωσης επιβεβαίωσαν ότι το πληροφοριακό μοντέλο μπορεί να αποτελέσει την κύρια πηγή δεδομένων για όλες τις φάσεις του κύκλου ζωής ενός κτιρίου.

Ένα από τα σημαντικότερα συμπεράσματα της εργασίας είναι ότι η παραμετρική δομή του BIM διασφαλίζει τη συνέπεια μεταξύ της γεωμετρίας και των πληροφοριών που συνοδεύουν κάθε στοιχείο του έργου. Η αυτόματη ενημέρωση των σχεδίων, των ποσοτήτων και των παραμετρικών πινάκων μετά από κάθε τροποποίηση μειώνει σημαντικά την πιθανότητα σφαλμάτων και περιορίζει τον χρόνο που απαιτείται για την αναθεώρηση της μελέτης, προσφέροντας ουσιαστικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους σχεδιασμού που βασίζονται σε περιβάλλον CAD.

Η εφαρμογή στη συγκεκριμένη κατοικία ανέδειξε επίσης τη δυνατότητα αξιοποίησης του πληροφοριακού μοντέλου ως εργαλείου υποστήριξης της διαχείρισης τεχνικών έργων. Η αυτόματη εξαγωγή ποσοτήτων και ο εμπλουτισμός του μοντέλου με παραμέτρους που σχετίζονται με τον ρυθμό παραγωγής, τον απαιτούμενο χρόνο ολοκλήρωσης και το ενδεικτικό κόστος ανέδειξαν ότι ένα πληροφοριακό μοντέλο BIM μπορεί να αποτελέσει τη βάση για εφαρμογές χρονικού προγραμματισμού (4D BIM) και εκτίμησης κόστους (5D BIM), όταν εμπλουτιστεί με τις κατάλληλες παραμέτρους και διασυνδεθεί με τα αντίστοιχα δεδομένα διαχείρισης έργου. Παρότι οι συγκεκριμένες παράμετροι εισήχθησαν στο μοντέλο στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, η αξιοποίησή τους ανέδειξε τη σημαντική ευελιξία της μεθοδολογίας και τις δυνατότητες προσαρμογής της στις ανάγκες διαφορετικών έργων.

Παράλληλα, η έρευνα επιβεβαίωσε ότι η ενιαία οργάνωση όλων των πληροφοριών σε ένα πληροφοριακό μοντέλο ενισχύει τη συνεργασία μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών, διευκολύνει τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων και δημιουργεί ένα αξιόπιστο υπόβαθρο για την αποτελεσματικότερη διαχείριση του έργου. Η δυνατότητα συνεχούς ενημέρωσης των δεδομένων αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της μεθοδολογίας BIM και συνάδει με τις σύγχρονες απαιτήσεις του ψηφιακού μετασχηματισμού του κατασκευαστικού κλάδου.

Συνολικά, τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας επιβεβαιώνουν ότι η μεθοδολογία BIM μπορεί να αποτελέσει ένα αποτελεσματικό εργαλείο για τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό και τη διαχείριση κτιριακών έργων, ακόμη και σε έργα περιορισμένης κλίμακας. Η ενοποίηση της γεωμετρικής, τεχνικής και ποσοτικής πληροφορίας σε ένα ενιαίο πληροφοριακό μοντέλο συμβάλλει στη βελτίωση της ποιότητας των μελετών, στη μείωση των ασυμφωνιών, στην αυτοματοποίηση διαδικασιών και στην υποστήριξη τεκμηριωμένων αποφάσεων καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του έργου. Ως εκ τούτου, ο βασικός στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας επιτεύχθηκε, καθώς αποδείχθηκε ότι η αξιοποίηση της μεθοδολογίας BIM μπορεί να αποτελέσει μία ρεαλιστική και αποδοτική προσέγγιση για τον ψηφιακό μετασχηματισμό του σχεδιασμού και της διαχείρισης μικρών ιδιωτικών έργων στην ελληνική κατασκευαστική πραγματικότητα.

6.3 Περιορισμοί της Έρευνας

Παρά τα θετικά αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθοδολογίας BIM στη μελέτη περίπτωσης, η παρούσα έρευνα παρουσιάζει ορισμένους περιορισμούς, οι οποίοι πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την ερμηνεία των συμπερασμάτων.

Αρχικά, η εφαρμογή πραγματοποιήθηκε σε μία μόνο μελέτη περίπτωσης, που αφορά μία ισόγεια μονοκατοικία μικρής κλίμακας. Επομένως, τα αποτελέσματα δεν μπορούν να γενικευθούν αυτούσια σε μεγαλύτερα ή πιο σύνθετα έργα, όπως πολυώροφα κτίρια, δημόσια έργα ή έργα με αυξημένες απαιτήσεις συντονισμού μεταξύ πολλών μελετητικών ειδικοτήτων.

Επιπλέον, η παρούσα εργασία επικεντρώθηκε κυρίως στην ανάπτυξη του αρχιτεκτονικού πληροφοριακού μοντέλου. Δεν πραγματοποιήθηκε ολοκληρωμένη ενσωμάτωση στατικών, ηλεκτρομηχανολογικών ή άλλων εξειδικευμένων μελετών, ούτε εφαρμόστηκε διαδικασία ανίχνευσης συγκρούσεων (clash detection) μεταξύ διαφορετικών ειδικοτήτων, η οποία αποτελεί βασική εφαρμογή του BIM σε μεγάλα έργα.

Όσον αφορά τις διαστάσεις 4D BIM και 5D BIM, η έρευνα απέδειξε τη δυνατότητα ενσωμάτωσης παραμέτρων που σχετίζονται με τον χρόνο και το κόστος. Ωστόσο, δεν πραγματοποιήθηκε διασύνδεση του πληροφοριακού μοντέλου με εξειδικευμένα λογισμικά χρονοπρογραμματισμού ή κοστολόγησης, όπως το Microsoft Project ή το Primavera P6, ούτε χρησιμοποιήθηκαν πραγματικά οικονομικά δεδομένα κατά την εκτίμηση του κόστους. Οι σχετικές παράμετροι χρησιμοποιήθηκαν με ερευνητικό σκοπό, ώστε να αναδειχθούν οι δυνατότητες επέκτασης του μοντέλου.

Τέλος, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η εφαρμογή της μεθοδολογίας BIM στην ελληνική κατασκευαστική πραγματικότητα βρίσκεται ακόμη σε μεταβατικό στάδιο. Η περιορισμένη χρήση κοινών προτύπων, η ανομοιογένεια των διαδικασιών και η διαφορετική εξοικείωση των επαγγελματιών με τα εργαλεία BIM αποτελούν παράγοντες που ενδέχεται να επηρεάζουν την ευρύτερη αξιοποίηση της μεθοδολογίας στην καθημερινή επαγγελματική πρακτική.

Παρά τους παραπάνω περιορισμούς, η έρευνα κατέδειξε ότι η εφαρμογή του BIM σε έργα μικρής κλίμακας είναι τεχνικά εφικτή και μπορεί να προσφέρει ουσιαστικά οφέλη στον σχεδιασμό και στη διαχείριση της πληροφορίας. Οι περιορισμοί αυτοί δεν μειώνουν τη σημασία των αποτελεσμάτων, αλλά αναδεικνύουν πεδία που μπορούν να αποτελέσουν αντικείμενο περαιτέρω διερεύνησης.

6.4 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα

Η παρούσα έρευνα επικεντρώθηκε στην ανάπτυξη και αξιολόγηση ενός πληροφοριακού μοντέλου BIM για μία κατοικία μικρής κλίμακας, αναδεικνύοντας τις δυνατότητες της μεθοδολογίας στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό, στην οργάνωση της τεχνικής πληροφορίας και στην υποστήριξη βασικών διαδικασιών διαχείρισης του έργου. Ωστόσο, οι δυνατότητες του BIM εκτείνονται πολύ πέρα από το αντικείμενο της συγκεκριμένης μελέτης, γεγονός που δημιουργεί σημαντικά περιθώρια για περαιτέρω ερευνητική διερεύνηση.

Μία πρώτη κατεύθυνση αφορά την ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου περιβάλλοντος **4D BIM**, στο οποίο το πληροφοριακό μοντέλο θα διασυνδέεται με εξειδικευμένα λογισμικά χρονικού προγραμματισμού, όπως το **Microsoft Project** ή το **Primavera P6**. Με τον τρόπο αυτό θα είναι δυνατή η δυναμική απεικόνιση της εξέλιξης της κατασκευής στον χρόνο και η αξιολόγηση εναλλακτικών σεναρίων προγραμματισμού, ενισχύοντας σημαντικά τις δυνατότητες παρακολούθησης και διαχείρισης του έργου.

Αντίστοιχα, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η περαιτέρω ανάπτυξη εφαρμογών **5D BIM**, μέσω της σύνδεσης του πληροφοριακού μοντέλου με πραγματικά δεδομένα κοστολόγησης και βάσεις τιμών κατασκευαστικών εργασιών. Η προσέγγιση αυτή θα μπορούσε να οδηγήσει στη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου συστήματος παρακολούθησης του κόστους, το οποίο θα ενημερώνεται αυτόματα μετά από κάθε τροποποίηση του μοντέλου και θα υποστηρίζει αποτελεσματικότερα τις διαδικασίες οικονομικού προγραμματισμού και ελέγχου.

Μία ακόμη σημαντική κατεύθυνση αφορά την επέκταση του πληροφοριακού μοντέλου πέρα από την αρχιτεκτονική μελέτη, μέσω της ενσωμάτωσης στατικών, ηλεκτρομηχανολογικών και ενεργειακών δεδομένων. Η ανάπτυξη ενός διεπιστημονικού BIM μοντέλου θα επέτρεπε την εφαρμογή διαδικασιών συντονισμού μεταξύ διαφορετικών ειδικοτήτων, καθώς και την αξιοποίηση τεχνικών ανίχνευσης συγκρούσεων (clash detection), οι οποίες αποτελούν βασική εφαρμογή της μεθοδολογίας σε σύνθετα τεχνικά έργα.

Επιπλέον, ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η αξιοποίηση του πληροφοριακού μοντέλου κατά τη φάση λειτουργίας και συντήρησης των κτιρίων (**Facility Management**). Ο εμπλουτισμός των παραμετρικών στοιχείων με δεδομένα που αφορούν τη διάρκεια ζωής των υλικών, τα προγράμματα συντήρησης και τις τεχνικές προδιαγραφές του εξοπλισμού θα μπορούσε να μετατρέψει το μοντέλο σε ένα ολοκληρωμένο εργαλείο υποστήριξης της διαχείρισης του κτιρίου καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του.

Τέλος, μία ιδιαίτερα σύγχρονη κατεύθυνση αφορά τη σύνδεση της μεθοδολογίας BIM με τεχνολογίες **Ψηφιακών Διδύμων (Digital Twins)** και εφαρμογές **Τεχνητής Νοημοσύνης (Artificial Intelligence – AI)**. Η αξιοποίηση δεδομένων πραγματικού χρόνου από αισθητήρες, σε συνδυασμό με αλγορίθμους ανάλυσης και πρόβλεψης, μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία «ζωντανών» ψηφιακών μοντέλων, ικανών να υποστηρίζουν την παρακολούθηση της λειτουργίας, την προληπτική συντήρηση και τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων.

Συνολικά, οι παραπάνω προτάσεις καταδεικνύουν ότι η παρούσα εργασία μπορεί να αποτελέσει αφετηρία για περαιτέρω ερευνητική ανάπτυξη και πρακτική εφαρμογή της μεθοδολογίας BIM. Η συνεχής εξέλιξη των ψηφιακών τεχνολογιών δημιουργεί νέες δυνατότητες για τον σχεδιασμό, την κατασκευή και τη διαχείριση των τεχνικών έργων, καθιστώντας το BIM έναν από τους βασικότερους πυλώνες του ψηφιακού μετασχηματισμού της κατασκευαστικής βιομηχανίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- American Institute of Architects. (2013). *G202–2013 Project Building Information Modeling Protocol Form*. Washington, DC: Author.
- Autodesk. (2024). *Autodesk Revit User Guide*.
- 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.
- Bew, M., & Richards, M. (2008). *BIM Maturity Model*.
- BIMForum. (2024). *Level of Development (LOD) Specification*.
- Bryde, D., Broquetas, M., & Volm, J. (2013). The project benefits of Building Information Modelling (BIM). *International Journal of Project Management*, 31(7), 971–980.
- buildingSMART International. (2023). *OpenBIM Principles and Standards*.
- 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.
- European Commission. (2019). *EU BIM Task Group handbook for the introduction of building information modelling by the European public sector*.
- Gu, N., & London, K. (2010). Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry. *Automation in Construction*, 19(8), 988–999.
- International Organization for Standardization. (2018). *ISO 19650-1: 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*.
- McKinsey Global Institute. (2017). *Reinventing construction: A route to higher productivity*.
- Monteiro, A., & Martins, J. P. (2013). A survey on modeling guidelines for quantity takeoff-oriented BIM-based design. *Automation in Construction*, 35, 238–253.
- National Institute of Building Sciences. (2015). *National BIM Standard—United States (NBIMS-US)*.

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.). Wiley.

Succar, B. (2009). Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*, 18(3), 357–375.

Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). Building Information Modeling (BIM) for existing buildings: Literature review and future needs. *Automation in Construction*, 38, 109–127.

buildingSMART International. (2023). *Industry Foundation Classes (IFC) – Standards and Documentation*.

Borrmann, A., König, M., Koch, C., & Beetz, J. (2018). *Building Information Modeling: Technology foundations and industry practice*. Springer.

International Organization for Standardization. (2018). *ISO 19650-2: 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*.

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.

Bryde, D., Broquetas, M., & Volm, J. (2013). The project benefits of Building Information Modelling (BIM). *International Journal of Project Management*, 31(7), 971–980.

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.

European Commission. (2019). *EU BIM Task Group Handbook for the Introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector*.

Gu, N., & London, K. (2010). Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry. *Automation in Construction*, 19(8), 988–999.

ISO. (2019). *ISO 19650-1: Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling*.

McKinsey Global Institute. (2017). *Reinventing Construction: A Route to Higher Productivity*.

Succar, B. (2009). Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*, 18(3), 357–375.

Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). Building Information Modeling (BIM) for existing buildings: Literature review and future needs. *Automation in Construction*, 38, 109–127.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook*.

Succar, B. (2009). Building information modelling framework.

Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Teicholz, P. (2018). *BIM Handbook* (3rd ed.).

NIBS (2015). *National BIM Standard – United States*.

EU BIM Task Group (2017). *Handbook for the Introduction of BIM by the European Public Sector*.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook*. Wiley.

Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Teicholz, P. (2018). *BIM Handbook* (3rd ed.). Wiley.

Succar, B. (2009). Building Information Modelling Framework. *Automation in Construction*, 18(3), 357–375.

Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges.

Bryde, D., Broquetas, M., & Volm, J. (2013). The project benefits of BIM.

Eastman, C. et al. (2011). *BIM Handbook*.

Monteiro, A., & Martins, J. (2013). A survey on modeling guidelines for quantity takeoff-oriented BIM-based design.

Succar, B. (2009). Building Information Modelling Framework.

Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). BIM for existing buildings.

American Institute of Architects (AIA). (2013). *G202–2013 Project Building Information Modeling Protocol Form*. Washington, DC: AIA.

BIMForum. (2024). *Level of Development (LOD) Specification*. BIMForum.

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.). Hoboken, NJ: Wiley.

Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Teicholz, P. (2018). *BIM Handbook* (3rd ed.). Hoboken, NJ: Wiley.

Succar, B. (2009). Building Information Modelling Framework: A Research and Delivery Foundation for Industry Stakeholders. *Automation in Construction*, 18(3), 357–375.

Bew, M., & Richards, M. (2008). *BIM Maturity Model*.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook* (2nd ed.). Wiley.

Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Teicholz, P. (2018). *BIM Handbook* (3rd ed.). Wiley.

Succar, B. (2009). Building Information Modelling Framework: A Research and Delivery Foundation for Industry Stakeholders. *Automation in Construction*, 18(3), 357–375.

buildingSMART International. (2023). *OpenBIM Principles and Standards*.

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.

Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Teicholz, P. (2018). *BIM Handbook* (3rd ed.). Wiley.

Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry.

Bryde, D., Broquetas, M., & Volm, J. (2013). The project benefits of Building Information Modelling (BIM).

Eastman, C. et al. (2011). *BIM Handbook*.

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.

Gu, N., & London, K. (2010). *Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry*. *Automation in Construction*, 19(8), 988–999.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook* (2nd ed.). Wiley.

Succar, B. (2009). *Building Information Modelling Framework*. *Automation in Construction*, 18(3), 357–375.

European Commission. (2019). *EU BIM Task Group Handbook for the Introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector*.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook* (2nd ed.). Wiley.

Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Teicholz, P. (2011). *BIM Handbook* (3rd ed.). Wiley.

Succar, B. (2009). Building Information Modelling Framework: A Research and Delivery Foundation for Industry Stakeholders. *Automation in Construction*, 18(3), 357–375.

Autodesk. (2024). *Autodesk Revit User Guide*.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2018). *BIM Handbook* (3rd ed.). Wiley.

ISO 19650-1:2018. *Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works...*

Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Teicholz, P. (2018). *BIM Handbook* (3rd ed.).

Succar, B. (2009). *Building Information Modelling Framework*.

Borrmann, A., König, M., Koch, C., & Beetz, J. (2018). *Building Information Modeling: Technology Foundations and Industry Practice*. Springer.

International Organization for Standardization. (2018). *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.

Δ. Φαρμάκης. (2013). Building Information Modeling (BIM): Ορισμός, τα οφέλη και οι εφαρμογές. Plus Energy LAB

Κ. Πουλιάδης. (2011). BIM: Η νέα προσέγγιση του σύγχρονου τρόπου διαχείρισης Έργων. Περιοδικό ΚΤΙΡΙΟ, Τεύχος 05/2011. ΚΤΙΡΙΟ ΕΚΔΟΣΕΙΣ Ι.Κ.Ε.

Ν. Παναγιωτίδου. Τα πλεονεκτήματα του building information modeling για τους αρχιτέκτονες. Αναρτημένο ηλεκτρονικά στην διεύθυνση <http://buildinggreen.gr>

EU BIM Task Group. (2017). Εγχειρίδιο για την υιοθέτηση της μοντελοποίησης κατασκευαστικών πληροφοριών από τον ευρωπαϊκό δημόσιο τομέα. Ευρωπαϊκή Επιτροπή

Α. Βανδώρος. (2009). Πύργος Πειραιά – ο κοιμώμενος γίγαντας. Αναρτημένο ηλεκτρονικά στην διεύθυνση <https://www.greekarchitects.gr>

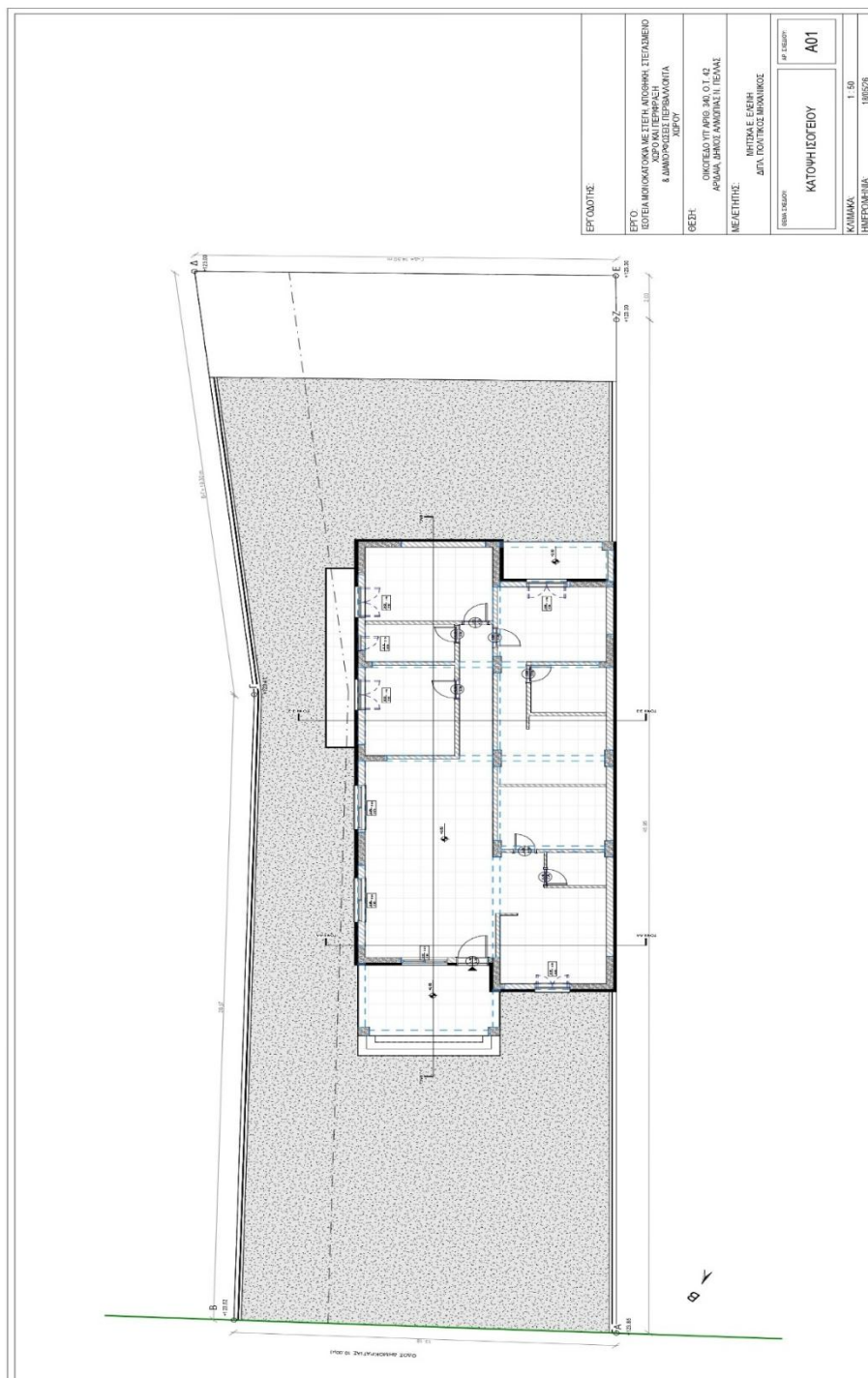
Χ. Αποστολόπουλος, Ε. Μπουσιάς, Π. Τσακανίκα, Ι. Φικίρης. (2003). Τεχνική της Κατασκευής, Αρχές Τεχνολογίας Κατασκευών, Τόμος Β'. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο

Α. Κλεφτοδήμος. (2020). Νέες τεχνολογικές τάσεις. Εικονική και επαυξημένη πραγματικότητα . Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας

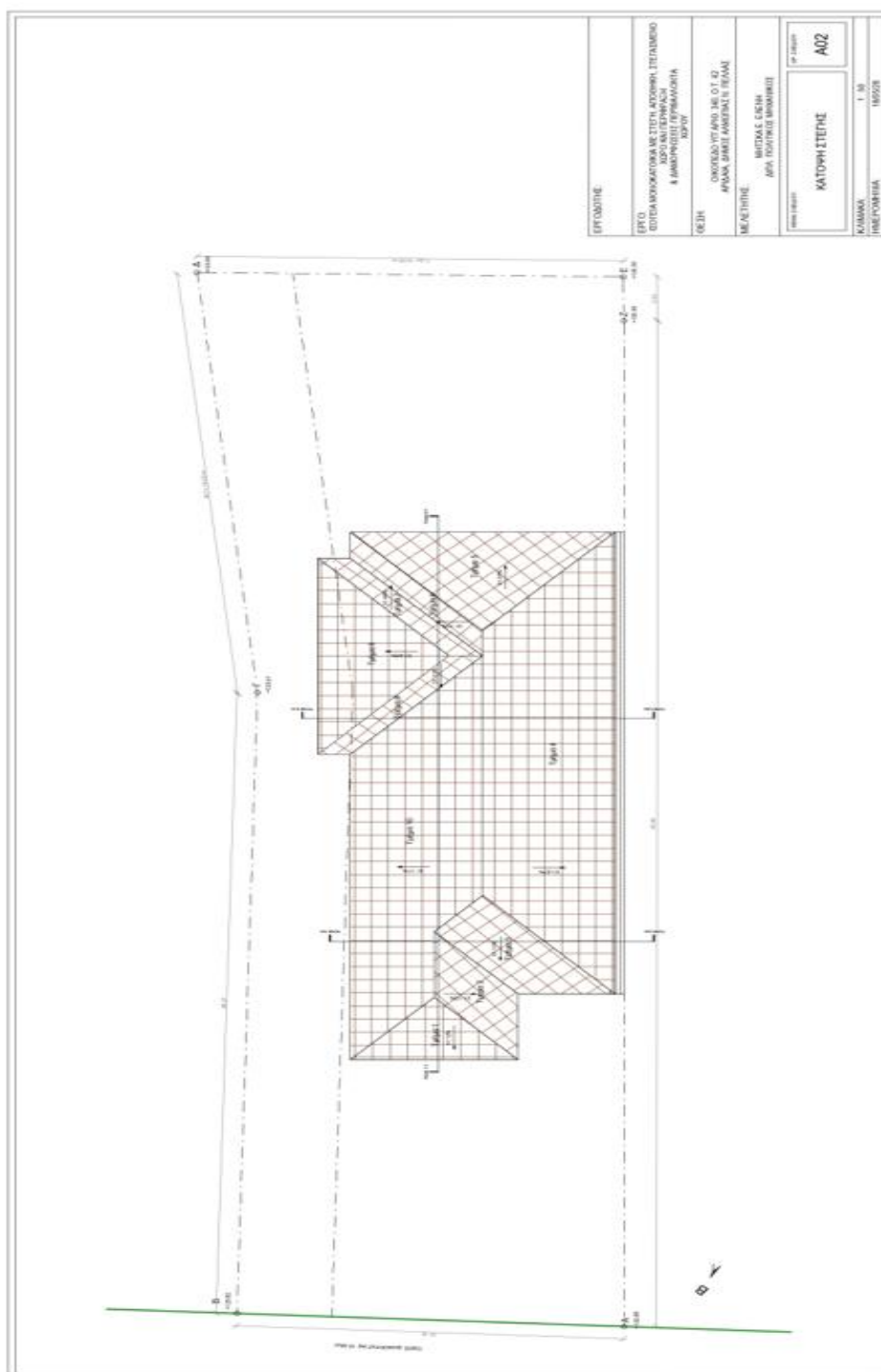
Σ. Ταγκαράκη. (2021). BIM και 4D Μοντελοποίηση – Τι είναι; Ποια τα οφέλη; Αναρτημένο ηλεκτρονικά στην διεύθυνση <https://www.terga.gr>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

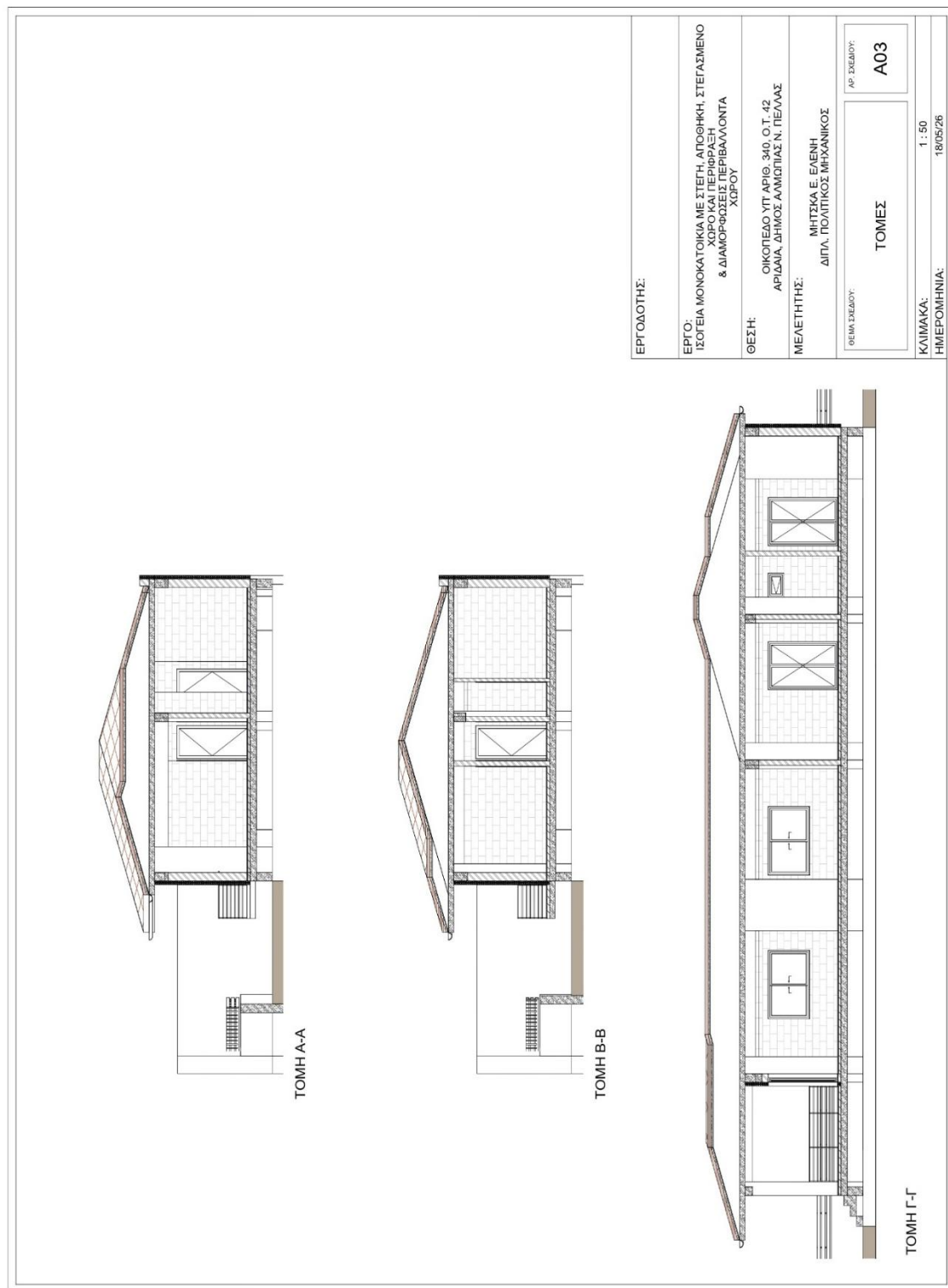
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΤΟΨΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΣΤΟ AUTODESK REVIT



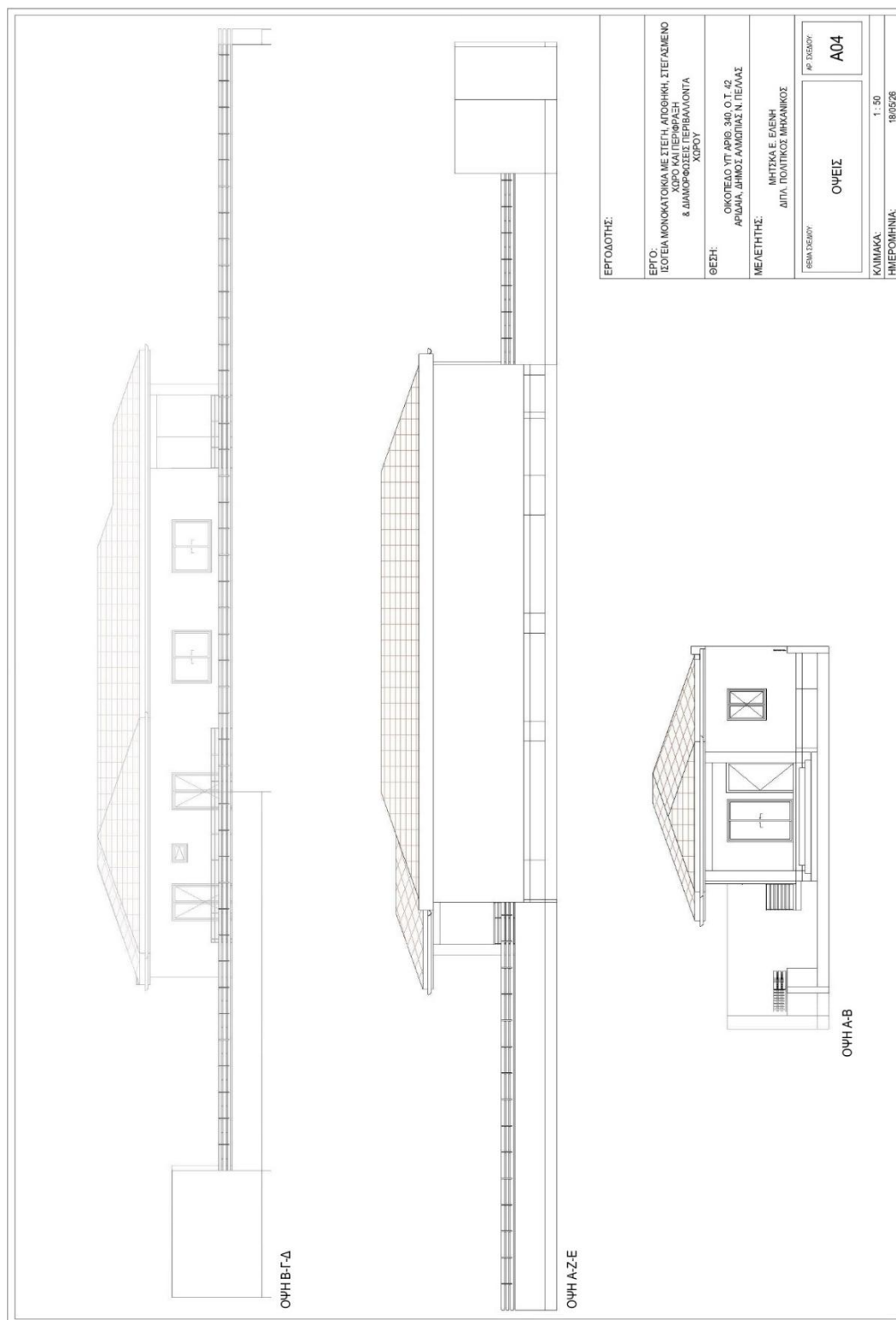
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΤΟΨΗΣ ΣΤΕΓΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΣΤΟ AUTODESK REVIT

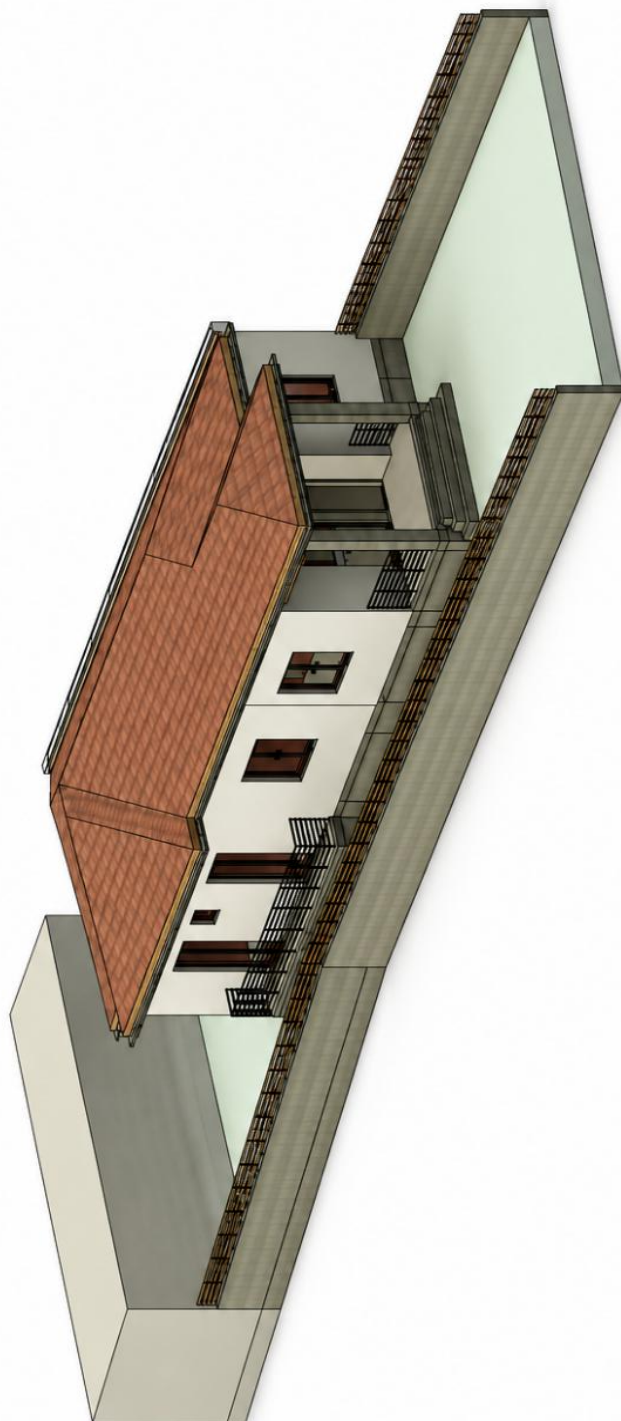


ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΟΜΩΝ ΣΤΟ AUTODESK REVIT



ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΟΨΕΩΝ ΣΤΟ AUTODESK REVIT





Χώροι			
Χώρος	Επιφάνεια	Εμβαδόν Εσωτερικών περιμετρικών τοίχων	
Καθιστικό	46.99 m ²	39.20	
Κουζίνα	18.61 m ²	20.71	
Master Υπνοδωμάτιο	14.96 m ²	19.17	
Υπνοδωμάτιο 2	14.75 m ²	15.50	
Υπνοδωμάτιο 1	12.68 m ²	14.40	
Βεστιάριο	11.61 m ²	15.66	
Laundry	10.64 m ²	13.22	
Master Λουτρό	5.56 m ²	9.50	
Λουτρό	5.27 m ²	9.60	
Pantry	3.07 m ²	7.11	
Σύνολο	144.15 m ²	164.06	

Έλενα Μήτσκα	Πίνακας/Schedule:	ΠΙΝΑΚΑΣ ΧΩΡΩΝ		Ημερομηνία:
	Αρ. Πίνακα:	Έργο:	ΟΙΚΟΠΕΔΟ ΥΠ' ΑΡΙΘ. 340, Ο.Τ. 42 ΑΡΙΔΑΙΑ, ΔΗΜΟΣ ΑΛΜΩΠΙΑΣ Ν. ΠΕΛΛΑΣ	22/05/2026

Πίνακας 1 Παραμετρικός πίνακας χώρων του πληροφοριακού μοντέλου.

Σκυρόδεμα						
Τύπος	Επιφάνεια	Όγκος	Ρυθμός παραγωγής (Ανά ημέρα)	Χρόνος Ολοκλήρωσης	Κόστος Παραγωγής	Κόστος Εργασίας
Floors	419.27 m ²	76.95 m ³	125.00	3.35	120.00	50312.28€
Stairs	14.94 m ²	1.10 m ³	125.00	0.12	120.00	1792.84€
Stairs: Runs	14.94 m ²	1.10 m ³		0.00		0.00€
Structural Columns	230.49 m ²	23.52 m ³	125.00	1.84	120.00	27659.33€
Structural Framing	111.90 m ²	8.09 m ³	125.00	0.90	120.00	13428.08€
Walls	115.01 m ²	28.75 m ³	125.00	0.92	120.00	13801.40€
Σύνολο:	906.56 m ²	139.51 m ³		7.13		106993.92€

Στέγη					
Τμήμα στέγης	Επιφάνεια	Ρυθμός παραγωγής (Ανά ημέρα)	Χρόνος Ολοκλήρωσης	Κόστος Παραγωγής	Κόστος εργασίας
Τμήμα 1	8.51 m²	25.00	0.34	90.00	765.611€
Τμήμα 2	8.95 m²	25.00	0.36	90.00	805.809€
Τμήμα 3	12.72 m²	25.00	0.51	90.00	1144.519€
Τμήμα 4	78.33 m²	25.00	3.13	90.00	7049.539€
Τμήμα 5	21.25 m²	25.00	0.85	90.00	1912.444€
Τμήμα 6	5.52 m²	25.00	0.22	90.00	497.035€
Τμήμα 7	5.25 m²	25.00	0.21	90.00	472.334€
Τμήμα 8	20.88 m²	25.00	0.84	90.00	1878.873€
Τμήμα 9	5.30 m²	25.00	0.21	90.00	477.166€
Τμήμα 10	60.57 m²	25.00	2.42	90.00	5451.329€
Σύνολο	227.27 m²		9.09		20454.647€

Τοιχοποιία Τούβλα						
Τύπος	Τρέχον μέτρο	Επιφάνεια	Όγκος	Ρυθμός παραγωγής (Ανά ημέρα)	Χρόνος Ολοκλήρωσης	Κόστος Εργασίας
Τούβλο 100mm	8.91	24.33 m ²	2.43 m ³	25.00	0.97	973.04€
Τούβλο 150mm	38.85	105.90 m ²	15.88 m ³	25.00	4.24	4235.89€
Τούβλο 200mm	1.35	4.24 m ²	0.85 m ³	25.00	0.17	169.68€
Τούβλο 200mm	21.10	9.92 m ²	2.31 m ³	25.00	0.40	396.73€
Τούβλο 250mm	39.71	97.88 m ²	31.48 m ³	25.00	3.92	3915.22€
Σύνολο	109.92	242.26 m ²	52.95 m ³		9.69	9690.54€

Έλενα Μήτσκα	Πίνακας/Schedule:		ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	Ημερομηνία:
	Αρ. Πίνακα:	Έργο:		
	Π2	ΟΙΚΟΠΕΔΟ ΥΠ' ΑΡΙΘ. 340, Ο.Τ. 42 ΑΡΙΔΑΙΑ, ΔΗΜΟΣ ΑΛΜΩΠΙΑΣ Ν. ΠΕΛΛΑΣ		22/05/2026

Πίνακας 2-Επιμέτρηση δομικών στοιχείων και ενσωμάτωση παραμέτρων χρόνου και κόστους.

Θερμομόνωση						
Τύπος	Επιφάνεια	Ρυθμός παραγωγής (Ανά ημέρα)	Χρόνος Ολοκλήρωσης	Κόστος Παραγωγής	Κόστος Εργασίας	
EPS 100mm	169.83 m²	25.00	6.79	<varies>	7723.644€	
Σύνολο	169.83 m²		6.79		7723.644€	

Χρωματισμοί Εσωτερικών Τοίχων								
Χώρος	Τοιχοποιίες (τρέχον μέτρο)	Επιφάνεια Τοιχοποιίας	Επιφάνεια Οροφής	Επιφάνεια Χρωματισμού	Ρυθμός παραγωγής (Ανά ημέρα)	Χρόνος Ολοκλήρωσης	Κόστος Παραγωγής	Κόστος Εργασίας
Laundry	13.22 m	52.89 m²	10.64 m²	63.53 m²	60.00	0.18	15.00	159.612€
Master Υπνοδωμάτιο	19.17 m	76.66 m²	14.96 m²	91.62 m²	60.00	0.25	15.00	224.388€
Pantry	7.11 m	28.42 m²	3.07 m²	31.49 m²	60.00	0.05	15.00	46.040€
Βεστιάριο	15.66 m	62.65 m²	11.61 m²	74.26 m²	60.00	0.19	15.00	174.174€
Καθιστικό	39.20 m	156.80 m²	46.99 m²	203.79 m²	60.00	0.78	15.00	704.907€
Κουζίνα	20.71 m	82.83 m²	18.61 m²	101.44 m²	60.00	0.31	15.00	279.205€
Υπνοδωμάτιο 2	15.50 m	62.02 m²	14.75 m²	76.77 m²	60.00	0.25	15.00	221.270€
Υποδωμάτιο 1	14.40 m	57.60 m²	12.68 m²	70.28 m²	60.00	0.21	15.00	190.260€
Σύνολο		579.86 m²	133.32 m²	713.19 m²		2.22		1999.856€

Χρωματισμοί Εξωτερικών Τοίχων						
Χώρος	Τρέχον μέτρο	Επιφάνεια	Ρυθμός παραγωγής (Ανά ημέρα)	Χρόνος Ολοκλήρωσης	Κόστος Παραγωγής	Κόστος Εργασίας
Περιμετρικές τοιχοποιίες	58.22	166.18 m²	30.00	5.54	15.00	2492.675€
Σύνολο				5.54		2492.675€

Δάπεδα						
Χώροι	Περιγραφή	Επιφάνεια	Ρυθμός παραγωγής (Ανά ημέρα)	Χρόνος Ολοκλήρωσης	Κόστος Παραγωγής	Κόστος Εργασίας
Laundry	Γρανιτοπλακάκι, Rectified, R10, Matte, d=10mm	10.66 m²	20.00	0.53	30.00	319.824€
Master Υπνοδωμάτιο	Γρανιτοπλακάκι, Rectified, R10, Matte, d=10mm	27.12 m²	20.00	1.36	30.00	813.557€
Master λουτρό	Γρανιτοπλακάκι, Rectified, R10, Matte, d=10mm	5.58 m²	20.00	0.28	30.00	167.433€
Pantry	Γρανιτοπλακάκι, Rectified, R10, Matte, d=10mm	3.09 m²	20.00	0.15	30.00	92.680€
Εξώστης	Γρανιτοπλακάκι, Rectified, R10, Matte, d=10mm	8.15 m²	20.00	0.41	30.00	244.610€
Ημιυπόγειος χώρος Εισόδου	Γρανιτοπλακάκι, Rectified, R10, Matte, d=10mm	15.29 m²	20.00	0.76	30.00	458.736€
Ημιυπόγειος χώρος Λουτρού	Γρανιτοπλακάκι, Rectified, R10, Matte, d=10mm	6.05 m²	20.00	0.30	30.00	181.523€
Υπνοδωμάτιο 1	Γρανιτοπλακάκι, Rectified, R10, Matte, d=10mm	5.71 m²	20.00	0.29	30.00	171.439€
Υπνοδωμάτιο 2	Γρανιτοπλακάκι, Rectified, R10, Matte, d=10mm	13.71 m²	20.00	0.69	30.00	411.195€
Χώρος Δημέρευσης	Γρανιτοπλακάκι, Rectified, R10, Matte, d=10mm	14.77 m²	20.00	0.74	30.00	443.192€
Σύνολο		68.52 m²	20.00	3.43	30.00	2055.582€
		178.66 m²		8.93		5359.771€

Πίνακας/Schedule:			ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ-ΕΠΙΣΤΡΩΣΕΩΝ		Ημερομηνία:
‘Ελενα Μήτσκα		Αρ. Πίνακα:	Έργο:	ΟΙΚΟΠΕΔΟ ΥΠ’ ΑΡΙΘ. 340, Ο.Τ. 42	22/05/2026
		Π3		ΑΡΙΔΙΑ, ΔΗΜΟΣ ΑΛΜΟΠΙΑΣ Ν. ΠΕΛΛΑΣ	

Πίνακας 3- Παραμετρικός πίνακας επενδύσεων και επιστρώσεων

Κουφώματα					
Όνομα κουφώματος	Τύπος κουφώματος	Ύψος	Πλάτος	Ποδιά	
W1	WINDOW-DOUBLE OPENING (xotis rolo)	1.30	1.20	0.90	
W2	WINDOW SLIDING DOUBLE (xotis rolo) BLACK FRAME	2.20	1.60	0.00	
W3	WINDOW SLIDING DOUBLE (xotis rolo) BLACK FRAME	1.30	2.00	0.90	
W4	WINDOW SLIDING DOUBLE (xotis rolo) BLACK FRAME	1.30	2.00	0.90	
W5	WINDOW-DOUBLE OPENING (xotis rolo)	2.20	1.40	0.00	
W6	WINDOW-SINGE OPENING-EXO (xotis rolo)	0.50	0.70	1.70	
W7	WINDOW-DOUBLE OPENING (xotis rolo)	2.20	1.40	0.00	
W8	WINDOW-DOUBLE OPENING (xotis rolo)	2.20	1.40	0.00	

Θύρες					
Επίπεδο	Διαμέρισμα	Ύψος	Πλάτος	Περιγραφή	Τύπος Θύρας
1.1.Σ. ΙΣΟΓΕΙΟ	D1	2.20	1.10	Με κόσσα	ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ
1.1.Σ. ΙΣΟΓΕΙΟ	D2	2.20	0.90	Με κόσσα	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ Τ. ΞΥΛΙΝΗ ΠΡΕΣΣΑΡΙΣΤΗ
1.1.Σ. ΙΣΟΓΕΙΟ	D3	2.20	0.80	Με κόσσα	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ Τ. ΞΥΛΙΝΗ ΠΡΕΣΣΑΡΙΣΤΗ
1.1.Σ. ΙΣΟΓΕΙΟ	D4	2.20	0.90	Με κόσσα	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ Τ. ΞΥΛΙΝΗ ΠΡΕΣΣΑΡΙΣΤΗ
1.1.Σ. ΙΣΟΓΕΙΟ	D5	2.20	0.90	Με κόσσα	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ Τ. ΞΥΛΙΝΗ ΠΡΕΣΣΑΡΙΣΤΗ
1.1.Σ. ΙΣΟΓΕΙΟ	D6	2.20	0.80	Με κόσσα	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ Τ. ΞΥΛΙΝΗ ΠΡΕΣΣΑΡΙΣΤΗ
1.1.Σ. ΙΣΟΓΕΙΟ	D7	2.20	0.80	Με κόσσα	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ Τ. ΞΥΛΙΝΗ ΠΡΕΣΣΑΡΙΣΤΗ
1.1.Σ. ΙΣΟΓΕΙΟ	D8	2.20	0.80	Με κόσσα	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ Τ. ΞΥΛΙΝΗ ΠΡΕΣΣΑΡΙΣΤΗ

Μαρμαροποδιές						
Κούφωμα	Τύπος μαρμάρου	Επιφάνεια	Μοντέλο ίσιο	Ποταμός	Ρυθμός παραγωγής (Ανά ημέρα)	Χρόνος Ολοκλήρωσης
D1	Λευκό μάρμαρο d=20mm	0.12 m²	OXI	OXI	15.00	0.01
W1	Λευκό μάρμαρο d=20mm	0.50 m²	ΑΠΟ ΤΗΝ 1 ΠΛΕΥΡΑ	ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΛΕΥΡΑ ΤΟΥ ΜΟΥΡΕΛΟΥ	15.00	0.03
W2	Λευκό μάρμαρο d=20mm	0.57 m²	OXI	OXI	15.00	0.04
W3	Λευκό μάρμαρο d=20mm	0.83 m²	2 ΠΛΕΥΡΕΣ	ΑΠΟ ΤΗΝ ΜΙΑ ΠΛΕΥΡΑ	15.00	0.06
W4	Λευκό μάρμαρο d=20mm	0.83 m²	2 ΠΛΕΥΡΕΣ	ΑΠΟ ΤΗΝ ΜΙΑ ΠΛΕΥΡΑ	15.00	0.06
W5	Λευκό μάρμαρο d=20mm	0.50 m²	OXI	OXI	15.00	0.03
W6	Λευκό μάρμαρο d=20mm	0.17 m²	ΑΠΟ ΤΗΝ 1 ΠΛΕΥΡΑ	ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΛΕΥΡΑ ΤΟΥ ΜΟΥΡΕΛΟΥ	15.00	0.01
W7	Λευκό μάρμαρο d=20mm	0.50 m²	OXI	OXI	15.00	0.03
W8	Λευκό μάρμαρο d=20mm	0.50 m²	OXI	OXI	15.00	0.03
Σύνολο		4.50 m²				0.30

Έλενα Μήτσκα	Πίνακας/Schedule:		ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ		Ημερομηνία: 22/05/2026
	Αρ. Πίνακα:		Έργο:		
	Π4		ΟΙΚΟΓΕΝΕΟ ΥΠ' ΑΡΙΘ. 340, Ο.Τ. 42 ΑΡΙΔΑΙΑ, ΔΗΜΟΣ ΑΛΜΩΠΙΑΣ Ν. ΠΕΛΛΑΣ		

Πίνακας 4- Παραμετρικοί πίνακες αρχιτεκτονικών στοιχείων του πληροφοριακού μοντέλου

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΦΩΤΟΡΕΑΛΙΣΤΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ ΤΗΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ





ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ











ΤΕΛΟΣ