



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ -
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Διερεύνηση δυνατοτήτων της τεχνολογίας BIM για τη διαχρονική παρακολούθηση και οικονομική διαχείριση της κατασκευής ενός κτιρίου



του Εμμανουήλ Χασάπη

Επιβλέπουσα: Χρυσή Πότσιου, Καθηγήτρια ΣΑΤΜ-ΜΓ, ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2024

Επιβλέπουσα: Χρυσή Πότσιου, Καθηγήτρια ΣΑΤΜ-ΜΓ, ΕΜΠ

Τεχνική Υποστήριξη:

Σοφία Σοϊλέ, Αγρ. Τοπογράφος Μηχ., ΕΔΙΠ ΕΜΠ

Δήμητρα Ανδρίτσου, Αγρ. Τοπογράφος Μηχ.,

Υποψήφια Διδάκτωρ ΕΜΠ

Διερεύνηση δυνατοτήτων της τεχνολογίας BIM για τη διαχρονική παρακολούθηση και οικονομική διαχείριση της κατασκευής ενός κτιρίου.

Εμμανουήλ Χασάπης

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η παρουσίαση της τεχνολογίας **BIM (Building Information Modelling)** για τη μοντελοποίηση ενός σύνθετου νεοσύστατου κτιριακού συγκροτήματος, τη μελέτη και ανάλυση του χρονοδιαγράμματος κατασκευής/υλοποίησης του έργου, αλλά και τον υπολογισμό του κόστους ανέγερσης.

Αρχικά, επειδή πρόκειται για μία νέα τεχνολογία στον τομέα των κατασκευών, πραγματοποιείται μία εισαγωγή στο σύγχρονο κατασκευαστικό κλάδο, καθώς και στις απαιτήσεις και δυσκολίες που τον διέπουν. Ακόμα, γίνεται μία ευρεία βιβλιογραφική ανασκόπηση επί του θέματος, ενώ συγχρόνως αναπτύσσονται βασικές έννοιες του BIM που βοηθούν στην κατανόησή του. Έπειτα, παρουσιάζεται αναλυτικά η διαδικασία δημιουργίας του ψηφιακού κτιριακού μοντέλου, καθώς και τα χαρακτηριστικά που το καθιστούν μοντέλο BIM. Σκοπός του συγκεκριμένου σταδίου είναι η πλήρης και ρεαλιστική τρισδιάστατη απεικόνιση του συγκροτήματος. Στη συνέχεια, το μοντέλο αυτό χρησιμοποιείται για τον χρονικό προγραμματισμό και την εκτίμηση κόστους του έργου, ολοκληρώνοντας έτσι την κατασκευαστική προσέγγισή του. Μέσα από τη μελέτη αυτή, γίνονται εμφανή τα πολλαπλά οφέλη που μπορεί κανείς να αποκομίσει υιοθετώντας αυτή τη νέα τεχνολογία.

Η συναρμογή του ψηφιακού μοντέλου πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα Revit 2020 της εταιρείας Autodesk, ενώ ο χρονικός προγραμματισμός και η εκτίμηση κόστους της κατασκευής υλοποιήθηκαν με τη χρήση του λογισμικού Bexel Manager.

Τέλος, παρουσιάζονται κάποια γενικά συμπεράσματα που πηγάζουν από την ολοκλήρωση της εργασίας, τα οποία μαρτυρούν την αποδοτικότητα της BIM τεχνολογίας στον κατασκευαστικό κλάδο, ενώ ταυτόχρονα γίνεται μία πρόταση ορισμένων μελλοντικών εξελίξεων, προκειμένου η χρήση του BIM να γίνει ευρέως διαδεδομένη και στην Ελλάδα.

Abstract

The subject of this thesis is the presentation of **BIM (Building Information Modelling)** technology for the modeling of a newly established building complex, the study and analysis of the construction/implementation schedule, as well as the cost estimation of the project.

Initially, because it is a new technology in construction field, an introduction is made to the modern construction industry, as well as to the requirements and difficulties that govern it. In addition, there is an extended literature review on the subject, while at the same time basic concepts of BIM are developed helping to understand it. Next, the process of creating the digital building model is presented in detail, as well as the features that make it a Bim model. The purpose of this stage is the complete and realistic 3D visualization of the complex. This model is then used to schedule and estimate the cost of the project, thus completing its construction approach. Through this study, the multiple benefits that one can get by adopting this new technology become apparent.

The assembly of the digital model was carried out with the program Revit 2020 by Autodesk, while time scheduling and cost estimation of the construction was carried out using the Bexel Manager software.

Finally, some general conclusions stemming from the above procedures are presented, which testify to the efficiency of BIM technology in the construction industry, while at the same time a proposal is made for future circumstances, in order for the use of BIM to become widespread in Greece as well.

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή.....	1
1.1 Η κατασκευαστική βιομηχανία	1
1.2 Ιστορική Αναδρομή	2
1.3 Ο ρόλος του BIM	3
1.4 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας.....	5
Κεφάλαιο 2 – Βασικές έννοιες του BIM.....	7
2.1 Η εξέλιξη του BIM.....	7
2.2 Επίπεδα λεπτομέρειας LOD στο μοντέλο	9
2.3 Οι διαστάσεις του BIM	11
2.4 Η έννοια της διαλειτουργικότητας (Interoperability of BIM)	14
2.5 Τα διαφορετικά επίπεδα ενός BIM μοντέλου.....	15
2.6 Σύγκριση BIM και CAD.....	17
2.7 Τα πρότυπα BIM.....	20
2.8 Οφέλη του BIM.....	21
2.9 Κίνδυνοι του BIM	25
2.10 Συνδυασμός BIM με άλλες τεχνολογίες.....	27
Κεφάλαιο 3 – Το μοντέλο στο Revit	33
3.1 Ο 3D σχεδιασμός στα πλαίσια του BIM	33
3.2 Η επιλογή του Revit.....	34
3.3 Η δημιουργία του μοντέλου BIM.....	36
3.3.1 Μερικά λόγια για το έργο	36
3.3.2 Χωροθέτηση του μοντέλου	37
3.3.3 Δημιουργία επιπέδων του μοντέλου.....	38
3.3.4 Ο σκελετός του κτιρίου	39
3.3.5 Τοιχοποιϊές	42
3.3.6 Κουφώματα και πόρτες	46
3.3.7 Δάπεδα.....	48
3.3.8 Αρχιτεκτονικά στοιχεία και κιγκλιδώματα.....	52
3.3.9 Διαμόρφωση περιβάλλοντα χώρου	53
3.4 Παρουσίαση μοντέλου.....	56
Κεφάλαιο 4 – Η επεξεργασία στο Bexel Manager	65
4.1 Ο ρόλος του Bexel Manager	65

4.1.1	Εισαγωγή.....	65
4.1.2	Τι είναι το Bexel Manager	65
4.1.3	Ο ρόλος του Bexel Manager στην τεχνολογία BIM.....	66
4.2	Η εισαγωγή του μοντέλου στο Bexel Manager	67
4.3	Ο σχεδιασμός BIM σε 4D.....	69
4.3.1	Εισαγωγή.....	69
4.3.2	Οι φάσεις της κατασκευής.....	69
4.3.3	Ο χρονικός προγραμματισμός (4D Σχεδιασμός).....	71
4.3.4	Το αποτέλεσμα του 4D σχεδιασμού	78
4.4	Η εκτίμηση κόστους (5D Σχεδιασμός).....	80
4.4.1	Εισαγωγή.....	80
4.4.2	Μέτρηση ποσοτήτων	80
4.4.3	Διαμόρφωση οικονομικού προϋπολογισμού	83
4.5	Σύνδεση μεταξύ 4D & 5D σχεδιασμού.....	87
4.5.1	Συσχέτιση των διαστάσεων σχεδιασμού.....	87
4.5.2	Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	89
Κεφάλαιο 5 – Κατακλείδα.....		92
5.1	Συμπεράσματα	92
5.2	Προτάσεις και μελλοντική εξέλιξη	93
Βιβλιογραφία		95

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 2.1: Η υιοθέτηση του BIM με την πάροδο του χρόνου	8
Εικόνα 2.2: Τα επίπεδα λεπτομέρειας του μοντέλου	9
Εικόνα 2.3: Οι διαστάσεις του BIM	12
Εικόνα 2.4: Τα επίπεδα ωριμότητας του μοντέλου	15
Εικόνα 2.5: Σύγκριση στοιχείων BIM και CAD	17
Εικόνα 2.6: Σφάλμα ασυμβατότητας μεταξύ δομικών στοιχείων	18
Εικόνα 2.7: Το γράφημα MacLeamy Curve	19
Εικόνα 2.8: Τα οφέλη του BIM	22
Εικόνα 2.9: Οι κίνδυνοι του BIM	25
Εικόνα 2.10: Ο συνδυασμός BIM με άλλες τεχνολογίες.....	28
Εικόνα 2.11: Το Cloud BIM	30
Εικόνα 2.12: Συνδυασμός BIM και GIS.....	32
Εικόνα 3.1: Γεωγραφικός εντοπισμός του έργου	36
Εικόνα 3.2: Τα ίχνη των κτιρίων	37
Εικόνα 3.3: Η γεωαναφορά του μοντέλου	38
Εικόνα 3.4: Τα επίπεδα του μοντέλου	39
Εικόνα 3.5: Η οροφή του 3 ^{ου} ορόφου σε δύο διαφορετικά προγράμματα	40
Εικόνα 3.6: Η απόδοση των στοιχείων του σκελετού του κτιρίου	41
Εικόνα 3.7: Μία προοπτική απεικόνιση του σκελετού του κτιρίου	42
Εικόνα 3.8: Τα τοιχεία του υπογείου	43
Εικόνα 3.9: Οι τοιχοποιίες της κατασκευής	44
Εικόνα 3.10: Το κέλυφος του κτιρίου	45
Εικόνα 3.11: Η εξωτερική θερμομόνωση του κτιρίου	46
Εικόνα 3.12: Τα κουφώματα της κατασκευής	47
Εικόνα 3.13: Οι πόρτες των διαμερισμάτων	48
Εικόνα 3.14: Οι διαφορετικοί τύποι δαπέδων του κτιρίου	50
Εικόνα 3.15: Η ψηφιακή αναπαράσταση του εσωτερικού του κτιρίου	51
Εικόνα 3.16: Τα κιγκλιδώματα των εξωστών	52
Εικόνα 3.17: Η προσθήκη των αρχιτεκτονικών στοιχείων.....	53
Εικόνα 3.18: Η διαμόρφωση του περιβάλλοντα χώρου στο πίσω τμήμα του οικοπέδου	54
Εικόνα 3.19: Η διαμόρφωση του περιβάλλοντα χώρου επί της οδού Βασιλέως Πάυλου.....	54
Εικόνα 3.20: Η τρισδιάστατη αναπαράσταση της περιοχής	55
Εικόνα 3.21: Κάτοψη Υπογείου.....	57
Εικόνα 3.22: Κάτοψη Ισογείου.....	57
Εικόνα 3.23: Κάτοψη Α' Ορόφου	58
Εικόνα 3.24: Κάτοψη Γ' Ορόφου.....	58
Εικόνα 3.25: Κάτοψη Σοφίτας.....	59
Εικόνα 3.26: Πρόσοψη του κτιρίου	60
Εικόνα 3.27: Νότια όψη	60
Εικόνα 3.28: Δυτική όψη.....	61

Εικόνα 3.29: Ενδεικτική τομή του κτιρίου από το Revit	62
Εικόνα 3.30: Η τρισδιάστατη αναπαράσταση του έργου	64
Εικόνα 4.1: Η εισαγωγή του μοντέλου στο Bexel Manager.....	67
Εικόνα 4.2: Η διατήρηση των δεδομένων του μοντέλου	68
Εικόνα 4.3: Η λογική σύνδεση μεταξύ των φάσεων κατασκευής	70
Εικόνα 4.4: Η λογική σύνδεση μεταξύ των εργασιών της 1 ^{ης} φάσης	71
Εικόνα 4.5: Η σειρά των επιμέρους εργασιών κάθε ορόφου	72
Εικόνα 4.6: Η απόδοση της μεταβλητής του χρόνου στην 1 ^η φάση	73
Εικόνα 4.7: Γραμμική αναπαράσταση του χρονικού προγραμματισμού.....	74
Εικόνα 4.8: Η αλληλουχία των εργασιών της 2 ^{ης} φάσης	75
Εικόνα 4.9: Η απόδοση της μεταβλητής του χρόνου στην 2 ^η φάση	76
Εικόνα 4.10: Η διαχείριση του στοιχείου των δαπέδων.....	77
Εικόνα 4.11: Η απόδοση της μεταβλητής του χρόνου στην 3 ^η φάση	78
Εικόνα 4.12: Η πρόοδος της κατασκευής σε δεδομένο χρονικό σημείο	79
Εικόνα 4.13: Υπολογισμός κυβικών μέτρων σκυροδέτησης.....	81
Εικόνα 4.14: Υπολογισμός εξωτερικών τοίχων και δαπέδων	81
Εικόνα 4.15: Κατηγοριοποίηση κουφωμάτων και πορτών.....	82
Εικόνα 4.16: Υπολογισμός κιγκλιδωμάτων και περιφραξής.....	82
Εικόνα 4.17: Απόδοση τιμών στα επιμέρους στοιχεία της κατασκευής	85

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 2-1: 4D σχεδιασμός και LOD μοντέλου	12
Πίνακας 2-2: 5D σχεδιασμός και LOD μοντέλου	13
Πίνακας 4-1: Οι φάσεις κατασκευής.....	70
Πίνακας 4-2: Το κόστος κάθε στοιχείου	84

Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή

1.1 Η κατασκευαστική βιομηχανία

Ο κλάδος της κατασκευαστικής βιομηχανίας αποτελεί τη θεμελιώδη βάση για την παγκόσμια ανάπτυξη υποδομών, περιλαμβάνοντας ένα τεράστιο φάσμα δραστηριοτήτων. Είναι ένας δυναμικός και πολυδιάστατος τομέας που διαδραματίζει κομβικό ρόλο στην οικονομική ανάπτυξη και πρόοδο των εθνών. Η τεχνολογική εξέλιξη των τελευταίων ετών έχει συμβάλει σε μεγάλο βαθμό στην βελτιστοποίηση των μεθόδων και των μέσων που χρησιμοποιούνται στην κατασκευαστική διαδικασία. Με τον πληθυσμό να αυξάνεται και τις περιοχές να αστικοποιούνται, η ζήτηση για νέες καινοτόμες ιδέες, καθώς και η συντήρηση και ενίσχυση των υπαρχόντων, είναι πιο έντονη από ποτέ.

Η σημαντικότητα του συγκεκριμένου κλάδου εκτείνεται σε πτυχές τόσο του φυσικού όσο και του ανθρώπινου περιβάλλοντος. Αρχικά, πρόκειται για τον πρωταρχικό παράγοντα που καθορίζει τη διαμόρφωση του φυσικού περιβάλλοντος. Επομένως, συμβάλλει άμεσα στην αύξηση του βιοτικού επιπέδου, καθώς μέσω των κατασκευών βελτιώνεται η συνδεσιμότητα μεταξύ περιοχών. Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι κατασκευών, καθένας από τους οποίους εξυπηρετεί βασικές ανθρώπινες ανάγκες. Μία από αυτές είναι η κάλυψη των αναγκών στέγης, ιδιαίτερα σε μια περίοδο που ο πληθυσμός παρουσιάζει μια αυξητική τάση. Παράλληλα, οι ανάγκες του ανθρώπου για εκπαίδευση και ιατρική περίθαλψη εξυπηρετούνται από κτίρια ειδικών προδιαγραφών, ενώ οι μεταφορές καλύπτονται και αυτές από τον συγκεκριμένο τομέα με την κατασκευή δρόμων, γεφυρών, αεροδρομίων κ.α. Ακόμα, η κατασκευαστική βιομηχανία συνιστά έναν κλάδο που ενισχύει σημαντικά την οικονομική δραστηριότητα των εθνών, καθώς προσελκύει διαφόρων τύπων επενδύσεις. Εκτός αυτού, ο τομέας αυτός παρέχει ένα μεγάλο αριθμό θέσεων εργασίας, από μηχανικούς μέχρι εργάτες και τεχνίτες. Επομένως, η εξέλιξη της κατασκευαστικής βιομηχανίας αποτελεί έναν από τους βασικούς, αν όχι τον βασικότερο, παράγοντα για την ευρύτερη ανάπτυξη και τον εκσυγχρονισμό του ανθρώπου. (<https://summitfleet.com/blog/construction-industry/>)

1.2 Ιστορική Αναδρομή

Οι πρώτες εξελίξεις που αποτέλεσαν αφετηρία για τον τομέα των κατασκευών παρατηρήθηκαν στους αρχαίους πολιτισμούς της Αιγύπτου, της Ελλάδας και της Ρώμης μέσα από διάφορα ιστορικά ευρήματα αρχαιολόγων. Καθώς ο πληθυσμός αυξανόταν και περισσότεροι άνθρωποι εγκαταστάθηκαν στις πόλεις, η κλίμακα και το εύρος των κατασκευών μεγάλωσαν. Οι άνθρωποι ξεκίνησαν να χτίζουν όλο και πιο εξελιγμένες υποδομές, η υλοποίηση των οποίων χρειαζόταν μηχανικούς, υλικά και καθοδήγηση. Η βιομηχανία, όπως την γνωρίζουμε σήμερα διαμορφώθηκε τον 16^ο αιώνα με τους μηχανικούς να αναγνωρίζονται ως ξεχωριστό επάγγελμα το οποίο απαιτούσε εξειδικευμένη εκπαίδευση. Η εξέλιξη της σύγχρονης επιστήμης συνόδευσε την άνοδο του κατασκευαστικού κλάδου, καθώς οι επιστημονικές ανακαλύψεις επέτρεψαν σε άτομα του χώρου να πειραματιστούν με νέες μεθόδους. Σε συνδυασμό με την τεχνολογική πρόοδο που σημειώθηκε κατά τη διάρκεια της βιομηχανικής επανάστασης του 19^{ου} αιώνα, αυτές οι καινοτομίες πυροδότησαν ένα μεγάλο κύμα αλλαγών στις κατασκευές (Rachel Jones et. al, 2022).

Τα τελευταία χρόνια, σε παγκόσμιο επίπεδο, έχουν πραγματοποιηθεί σημαντικά κατασκευαστικά έργα, καθώς και έργα υποδομών μεγάλης κλίμακας, γεγονός που δείχνει την σημαντικότητα και την εξέλιξη του κλάδου. Σήμερα, η κατασκευαστική βιομηχανία εστιάζει πολύ στη βιωσιμότητα των κατασκευών, καθώς έννοιες όπως η κλιματική αλλαγή και η επίδραση του ανθρώπου στο φυσικό περιβάλλον γίνονται όλο και πιο κρίσιμες. Πλέον, σκοπός των κατασκευών, μεταξύ άλλων, είναι η μείωση του αποτυπώματος στο περιβάλλον, τόσο κατά τη διάρκεια κατασκευής, όσο και κατά τη διάρκεια λειτουργίας.

Γενικότερα, ο κλάδος αντιμετωπίζει πολλές προκλήσεις, συμπεριλαμβανομένων των ανησυχιών για τη βιωσιμότητα, των υπερβάσεων κόστους, των θεμάτων ασφαλείας και την ανάγκη για βελτιωμένη απόδοση. Ωστόσο, αυτές οι προκλήσεις λειτουργούν ταυτόχρονα σαν ευκαιρίες για καινοτομία και αναζήτηση νέων τρόπων προσέγγισης των κατασκευών. Στο σημείο αυτό, καθοριστικός είναι ο ρόλος της ενσωμάτωσης νέων τεχνολογιών στην κατασκευαστική διαδικασία με μεθόδους που έχουν φέρει

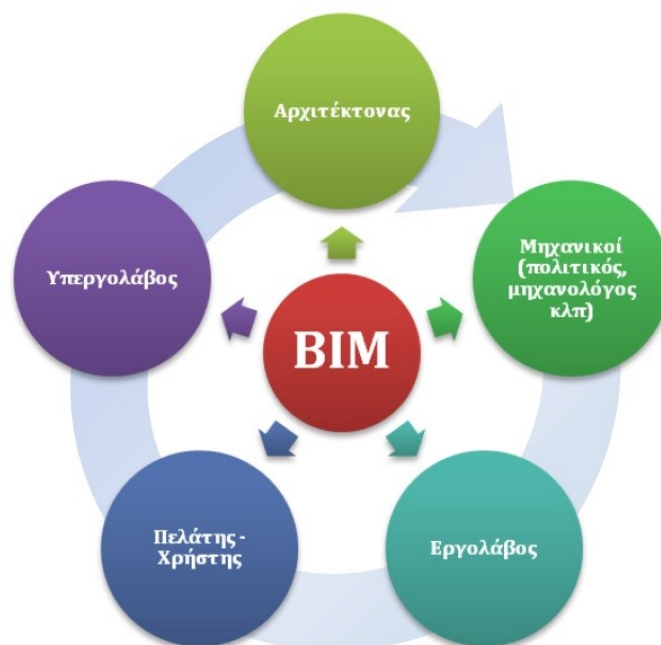
επανάσταση στις παραδοσιακές ροές εργασίες, ενισχύοντας την αποτελεσματικότητα, την ακρίβεια και τη συνεργασία μεταξύ των ενδιαφερόμενων.

1.3 Ο ρόλος του BIM

Ο όρος **BIM (Building Information Modeling)**, ή αλλιώς Μοντελοποίηση Δομικών Πληροφοριών αναφέρεται σε μία συνεχή διαδικασία που πραγματοποιείται σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής ενός έργου, από το στάδιο της μελέτης, του σχεδιασμού και της κατασκευής, έως το στάδιο της λειτουργίας και της συντήρησης. Ουσιαστικά, πρόκειται για τη δημιουργία μίας βάσης που επιτρέπει την εισαγωγή και τη διαχείριση δεδομένων και κτιριακών πληροφοριών, αποτέλεσμα της οποίας είναι η πλήρης αναπαράσταση, τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά, του εκάστοτε έργου. Επομένως, γίνεται αντιληπτό ότι το BIM δεν πρόκειται για κάποιο σχεδιαστικό πρόγραμμα, αλλά για μία εργασία αποτελούμενη από οντότητες με τεχνικά χαρακτηριστικά, αποτέλεσμα της οποίας είναι η ολοκληρωμένη ψηφιακή απεικόνιση.

Σύμφωνα με την **NBIMS (National BIM Standard)** που εδρεύει στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής το BIM ορίζεται ως εξής: *“Το BIM είναι μία ψηφιακή αναπαράσταση των φυσικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών μίας εγκατάστασης. Ένα BIM είναι ένας κοινός πόρος γνώσης για πληροφορίες σχετικά με μία εγκατάσταση που αποτελεί μία αξιόπιστη βάση για αποφάσεις κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής της. Μία βασική προϋπόθεση του BIM είναι η συνεργασία διαφορετικών ενδιαφερόμενων σε διαφορετικές φάσεις του κύκλου ζωής μίας εγκατάστασης για την εισαγωγή, εξαγωγή, ενημέρωση ή τροποποίηση πληροφοριών στο BIM για υποστήριξη και αντικατοπτρισμό των ρόλων αυτού του ενδιαφερόμενου”* (National BIM Standard, 2013).

Σύμφωνα με τα παραπάνω, το BIM μπορεί να θεωρηθεί μία εικονική διαδικασία που περιλαμβάνει όλες τις πληροφορίες μίας εγκατάστασης σε ένα ενιαίο μοντέλο, επιτρέποντας έτσι σε όλα τα μέλη της εκάστοτε ομάδας (ιδιοκτήτες, μηχανικούς, εργολάβους, υπερεργολάβους και προμηθευτές) να συνεργάζονται με μεγαλύτερη ακρίβεια και αποτελεσματικότητα.



Εικόνα 1.1: Η συνεργασία μέσω του BIM (<https://www.digitalconstructions.eu/el/>)

Οι απώτεροι στόχοι του BIM είναι η αύξηση της απόδοσης και της ποιότητας των κατασκευών, η βελτίωση της συνεργασίας και επικοινωνίας μεταξύ ατόμων διαφορετικών ειδικοτήτων για τη λήψη αποφάσεων, ο περιορισμός του κόστους κατασκευής και πολλά ακόμα τα οποία επιτυγχάνει σε μεγάλο βαθμό και αναλύονται παρακάτω.

Η κατασκευή του νέου αερολιμένα στο Βρανδεμβούργο της Γερμανίας αποτελεί ένα από τα πιο αντιπροσωπευτικά γεγονότα της σύγχρονης ιστορίας που μαρτυρούν την επιτακτική ανάγκη για υιοθέτηση νέων μεθόδων και τεχνολογικών μέσων στην κατασκευαστική βιομηχανία. Πιο αναλυτικά, το συγκεκριμένο έργο χαρακτηρίστηκε ως “μία ιστορία αποτυχίας και ντροπής” για τη χώρα, καθώς τέθηκε σε λειτουργία σχεδόν μία δεκαετία μετά την αρχική ημερομηνία παράδοσής του. Το γεγονός αυτό φαίνεται να προκλήθηκε από τον πρόχειρο και ελλιπή αρχικό του σχεδιασμό, ο οποίος προκάλεσε σοβαρές δυσκολίες στη λήψη αποφάσεων κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Τα παραπάνω, σε συνδυασμό με την κακή διαχείριση των κυρίων του έργου, οδήγησαν σε κρίσιμα κατασκευαστικά λάθη, με αποτέλεσμα ο αερολιμένας να μην ανταποκρίνεται στις αρχικές του προδιαγραφές. Όπως είναι λογικό, ο οικονομικός προϋπολογισμός του έργου ξέφυγε κατά πολύ, καθιστώντας το ένα

“αγκάθι” στη σύγχρονη ιστορία της Γερμανίας. (Dr. Thomas D. Zweifel et. al, 2023), (William Noah Glucroft et. al, 2020)

Από το παραπάνω παράδειγμα γίνονται εμφανείς οι συνέπειες που συνοδεύουν την κακή προσέγγιση μίας κατασκευής, καθώς και η ανάγκη για εφαρμογή νέων μεθόδων και τεχνολογιών που καθιστούν την κατασκευαστική διαδικασία περισσότερο αποδοτική. Τα τελευταία χρόνια, υιοθετείται και εξελίσσεται με ραγδαίους ρυθμούς η τεχνολογία **BIM (Building Information Modeling)**, που θεωρείται η πλέον κατάλληλη για τη διαχείριση τεχνικών έργων. Η συγκεκριμένη τεχνολογία ξεπερνά τους περιορισμούς των παραδοσιακών μεθόδων, προσδίδοντας πολλά οφέλη στον τομέα αυτό. Περισσότερα σχετικά με την έννοια BIM αναφέρονται σε επόμενο κεφάλαιο.

1.4 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία πραγματεύεται την αξιοποίηση της BIM τεχνολογίας στον κατασκευαστικό κλάδο. Ακόμα, στόχος της είναι η δημιουργία ενός ολοκληρωμένου BIM μοντέλου μίας πραγματικής as-designed οικιστικής κατασκευής, η δημιουργία του οποίου πραγματοποιείται σε περιβάλλον Revit. Μέσα από αυτό, επιτυγχάνεται η κατανόηση της διαδικασίας δημιουργίας του μοντέλου, καθώς και του περιεχομένου του. Τέλος, το παραπάνω μοντέλο χρησιμοποιείται για την ανάλυσή του χρονικού προγραμματισμού και οικονομικού προϋπολογισμού του έργου, δύο επίπεδα σχεδιασμού που διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στον τομέα των κατασκευών. Η διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται με τη χρήση του προγράμματος Bexel Manager.

Παρακάτω, αναφέρονται επιγραμματικά οι στόχοι της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

- Επισήμανση της ανάγκης για εκμετάλλευση της τεχνολογικής προόδου και στον τομέα των κατασκευών, ξεπερνώντας τις παραδοσιακές μεθόδους.
- Κατανόηση της έννοιας **BIM (Building Information Modeling)** και της χρησιμότητάς του στην κατασκευαστική βιομηχανία.

- Αναλυτική παρουσίαση της διαδικασίας δημιουργίας ενός **BIM** μοντέλου σε περιβάλλον Revit και κατανόηση των περιεχομένων του μοντέλου.
- Ανάλυση του 4D σχεδιασμού, δηλαδή την προσθήκη της μεταβλητής του χρόνου στο μοντέλο και της συνεισφοράς του στον κατασκευαστικό τομέα.
- Ανάλυση του 5D σχεδιασμού, δηλαδή την προσθήκη της μεταβλητής του κόστους στο μοντέλο.

Κεφάλαιο 2 – Βασικές έννοιες του BIM

2.1 Η εξέλιξη του BIM

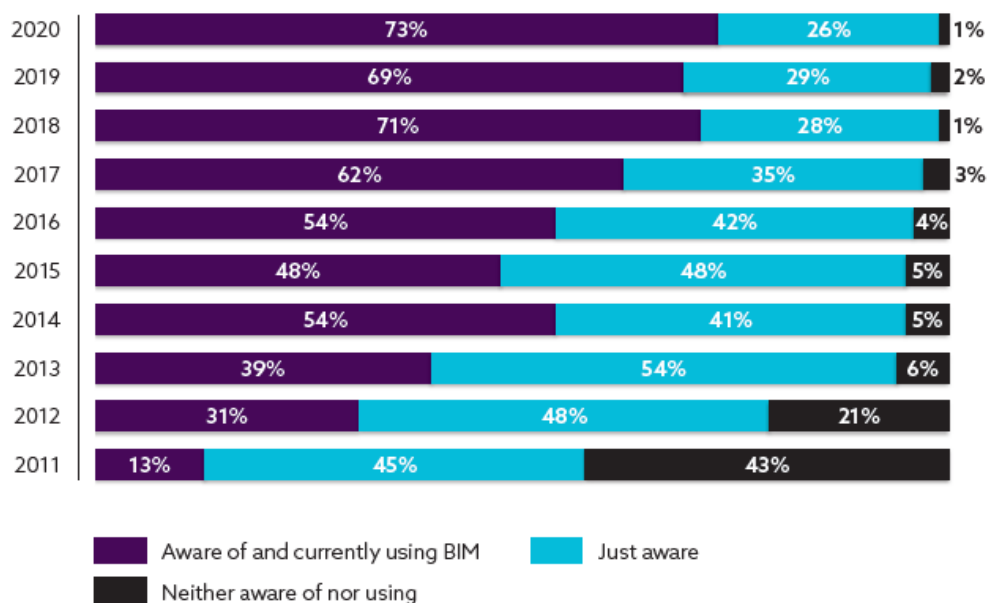
Το BIM είναι μία έννοια που έκανε την εμφάνισή της πριν από δεκαετίες, όμως δεν υπήρχε η κατάλληλη τεχνογνωσία να την υποστηρίξει. Το όραμα για τη δημιουργία μίας ενιαίας πλατφόρμας συγκέντρωσης δεδομένων πέτυχε για πρώτη φορά ο αρχιτέκτονας Charles Eastman (1940-2020), ο οποίος θεωρείται ο “πατέρας του BIM”. Κατά τη δεκαετία του '80 έκαναν την εμφάνιση τους τα πρώτα λογισμικά που επιτρέπουν τη διαδραστική δημιουργία και τροποποίηση σχεδίων, χωρίς όμως να αποτελούν πλήρη λύση BIM για τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου μοντέλου. Ακολούθησε η επινόηση και η ανάπτυξη του όρου συνοδευόμενη από προηγμένα λογισμικά που έχουν τη δυνατότητα να ενσωματώνουν πληροφορίες για τα υλικά, τις διαστάσεις, τις διαδικασίες και άλλα στοιχεία του κτιρίου. (<https://www.infotechinc.com/blog/the-history-evolution-of-bim-how-far-weve-come/>)

Πλέον, ο όρος είναι ευρέως διαδεδομένος με πολλές κατασκευαστικές εταιρείες να έχουν υιοθετήσει τη συγκεκριμένη μεθοδολογία, ενώ ταυτόχρονα έχουν εξελιχθεί πολύπλοκα λογισμικά που επιτρέπουν την πλήρη και αναλυτική εφαρμογή BIM σε οποιοδήποτε στάδιο της κατασκευής.

Η χρήση του BIM έχει επεκταθεί παγκοσμίως και έχει επιφέρει σημαντικές αλλαγές στον τρόπο που εκτελούνται τα κατασκευαστικά έργα. Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, η υιοθέτηση του BIM διαφέρει ανάλογα με τις κυβερνητικές πολιτικές, τους κανονισμούς και το βαθμό ωριμότητας της αγοράς. Ορισμένες χώρες έχουν επιβάλει υποχρεωτικές απαιτήσεις χρήσης BIM για δημόσια έργα, ενώ άλλες ενθαρρύνουν την εθελοντική χρήση. Για παράδειγμα, στο Ηνωμένο Βασίλειο, η κυβέρνηση έχει θέσει στόχους για τη στρατηγική χρήση του σε οποιοδήποτε έργο του δημοσίου τομέα, ενώ παράλληλα σε χώρες όπως η Γερμανία, η Ολλανδία, η Γαλλία και η Πολωνία, η υιοθέτηση του BIM είναι επίσης υψηλή. Στην Ελλάδα, η χρήση του έχει ξεκινήσει να επεκτείνεται, κυρίως σε μεγάλα έργα και σε εταιρείες που επιδιώκουν την καινοτομία στον τομέα της κατασκευής. (<https://www.novatr.com/blog/bim-adoption-around-the-world-global-overview>)

Η παρακάτω εικόνα είναι χαρακτηριστική της επιρροής αυτής της τεχνολογίας, καθώς την τελευταία δεκαετία, σε παγκόσμιο επίπεδο, έχει αυξηθεί δραματικά η χρήση της. Πλέον, είναι μία έννοια ευρέως διαδεδομένη, η οποία σταδιακά υιοθετείται από τις κατασκευαστικές εταιρίες ολοένα και περισσότερο

BIM adoption over time



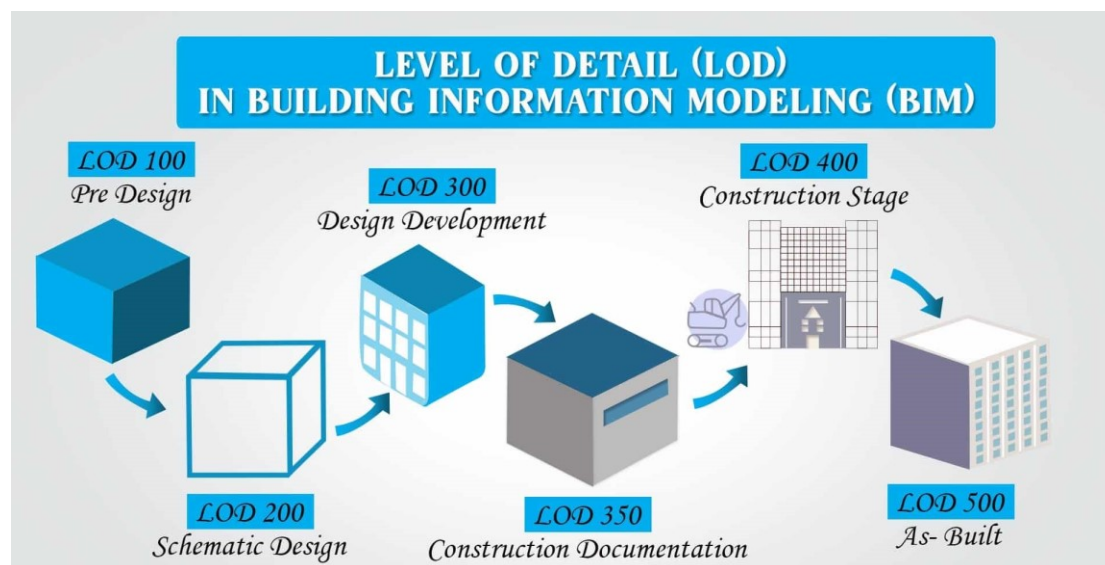
Εικόνα 2.1: Η υιοθέτηση του BIM με την πάροδο του χρόνου (<https://www.planradar.com/>)

Συγχρόνως, η μεθοδολογία αυτή έχει εφαρμοστεί και από άλλες ηπείρους εκτός της Ευρώπης, με την Αμερική να μετρά ήδη αρκετά χρόνια εμπειρίας στον τομέα αυτό.

Συνολικά, η εξέλιξη του BIM συνεχίζεται με τάση την αυξανόμενη υιοθέτηση σε παγκόσμιο επίπεδο, καθώς οι ενδιαφερόμενοι φορείς αναγνωρίζουν τα πλεονεκτήματα που προσφέρει στη διαχείριση των έργων κατασκευής.

2.2 Επίπεδα λεπτομέρειας LOD στο μοντέλο

Το επίπεδο λεπτομέρειας – **Level Of Detail (LOD)** χρησιμοποιείται για να περιγράψει την κλίμακα ανάλυσης κάθε αντικειμένου σε ένα μοντέλο. Για την διαφοροποίηση των επιπέδων αυτών χρησιμοποιείται ένας δείκτης από 100, που μεταφράζεται στην λιγότερο λεπτομερή απεικόνιση, έως και 500 που σημαίνει ότι υπάρχει η μεγαλύτερη δυνατή λεπτομέρεια στο μοντέλο.



Εικόνα 2.2: Τα επίπεδα λεπτομέρειας του μοντέλου (tejjy-engineering design solutions)

LOD 100:

Στο επίπεδο αυτό πραγματοποιείται η σύλληψη της ιδέας του έργου και η αναπαράστασή του με γενικές παραμέτρους, όπως είναι το σχήμα του. Βοηθάει στην κατανόηση του χώρου και την στρατηγική του σχεδιασμού που θα ακολουθήσει.

LOD 200:

Εδώ, τα επιμέρους στοιχεία εισάγονται στο μοντέλο σε προσεγγιστικές θέσεις, ποσότητες, σχήμα και μέγεθος. Απεικονίζει καλύτερα το όραμα του σχεδιασμού, όμως κάθε πληροφορία θεωρείται ακόμα προσεγγιστική.

LOD 300:

Στο σημείο αυτό, πραγματοποιείται η λεπτομερής μοντελοποίηση των αντικειμένων, με ακριβή γεωμετρικά στοιχεία, θέση και προσανατολισμό. Αποτέλεσμα αυτού του επιπέδου, είναι η ρεαλιστική τρισδιάστατη απεικόνιση του έργου.

LOD 350:

Πρόκειται για ένα επίπεδο που συχνά εντάσσεται στο παραπάνω, καθώς αναφέρεται στις λεπτομέρειες του σχεδιασμού. Ωστόσο, προσθέτει την έννοια της συσχέτισης μεταξύ των επιμέρους αντικειμένων εξασφαλίζοντας έτσι τη λειτουργικότητα της κατασκευής.

LOD 400:

Το επίπεδο αυτό παρέχει ένα ολοκληρωμένο μοντέλο από το οποίο μπορούν να αντληθούν όλες οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες, απαραίτητες για την ανέγερσή του έργου. Μπορεί να περιέχει πληροφορίες σχετικά με δομικές λεπτομέρειες, μηχανολογικές εγκαταστάσεις, λεπτομέρειες φωτισμού, πυροπροστασία κ.α. Τα δεδομένα αυτά μεταφέρονται στον εκάστοτε κατασκευαστή – εργολάβο με σκοπό την ακριβή υλοποίησή τους, όπως αυτή έχει προκύψει από τα στάδια της μελέτης και του σχεδιασμού.

LOD 500:

Το τελευταίο επίπεδο ακολουθεί ύστερα από την ολοκλήρωση της κατασκευής, καθώς περιέχει την ακριβή τοποθέτηση και διαφοροποίηση, ποσοτικά και ποιοτικά, όλων των επιμέρους αντικειμένων της, όπως αυτά έχουν υλοποιηθεί. Πρόκειται για ένα as-built μοντέλο που αποτελεί την πλήρη αναπαράσταση της πραγματικότητας και καθίσταται ιδιαίτερα σημαντικό για τη συντήρηση και διαχείριση της κατασκευής σε όλο τον κύκλο ζωής της.

Τα LOD δημιουργούν μία τυποποιημένη ακολουθία στο σχεδιασμό και εξαλείφουν τις πιθανότητες ασυμφωνιών που σχετίζονται με την ολοκλήρωση του έργου. Χρησιμοποιώντας τα επίπεδα αυτά, οι ομάδες που εργάζονται σε διαφορετικούς κλάδους μπορούν να επικοινωνούν καλύτερα μεταξύ τους επιλέγοντας την κλίμακα λεπτομέρειας που εξυπηρετεί την κάθε κατάσταση. Γενικότερα, τα LOD ενισχύουν τη σαφήνεια κατά το σχεδιασμό, γεγονός που έχει θετική επίδραση στο στάδιο της κατασκευής. (<https://www.autodesk.com/solutions/bim-levels-of-development>), (<https://www.united-bim.com/bim-level-of-development-lod-100-200-300-350-400-500/>)

2.3 Οι διαστάσεις του BIM

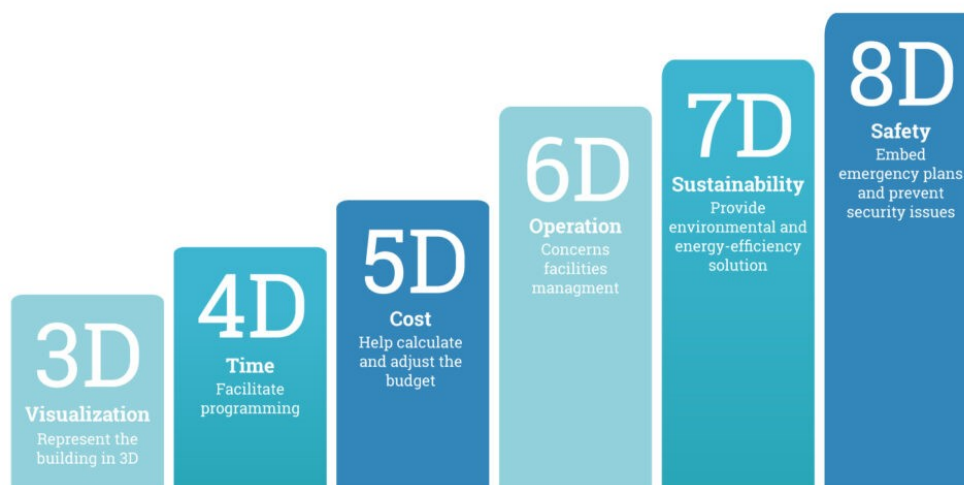
Οι διαστάσεις του BIM έχουν εξελιχθεί από την ανάγκη διαφοροποίησης μεταξύ της γεωμετρίας του μοντέλου και των κρίσιμων πληροφοριών που περιλαμβάνει. Η προσθήκη περαιτέρω διαστάσεων (πέραν του 3D μοντέλου) βοηθάει την ομάδα του έργου να κατανοήσει ποιες πληροφορίες πρέπει να μοντελοποιήσει. Στο NBS (National BIM Standards) και στα διεθνή πρότυπα δεν αναφέρονται συνήθως οι διαστάσεις αυτές, καθώς δεν αποτελούν φυσικές διαστάσεις του χώρου. Ωστόσο, οι διαστάσεις του BIM έχουν εμπειρικά διατυπωθεί σαν έννοια και είναι μία φράση χρήσιμη για την έναρξη συνομιλιών και κυρίως για την ανάδειξη των δυνατοτήτων της νέας αυτής τεχνολογίας.

Παρακάτω, αναφέρονται συνοπτικά οι διαστάσεις του BIM, όπως αυτές έχουν τυποποιηθεί.

- **1D:** Το σημείο μηδέν της κατασκευής, όπου γίνεται η σύλληψη της ιδέας του έργου, η έρευνα και η μελέτη της στρατηγικής που θα χρησιμοποιηθεί στον κύκλο ζωής του.

- **2D:** Πρόκειται για σχέδια δύο διαστάσεων που συνοδεύουν τη μελέτη (τοπογραφικά, αρχιτεκτονικά, στατικά κλπ) και αποτυπώνουν την κατασκευή.

- **3D:** Το τρισδιάστατο μοντέλο της κατασκευής, το οποίο προκύπτει από τα δισδιάστατα σχέδια που αναφέρθηκαν παραπάνω. Στις περισσότερες περιπτώσεις, το μοντέλο αυτό είναι απλό δίχως εξειδικευμένη πληροφορία και εξυπηρετεί απλώς την οπτικοποίηση του έργου - συνεπώς, δεν αποτελεί μοντέλο BIM.



Εικόνα 2.3: Οι διαστάσεις του BIM (<https://www.civilverse.org/>)

- **4D:** Ο χρονικός προγραμματισμός/χρονοδιάγραμμα της κατασκευής. Η προσθήκη της διάστασης του χρόνου επιτρέπει στην ομάδα του έργου την καλύτερη απεικόνιση της σχέσης και της αλληλουχίας των εργασιών με σκοπό τον βέλτιστο χρονικό προγραμματισμό. Εξάλλου, στον κατασκευαστικό τομέα, πλέον, θεωρείται σχεδόν απαραίτητη η σύνταξη ενός αξιόπιστου χρονοδιαγράμματος, το οποίο ανταποκρίνεται στις πραγματικές απαιτήσεις της κατασκευής. Επιπροσθέτως, σε οποιοδήποτε χρονικό σημείο της κατασκευής μπορεί να αξιολογηθεί η πραγματική πρόοδος του σε σύγκριση με τον αρχικό σχεδιασμό και αν αυτό είναι αναγκαίο, να πραγματοποιηθεί επαναπρογραμματισμός των δραστηριοτήτων.

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τον τρόπο με τον οποίο ο 4D σχεδιασμός μπορεί να επηρεαστεί από τα διαφορετικά LOD (βλ. Κεφάλαιο 2.2) του μοντέλου που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Πίνακας 2-1: 4D σχεδιασμός και LOD μοντέλου

	LOD 100	LOD 200	LOD 300	LOD 400
4D Σχεδιασμός	Συνολική διάρκεια κατασκευής	Δρομολόγηση θεμελιωδών δραστηριοτήτων	Δρομολόγηση λεπτομερών δραστηριοτήτων	Λεπτομέρειες κατασκευής

- **5D:** Πληροφορίες κόστους – εκτίμηση κόστους κατασκευής. Η διάσταση αυτή προσθέτει στο μοντέλο την παράμετρο του κόστους, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό για τον σύγχρονο τρόπο μοντελοποίησης κατασκευών. Το κόστος αυτό μπορεί να αφορά το ανθρώπινο δυναμικό (αμοιβές μηχανικών, ημερομίσθια εργατών κ.α.), είτε κόστος υλικών αγαθών και μηχανημάτων. Ο τρόπος λειτουργίας του BIM, δηλαδή η ύπαρξη πραγματικών οντοτήτων με τεχνικά χαρακτηριστικά, κάνει την απόδοση της παραμέτρου του κόστους και των τιμών μονάδας ιδιαίτερα απλή στις υπάρχουσες πληροφορίες του μοντέλου. Με τον τρόπο αυτό, ένα μοντέλο BIM προσφέρει τη δυνατότητα κοστολόγησης ενός έργου σχεδόν ταυτόχρονα με το σχεδιασμό του.

Όπως και προηγουμένως, ακολουθεί πίνακας ο οποίος παρουσιάζει τις διαφορετικές επιδράσεις των LOD του μοντέλου στον 5D σχεδιασμό.

Πίνακας 2-2: 5D σχεδιασμός και LOD μοντέλου

	LOD 100	LOD 200	LOD 300	LOD 400
5D Σχεδιασμός	Γενική κοστολόγηση υλικών-εργασιών	Προσεγγιστική εκτίμηση κόστους	Ακριβής εκτίμηση κόστους	Δέσμευση τελικού κόστους

- **6D:** Διαχείριση και συντήρηση των εγκαταστάσεων κατά τη φάση λειτουργίας. Η διάσταση αυτή περιέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες σχετικά με τη συντήρηση της κατασκευής, καθώς και με την αντιμετώπιση πιθανών τεχνικών προβλημάτων που μπορεί να εμφανιστούν μελλοντικά.
- **7D:** Η βιωσιμότητα της κατασκευής. Εδώ συγκεντρώνονται όλα τα δεδομένα σχετικά με τη βιωσιμότητα, την ενεργειακή απόδοση και το ευρύτερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα του έργου.
- **8D:** Η ασφάλεια. Η διάσταση αυτή έχει σκοπό τη διατήρηση της ασφάλειας τόσο κατά τη διάρκεια κατασκευής, όσο και κατά τη διάρκεια λειτουργίας του έργου.

Όπως γίνεται αντιληπτό, η χρήση πολλαπλών διαστάσεων στο σχεδιασμό μπορεί να διευκολύνει σημαντικά ορισμένες δραστηριότητες και να απλοποιήσει το έργο των μελετητών και των κατασκευαστών. Το σημαντικό σε αυτή τη διαδικασία είναι η αναγνώριση των απαραίτητων στοιχείων που πρέπει να συμπεριληφθούν στο μοντέλο και εξυπηρετούν τις ανάγκες της κατασκευής. (Dr Stephen Hamil et. al, 2021), (<https://www.autodesk.com/blogs/construction/bim-dimensions/>)

2.4 Η έννοια της διαλειτουργικότητας (Interoperability of BIM)

Στον τομέα της κατασκευής εμπλέκονται πολλά άτομα διαφορετικών ειδικοτήτων (μηχανικοί, εργολάβοι, προμηθευτές, πελάτες, κλπ). Το γεγονός αυτό συνεπάγεται με αυξημένες απαιτήσεις για καλή επικοινωνία και συνεχή μεταφορά δεδομένων. (ενημερωμένα σχέδια, παραγγελίες υλικών, πρόοδος εργασιών κλπ).

Συνήθως, οι ομάδες χρησιμοποιούν διαφορετικά λογισμικά μεταξύ τους, ανάλογα με την αρμοδιότητά τους. Αυτό σημαίνει ότι, για την επεξεργασία δεδομένων η εκάστοτε ομάδα λαμβάνει τις πληροφορίες και ύστερα καλείται να μεταφέρει ξανά τα ενημερωμένα δεδομένα στις υπόλοιπες ομάδες. Το γεγονός αυτό, συχνά οδηγεί σε καθυστερήσεις και λάθη κατά τη μεταφορά δεδομένων. Επομένως, η ανάγκη για περιορισμό τέτοιων προβλημάτων και η γενικότερη βελτίωση αυτής της διαδικασίας είναι επιτακτική.

Στο πλαίσιο αυτό, κάνει την εμφάνισή της η έννοια της **Διαλειτουργικότητας (Interoperability)** που εκφράζει την ικανότητα συνεργασίας και συμβατότητας μεταξύ διαφορετικών λογισμικών και συστημάτων.

Πιο συγκεκριμένα, αναφορικά με το BIM η έννοια της διαλειτουργικότητας (Interoperability of BIM), ορίζεται ως εξής:

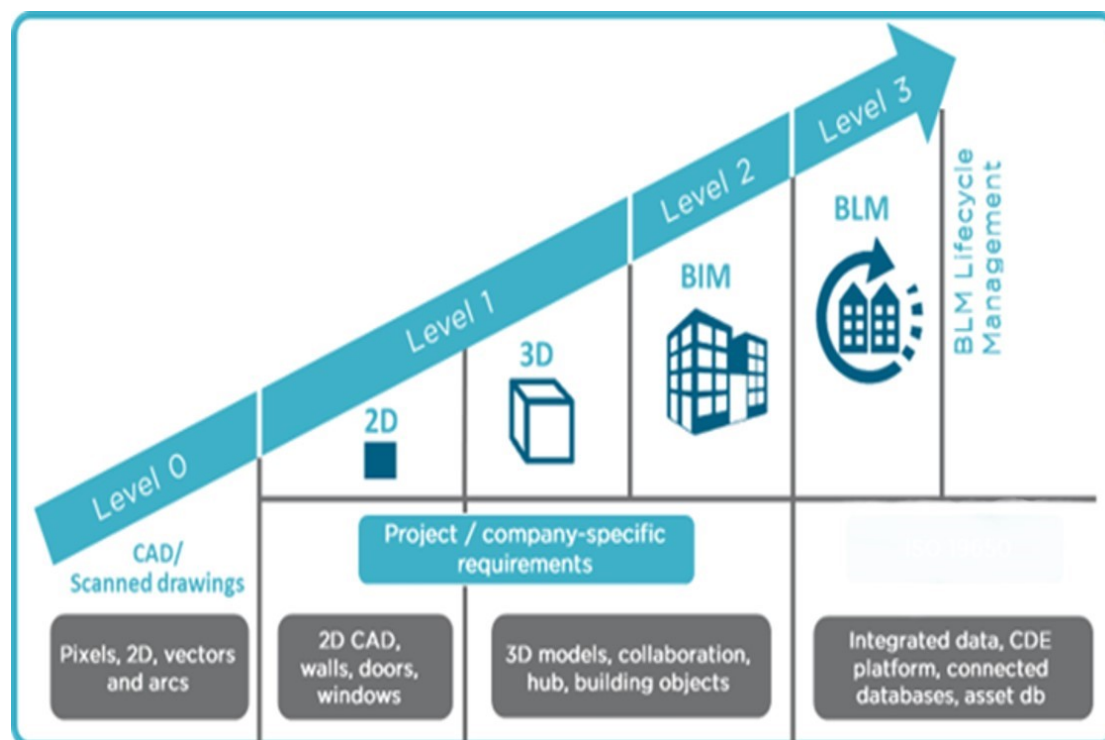
“Η διαλειτουργικότητα BIM αναφέρεται στις δυνατότητες των εφαρμογών BIM για κοινή χρήση, ανταλλαγή, συλλογή και επεξεργασία των ίδιων δεδομένων μέσω ενός κοινού συνόλου μορφών ανταλλαγής, χρησιμοποιώντας τις ίδιες μορφές αρχείων και τα ίδια πρωτόκολλα –(Grilo and Jardim-Goncalves et. al, 2010)”.

Σήμερα, το θέμα της διαλειτουργικότητας γίνεται όλο και πιο εμφανές, καθώς αυξάνεται ο αριθμός των διαθέσιμων λογισμικών, ενώ παράλληλα διατυπώνεται η

ανάγκη για τη διάθεση όλων των πληροφοριών σε ένα ενιαίο μοντέλο. Το BIM βασίζεται στην έννοια της διαλειτουργικότητας, καθώς προωθεί τη συνεργασία και την επικοινωνία όλων των ομάδων ενός έργου. Ο τρόπος με τον οποίο αυτό επιτυγχάνεται, είναι μέσα από τα διαφορετικά επίπεδα ενός μοντέλου, που επιτρέπουν την οργανωμένη εισαγωγή και επεξεργασία δεδομένων και αναλύονται παρακάτω. (<https://www.bimspot.io/blogs/bim-interoperability-aec-industry/>)

2.5 Τα διαφορετικά επίπεδα ενός BIM μοντέλου

Η έννοια των 'επιπέδων BIM', γνωστά και ως 'επίπεδα ωριμότητας' έχει γίνει ο αποδεκτός ορισμός των κριτηρίων που απαιτούνται για να θεωρηθεί ένα μοντέλο συμβατό με την τεχνολογία BIM. Αυτά έχουν οριστεί σε ένα εύρος από 0 έως 3, και ενώ υπάρχει κάποια συζήτηση σχετικά με την ακριβή έννοια κάθε επιπέδου, η γενική ιδέα είναι η εξής.



Εικόνα 2.4: Τα επίπεδα ωριμότητας του μοντέλου (<https://www.aeodc.com/>)

▪ **Επίπεδο 0**

Στην απλούστερη μορφή του, το επίπεδο 0 ουσιαστικά σημαίνει πως δεν υπάρχει συνεργασία. Πραγματοποιείται μόνο η σύνταξη 2D CAD για πληροφορίες παραγωγής, η διανομή των οποίων γίνεται με χαρτική ύλη. Η συντριπτική πλειοψηφία του κλάδου έχει ξεπεράσει το επίπεδο αυτό.

▪ **Επίπεδο 1**

Αυτό το επίπεδο, συνήθως, περιλαμβάνει ένα μείγμα τρισδιάστατου σχεδιασμού και δισδιάστατου για τη σύνταξη όλων των απαραίτητων εγγράφων που συνοδεύουν μία αδειοδότηση. Η κοινή χρήση δεδομένων επιτυγχάνεται μέσα από ένα κοινό λογισμικό περιβάλλον, το οποίο διαχειρίζεται ο επόπτης του έργου. Στο πλαίσιο του συγκεκριμένου επιπέδου, υπάρχει ξεκάθαρη απόδοση ρόλων και ευθυνών.

▪ **Επίπεδο 2**

Το επίπεδο αυτό διακρίνεται από την συλλογική εργασία που το χαρακτηρίζει και απαιτεί μία διαδικασία ανταλλαγής πληροφοριών προσαρμοσμένη στο εκάστοτε έργο και συμβατή με διαφορετικά συστήματα. Κάθε λογισμικό σχεδίασης που χρησιμοποιείται από τις ομάδες θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα εξαγωγής σε έναν από τους κοινούς τύπους φακέλων που υποστηρίζει το συγκεκριμένο επίπεδο. Αυτή η μέθοδος έχει πλέον εφαρμοστεί με επιτυχία στη Μ. Βρετανία για όλα τα δημόσια έργα. Με τον τρόπο αυτό, κάθε μέλος έχει πρόσβαση σε ένα κοινό τύπο αρχείου, το οποίο εύκολα μπορεί να επεξεργαστεί και να μοιραστεί εκ νέου με τους συναδέλφους του. Αυτή η τυποποίηση και οργάνωση των δεδομένων είναι ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά ενός επιτυχημένου BIM σχεδιασμού.

▪ **Επίπεδο 3**

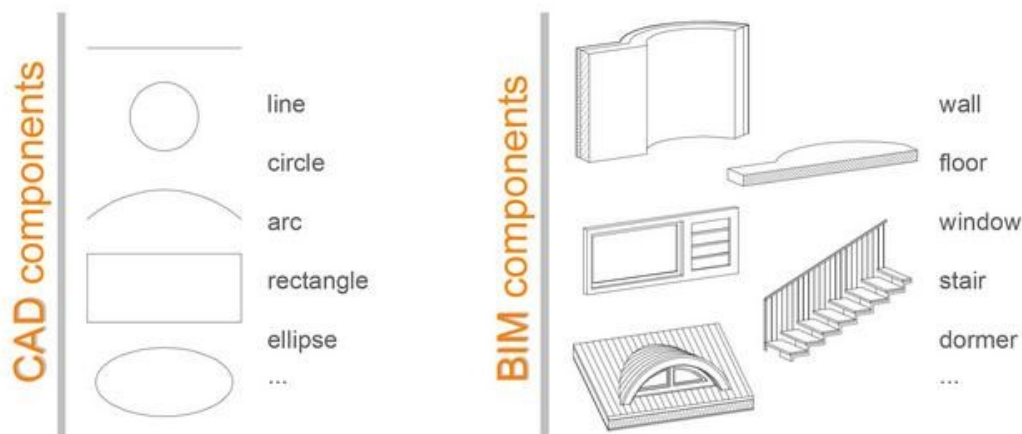
Πρόκειται για το περισσότερο αναπτυγμένο επίπεδο, αντιπροσωπεύει την πλήρη συνεργασία και επικοινωνία γύρω από ένα κοινό, ενιαίο μοντέλο BIM από την έναρξη του σχεδιασμού μέχρι τη φάση λειτουργίας της κατασκευής. Βασικό χαρακτηριστικό του είναι η απευθείας σύνδεση και μεταφορά δεδομένων από το ένα πρόγραμμα στο άλλο χωρίς καμία περαιτέρω παρέμβαση. Η λειτουργία αυτή επιτρέπει τον άμεσο εμπλουτισμό της διαθέσιμης πληροφορίας από μία βάση δεδομένων με

χαρακτηριστικά που αφορούν όλο τον κύκλο ζωής του έργου. Για τον λόγο αυτό, το τελευταίο επίπεδο είναι άμεσα συνδεδεμένο με το λεγόμενο BLM (Building Lifecycle Management ,βλ. εικόνα 2.5), το οποίο ουσιαστικά αφορά τη διαχείριση της κατασκευής, για την οποία κρίνεται αναγκαία η παροχή τέτοιου είδους και μεγέθους πληροφοριών. (Oliver Eischet, Lot Kaduma et. al, 2023), (<https://www.thenbs.com/knowledge/bim-levels-explained>)

2.6 Σύγκριση BIM και CAD

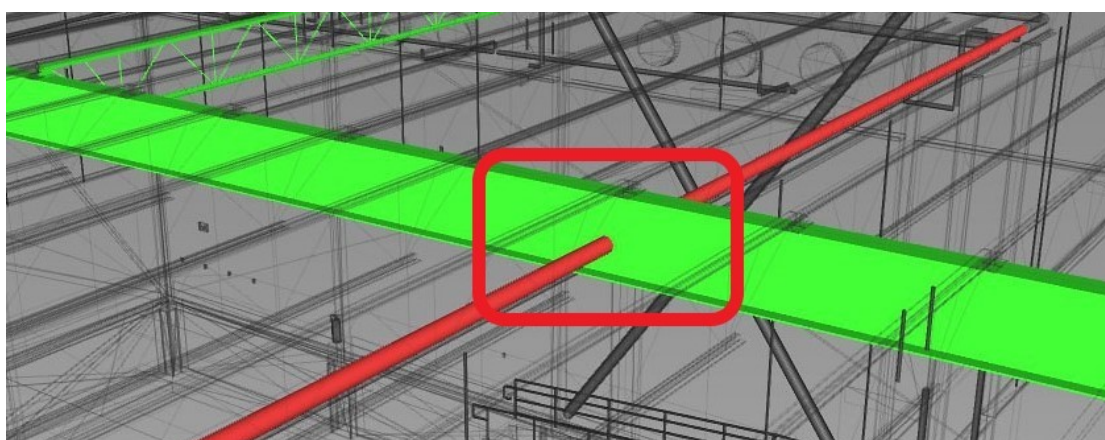
Οι δυνατότητες και η φιλοσοφία ενός συστήματος BIM γίνονται καλύτερα κατανοητές αν συγκριθεί με τα συστήματα CAD. Παρακάτω, αναλύονται οι βασικές τους διαφορές.

Αρχικά, μία από τις βασικές διαφορές που διακρίνει κανείς παρατηρώντας το περιβάλλον των δύο λογισμικών είναι ότι, στα συστήματα CAD τα εργαλεία σχεδίασης πρόκεινται για απλά γεωμετρικά σχήματα (γραμμές, κύκλοι, ορθογώνια κλπ), ενώ τα εργαλεία σχεδίασης των συστημάτων BIM είναι πραγματικά αντικείμενα (τοίχοι, δάπεδα, κουφώματα κλπ). Τα συστήματα CAD αποτελούν μία απλή γεωμετρική απεικόνιση των αντικειμένων χωρίς να περιγράφεται η σημασιολογική τους σχέση. Έτσι, ένας τοίχος, που αναπαρίσταται σαν δύο παράλληλες γραμμές, στην περίπτωση των BIM αντιμετωπίζεται σαν αντικείμενο-τοίχος, ενώ σε CAD αντιμετωπίζεται σαν δύο απλές παράλληλες γραμμές. Σε ένα σύστημα BIM, σχεδιάζοντας έναν τοίχο, ο χρήστης εισάγει μία τρισδιάστατη οντότητα στο χώρο, αφού ορίζει τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του (μήκος, πάχος, ύψος), αλλά και τα ποιοτικά (υλικό, χρώμα).



Εικόνα 2.5: Σύγκριση στοιχείων BIM και CAD (<https://www.mosaic51.com/>)

Επιπλέον, η σημασιολογική διάσταση των αντικειμένων στα BIM συστήματα επιτρέπει την ανίχνευση προβληματικών καταστάσεων, αποτρέποντας έτσι λάθη στο σχεδιασμό. Για παράδειγμα, ο σχεδιασμός ενός σωλήνα που διαπερνά ένα δομικό στοιχείο της κατασκευής ειδοποιεί αναλόγως το χρήστη ότι υπάρχει σφάλμα ασυμβατότητας. Η δυνατότητα αυτή δεν υπάρχει στα λογισμικά CAD, καθώς δεν υπάρχουν κανόνες σχεδίασης και ο χρήστης μπορεί να μοντελοποιήσει κάτι δίχως λογική. Επομένως, η χρήση BIM προνοεί για τέτοιες καταστάσεις, καθώς ο σχεδιασμός γίνεται με πραγματικά αντικείμενα που συνοδεύονται από χαρακτηριστικά και προϋποθέσεις που πρέπει να τηρούνται κατά το σχεδιασμό.

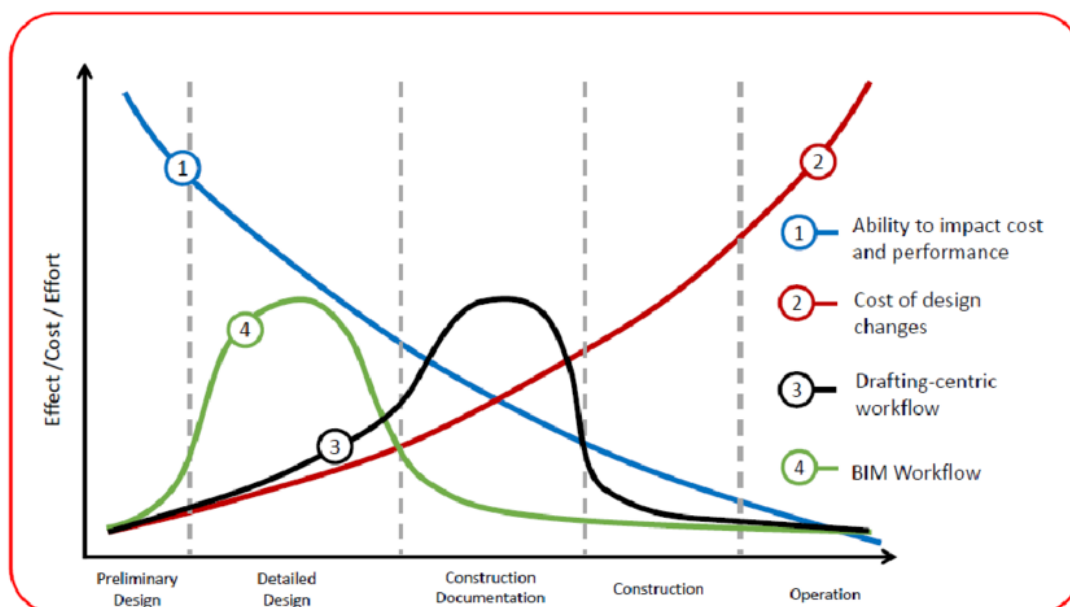


Εικόνα 2.6: Σφάλμα ασυμβατότητας μεταξύ δομικών στοιχείων (<https://acurabim.com/>)

Ένα λογισμικό BIM προσφέρει και άλλες λειτουργίες πέραν της τρισδιάστατης σχεδίασης. Όπως αναλύθηκε σε προηγούμενη ενότητα, είναι δυνατό να προστεθεί στα αντικείμενα του μοντέλου η παράμετρος του χρόνου και του κόστους, μετατρέποντας έτσι το σύστημα σε 4D και 5D αντίστοιχα. Επομένως, πέραν των σχεδιαστικών του ικανοτήτων, ένα μοντέλο BIM μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σαν εργαλείο διαχείρισης και παρακολούθησης του έργου, κάτι που είναι αδύνατο για ένα σύστημα CAD. (<https://enscape3d.com/bim-management/bim-vs-cad/>)

Στο πλαίσιο αυτό, δηλαδή την δημιουργία έως και 5D μοντέλων BIM, παρουσιάζεται ένα διάγραμμα που δείχνει τα οφέλη της διαδικασίας αυτής συγκριτικά με τη παραδοσιακή μέθοδο των CAD σχεδίων.

Το παρακάτω γράφημα είναι γνωστό ως **MacLeamy Curve** από τον δημιουργό του, αρχιτέκτονα Patrick Macleamy.



Εικόνα 2.7: Το γράφημα MacLeamy Curve (<https://www.researchgate.net/>)

Η καμπύλη 1 αντικατοπτρίζει την ικανότητα επίδρασης στο συνολικό κόστος του έργου και είναι εμφανές ότι υπάρχουν περισσότερες δυνατότητες επιρροής στο πρώιμο στάδιο του σχεδιασμού, παρά κατά την κατασκευή και κυρίως τη λειτουργία του.

Η καμπύλη 2 απεικονίζει το κόστος των σχεδιαστικών αλλαγών, το οποίο, όπως είναι φυσιολογικό, είναι μικρό στο στάδιο του σχεδιασμού και αυξάνει όσο οδεύουμε προς τη λειτουργία του έργου.

Η χρήση του BIM απαιτεί μεγαλύτερη επένδυση και προσοχή στα αρχικά στάδια του σχεδιασμού (καμπύλη 4), από ότι οι παραδοσιακές μέθοδοι σχεδιασμού (καμπύλη 3). Με τον τρόπο αυτό, δίνεται βαρύτητα σε ένα χρονικό εύρος, όπου είναι ευκολότερος ο έλεγχος κόστους του έργου, ενώ παράλληλα το κόστος των όποιων σχεδιαστικών αλλαγών παραμένει σχετικά χαμηλό. (Daniel Davis, et. al, 2011)

2.7 Τα πρότυπα BIM

Το πρότυπο ενός BIM μοντέλου πρόκειται για ένα σύνολο πρωτοκόλλων, οδηγιών και προδιαγραφών που επιτρέπουν τη δημιουργία και την ανταλλαγή πληροφοριών μέσω της BIM διαδικασίας. Ο ρόλος του προτύπου είναι ιδιαίτερα σημαντικός για τη διασφάλιση της σταθερότητας και της διαλειτουργικότητας της εργασίας, καθώς περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες προϋποθέσεις για τη δημιουργία ενός κοινού μοντέλου διαχείρισης από όλες τις ομάδες του έργου. Μερικές από αυτές τις προδιαγραφές που περιλαμβάνει ένα πρότυπο BIM είναι ο καθορισμός των τύπων αρχείων που κοινοποιούνται μεταξύ των ομάδων, η επιβολή σχεδιαστικών οδηγιών, τα χαρακτηριστικά των πληροφοριών που χρησιμοποιούνται κ.α. Το πρότυπο που χρησιμοποιείται ακολουθεί το μοντέλο και κατά επέκταση το έργο για όλο τον κύκλο ζωής του, από τον αρχικό σχεδιασμό, μέχρι την κατασκευή και τη λειτουργία του.

Η αναγκαιότητα για τον καθορισμό ενός προτύπου στη μεθοδολογία BIM είναι σημαντική, καθώς διευκολύνει σημαντικά την διαδικασία. Η τήρηση ορισμένων προδιαγραφών και συστάσεων ενισχύουν την επικοινωνία και την συνεργασία μεταξύ των ομάδων, γεγονός που αποτελεί έναν από τους βασικούς στόχους της τεχνολογίας BIM. Ακόμα, προσφέρει σταθερότητα και ομαλότητα στην εξέλιξη και την παρακολούθηση των εργασιών, ενώ ταυτόχρονα η ενσωμάτωση του BIM μοντέλου με διάφορα συνδυαστικά προγράμματα και εργαλεία γίνεται ευκολότερη, μειώνοντας έτσι τον χρόνο που απαιτείται για την επίλυση ενός συγκεκριμένου προβλήματος. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι τα πρότυπα που χρησιμοποιούνται διαφέρουν ανάλογα με τη χώρα ή και την κατασκευαστική εταιρεία που έχει αναλάβει το εκάστοτε έργο. Επομένως, είναι ιδιαίτερα σημαντικό οι επαγγελματίες του χώρου να αναγνωρίζουν και να συμμορφώνονται με τα πρότυπα που διέπουν τις αντίστοιχες περιπτώσεις.

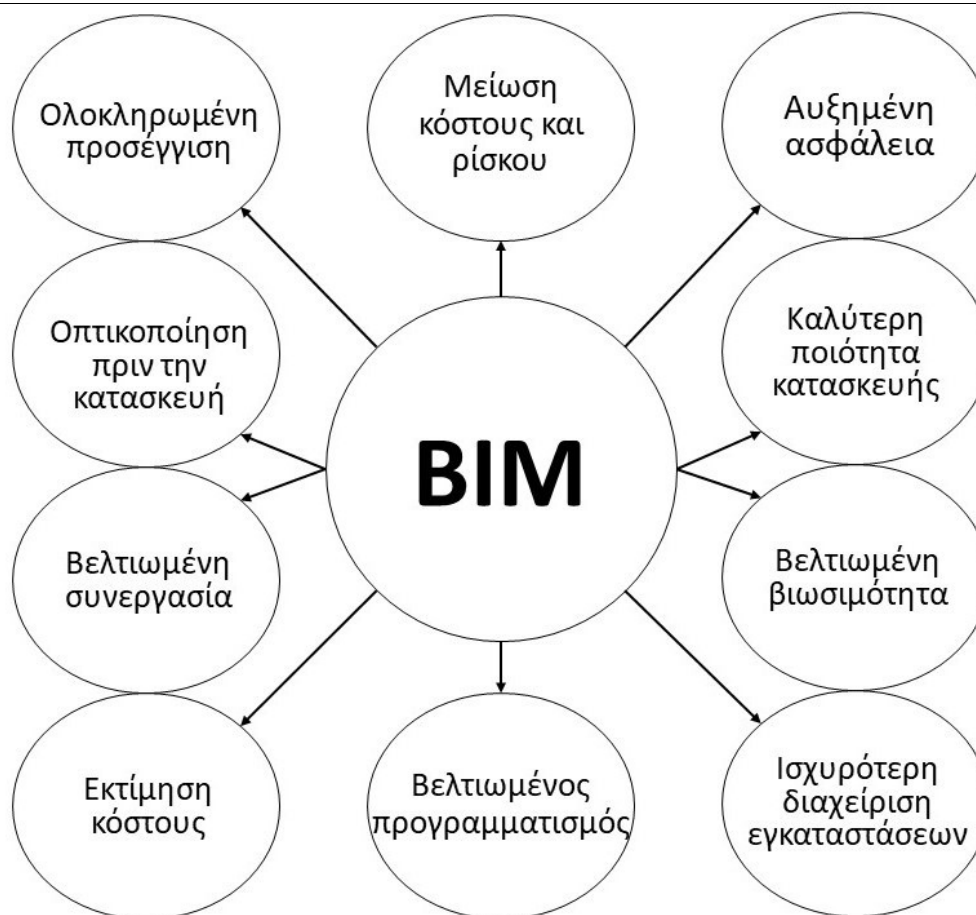
Παγκοσμίως, έχουν διατυπωθεί πολλά πρότυπα BIM με στόχο να εξυπηρετήσουν την εκάστοτε μεθοδολογία δημιουργίας του μοντέλου, αλλά και την μετέπειτα χρήση του. Πολύ συχνά, τα πιο εξελιγμένα κράτη στην κατασκευαστική βιομηχανία, αναπτύσσουν τα δικά τους πρότυπα, όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες (NBIMS, AIA E202) και το Ηνωμένο Βασίλειο (BS 1192, PAS 1192), ενώ παράλληλα έχουν διαμορφωθεί

κάποια ευρέως διαδεδομένα πρότυπα, όπως είναι το COBie, που επιτρέπει την ανταλλαγή δομικών πληροφοριών σε κοινό τύπο αρχείων και χρησιμοποιείται κυρίως για τη διαχείριση των τεχνικών έργων (project management). Το πιο κοινό και αναγνωρισμένο πρότυπο που χρησιμοποιείται στην τεχνολογία BIM πρόκειται για το ISO 19650.

Η ανάγκη για προτυποποίηση των εφαρμογών BIM στην κατασκευαστική βιομηχανία οδήγησε την ISO (International Organization for Standardization) στην ανάπτυξη του προτύπου ISO 19650. Συνοπτικά, το ISO 19650 είναι μία σειρά προτύπων που καθορίζουν τη μεθοδολογία δημιουργίας και χρήσης μιας ολοκληρωμένης BIM προσέγγισης. Αποτελείται από πέντε συνολικά μέρη, τα οποία καλύπτουν διαφορετικές φάσεις του κύκλου ζωής του έργου, συμπεριλαμβανομένου του σχεδιασμού, της κατασκευής, της λειτουργίας και της συντήρησης. Κάθε μέρος παρέχει συστάσεις για τον καθορισμό ενός κοινού πλαισίου διαχείρισης πληροφοριών. Το συγκεκριμένο πρότυπο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλους τους τύπους και μεγέθη κατασκευών, καθώς και από όλους τους συμμετέχοντες οργανισμούς του έργου. (<https://excelize.com/blog/bim-standards-and-why-are-they-important/>),

2.8 Οφέλη του BIM

Η εφαρμογή του Building Information Modeling (BIM) προσφέρει πολλά οφέλη στον τομέα της κατασκευής και της διαχείρισης κτιριακών εγκαταστάσεων, τα οποία σε συνδυασμό με τον αυξανόμενο ρυθμό υιοθέτησής του γίνονται ακόμα πιο σημαντικά. Παρακάτω, αναλύονται τα οφέλη αυτά, τα οποία έχουν επίδραση για όλο τον κύκλο ζωής μίας εγκατάστασης.



Εικόνα 2.8: Τα οφέλη του BIM

- **Ολοκληρωμένη προσέγγιση**

Παρέχει μία ολοκληρωμένη βάση δεδομένων και ένα τρισδιάστατο μοντέλο που αντιπροσωπεύουν ολόκληρο το σχεδιασμό, την κατασκευή και τη συντήρηση ενός κτιρίου. Σε οποιαδήποτε φάση του κύκλου ζωής του κτιρίου, ο ενδιαφερόμενος μπορεί να αντλήσει κάθε είδους πληροφορία από το μοντέλο, ακόμα και να προσθέσει νέα χαρακτηριστικά σε αυτό.

- **Οπτικοποίηση πριν την κατασκευή**

Η χρήση BIM επιτρέπει την ρεαλιστική αναπαράσταση του έργου πριν την έναρξη της κατασκευής. Με τον τρόπο αυτό, ευνοείται η επικοινωνία μεταξύ μελετητικής ομάδας και πελατών προσφέροντας την δυνατότητα ενδεχόμενων αλλαγών στο σχεδιασμό, γεγονός που στην μετέπειτα κατασκευή γλυτώνει κόστος και χρόνο.

- **Βελτιωμένη συνεργασία**

Το BIM μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν σημείο αναφοράς για την επικοινωνία διαφορετικών ομάδων (μηχανικών, εργολάβων, πελατών, προμηθευτών). Το γεγονός αυτό επιτρέπει στις ομάδες την καλύτερη κατεύθυνση στο σχεδιασμό τους, την ορθότερη ανάθεση των εργασιών, καθώς και την άμεση αντιμετώπιση προβλημάτων. Σαν αποτέλεσμα, υπάρχει καλύτερη και πιο άμεση συνεργασία μεταξύ των ενδιαφερόμενων, καθώς όλοι ενεργούν γύρω από έναν κοινό άξονα, το μοντέλο BIM.

- **Εκτίμηση κόστους**

Ένα μοντέλο BIM αποτελείται από πραγματικές οντότητες με τεχνικά χαρακτηριστικά, ένα από τα οποία μπορεί να είναι και το κόστος των υλικών, το οποίο ενημερώνεται από τον αρμόδιο προμηθευτή και συνιστά αναπόσπαστο κομμάτι του σχεδιασμού. Έτσι, επιτυγχάνεται ο ακριβής και αξιόπιστος προϋπολογισμός ενός έργου εξοικονομώντας πολύ χρόνο από τις παραδοσιακές μεθόδους προμετρήσεων. Ταυτόχρονα, είναι δυνατή η εισαγωγή οικονομικών παραμέτρων που συμβάλλουν στη διαχείριση και συντήρηση του έργου κατά τη διάρκεια ολόκληρου του κύκλου ζωής του.

- **Μείωση κόστους και ρίσκου**

Η μεθοδολογία BIM μπορεί να εξοικονομήσει χρήματα με πολλούς τρόπους μέσα από τη σωστή εκμετάλλευσή του. Η στενότερη συνεργασία με τους εργολάβους μπορεί να οδηγήσει σε μειώσεις στα ασφάλιστρα κινδύνου, χαμηλότερο κόστος ασφάλισης και λιγότερες ευκαιρίες για αποζημιώσεις. Η καλύτερη επισκόπηση του έργου πριν την έναρξη επιτρέπει την διαχείριση των υλικών και την αποφυγή αποθεματικών υπολοίπων. Παράλληλα, το εργατικό κόστος που δαπανάται για εργασίες μειώνεται αισθητά λόγω της καλύτερης επικοινωνίας των μελών. Συνολικά, το BIM περιορίζει σημαντικά τα ενδεχόμενα ρίσκου σε οποιαδήποτε φάση της κατασκευής, καθώς παρέχει δεδομένα αρκετά για τη λήψη ορθολογικών αποφάσεων.

- **Βελτιωμένος προγραμματισμός**

Με τον ίδιο τρόπο που μειώνεται το κόστος, μειώνεται και ο χρόνος, καθώς αποφεύγονται καθυστερήσεις που ευθύνονται σε κακή επικοινωνία και εκτέλεση. Το

μοντέλο έχει τη δυνατότητα να ενημερώνεται σύμφωνα με τις υπάρχουσες συνθήκες, κάνοντας την ανάθεση εργασιών άμεση και εύστοχη με αποτέλεσμα την έγκαιρη παράδοση του έργου. Συγχρόνως, ένα ολοκληρωμένο μοντέλο BIM παρέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για την εκπόνηση χρονοδιαγράμματος που βοηθά στην παρακολούθηση του έργου.

- **Αυξημένη ασφάλεια**

Το BIM μπορεί να συμβάλλει στη βελτίωση της ασφάλειας των κατασκευών εντοπίζοντας κινδύνους πριν αποτελέσουν πρόβλημα, αποτρέποντας έτσι λάθη και εργατικά ατυχήματα. Η οπτική ανάλυση κινδύνου και οι αξιολογήσεις τους, μπορούν να βοηθήσουν στην εξασφάλιση της ασφάλειας κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του έργου.

- **Καλύτερη ποιότητα κατασκευής**

Η αξιοπιστία ενός συντονισμένου μοντέλου οδηγεί στην καλύτερη ποιότητα κατασκευής. Τα έμπειρα μέλη της ομάδας συνεργάζονται μεταξύ τους παρέχοντας καλύτερο έλεγχο σε τεχνικές αποφάσεις σχετικά με την εκτέλεση του σχεδιασμού.

- **Βελτιωμένη βιωσιμότητα**

Το BIM μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση της επίδρασης του κτιρίου στο περιβάλλον και την εύρεση βελτιώσεων ως προς τη βιωσιμότητά του. Προσφέρει τη δυνατότητα ενεργειακής μελέτης, γεγονός πολύ σημαντικό για τα σύγχρονα δεδομένα της αγοράς.

- **Ισχυρότερη διαχείριση/συντήρηση εγκαταστάσεων**

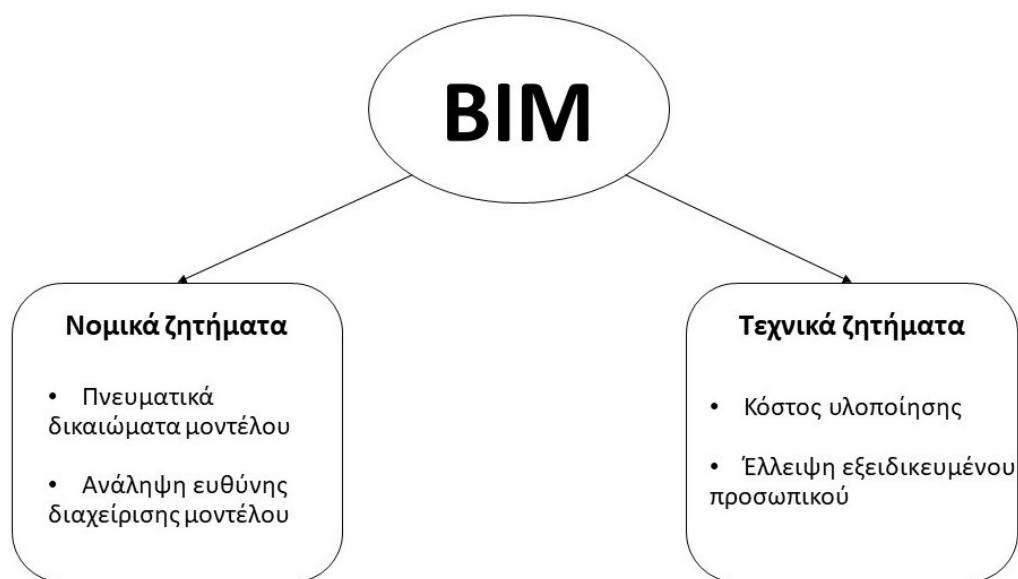
Τα δεδομένα σε ένα μοντέλο ευνοούν επίσης τη λειτουργία του κτιρίου μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής. Η ακριβής και συνεχής ψηφιακή καταγραφή πληροφοριών είναι πολύτιμη για τη διαχείριση εγκαταστάσεων σε όλο τον κύκλο ζωής τους.

(James Ocean et. al, 2020)

[\(https://www.bimspot.io/blogs/the-advantages-of-bim/\)](https://www.bimspot.io/blogs/the-advantages-of-bim/)

2.9 Κίνδυνοι του BIM

Το Building Information Modeling (BIM) αποτελεί “επανάσταση” στο χώρο της κατασκευής και των τεχνικών έργων προσφέροντας πολυάριθμα οφέλη κατά τη χρήση του. Ωστόσο, όπως κάθε τεχνολογία, χαρακτηρίζεται από ορισμένα ζητήματα, τα οποία μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες, τα νομικά και τα τεχνικά.



Εικόνα 2.9: Οι κίνδυνοι του BIM

• Νομικά

Ένα κύριο ζήτημα που προκύπτει είναι ο προσδιορισμός των πνευματικών δικαιωμάτων του μοντέλου που δημιουργείται από τη συνεργασία των μελετητών. Οι ομάδες μελέτης λειτουργούν γύρω από ένα κοινό μοντέλο, εισάγοντας τα δικά τους στοιχεία και πληροφορίες, τα οποία ενοποιημένα συνθέτουν το τελικό αποτέλεσμα της διαδικασίας. Επομένως, εύλογα διατυπώνεται το ερώτημα της ιδιοκτησίας του μοντέλου, εφόσον μεγάλος αριθμός ατόμων και ομάδων έχει συμβάλλει στη δημιουργία του.

Επιπλέον, ένα άλλο ζήτημα που πρέπει να αποσαφηνιστεί είναι το ποιος ελέγχει και εγκρίνει την εισαγωγή δεδομένων στο μοντέλο, καθώς και το ποιος είναι υπεύθυνος για τυχόν ανακρίβειες στις πληροφορίες που εισάγονται. Η ανάληψη της ευθύνης για την ενημέρωση των πληροφοριών του μοντέλου και της ακρίβειας αυτών αποτελεί

σημαντικό νομικό ζήτημα, καθώς μέχρι σήμερα είναι δύσκολο να αποδοθούν ευθύνες στον τομέα αυτό. (Kamaljeet S Marwah et. al, 2023)

- **Τεχνικά**

Ένα από τα βασικά ζητήματα του BIM είναι το κόστος χρήσης του. Ο ενδιαφερόμενος καλείται να επενδύσει στην νέα τεχνολογία, τόσο σε χρήμα για την απόκτηση των σχετικών λογισμικών, όσο και σε χρόνο για τη δημιουργία ενός αξιόπιστου μοντέλου, διαδικασία που συνήθως είναι πιο χρονοβόρα από τις παραδοσιακές μεθόδους. Συνήθως, τα οφέλη του BIM κάνουν την επένδυση αυτή επικερδή, αλλά μόνο αν το λογισμικό χρησιμοποιηθεί στο μέγιστο των δυνατοτήτων του.

Επίσης, ένα ακόμα ζήτημα που προκύπτει, λόγω της σχετικά πρόσφατης μεταπήδησης σε λογισμικά BIM, είναι η έλλειψη εξειδικευμένου προσωπικού. Η πολυπλοκότητα του BIM, αδιαμφισβήτητα δημιουργεί την ανάγκη για επιπλέον εκπαίδευση του προσωπικού.

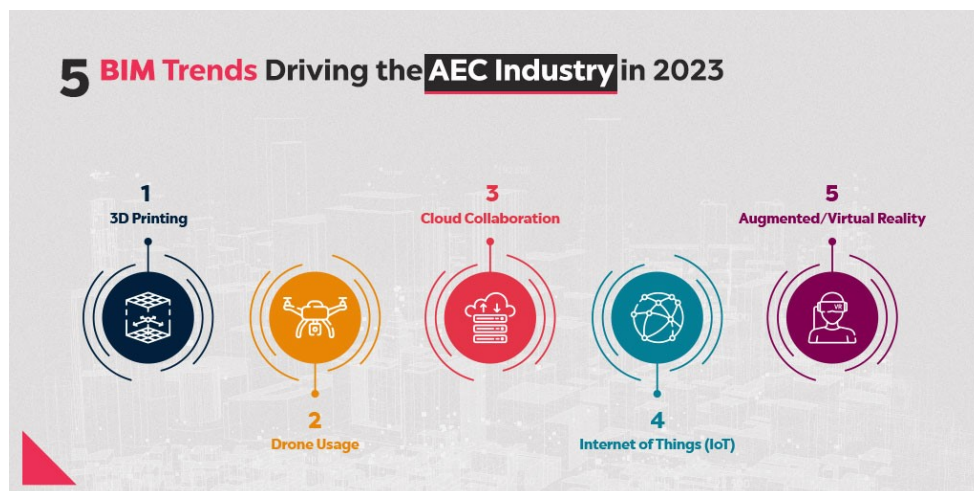
Συνολικά, το BIM παρουσιάζει ορισμένους κινδύνους κατά τη χρήση του, για τους οποίους όμως μπορούν να βρεθούν αποτελεσματικοί τρόποι αντιμετώπισης και περιορισμού τους. Σχετικά με τα νομικά ζητήματα, έχουν ήδη αναπτυχθεί υποδείγματα και πρότυπα ολοκληρωμένων συμβάσεων παράδοσης έργου με την εφαρμογή της τεχνολογίας BIM, καθώς και τυποποιημένα πρωτόκολλα για τη συνεργασία μεταξύ των ομάδων του έργου. Όσον αφορά τα τεχνικά ζητήματα, με το πέρασμα του χρόνου, τις δοκιμές και την έρευνα πάνω στα λογισμικά BIM, είναι επόμενο πως το προσωπικό θα εξοικειωθεί με τη χρήση τους.

Γενικότερα, τα οφέλη που προκύπτουν από το BIM είναι πολλά και σημαντικά για τον κατασκευαστικό τομέα και επισκιάζουν τους πιθανούς κινδύνους που μπορεί να προκύψουν από τη λανθασμένη χρήση του.

2.10 Συνδυασμός BIM με άλλες τεχνολογίες

Οι παγκόσμιες τεχνολογικές τάσεις εμπλέκονται σε μεγάλο βαθμό με την κατασκευαστική βιομηχανία, η οποία με τη σειρά της αναπτύσσεται με ραγδαίους ρυθμούς. Η διαδικασία BIM είναι άμεσα συνδεδεμένη με τις εξελίξεις αυτές και επωφελείται από την ολοένα και μεγαλύτερη τεχνολογική πρόοδο των τελευταίων ετών. Οι κατασκευαστικές εταιρείες αναζητούν τρόπους με τους οποίους θα κάνουν το σχεδιασμό τους ταχύτερο, ευκολότερο και αποδοτικότερο. Οι νέες τεχνολογικές καινοτομίες δίνουν λύση στον προβληματισμό αυτό, καθώς διευκολύνουν την ανάπτυξη, αποθήκευση και διαχείριση μεγάλου όγκου πληροφοριών, ενώ ταυτόχρονα προωθούν τις διάφορες μορφές επικοινωνίας μεταξύ ανθρώπων και υπολογιστικών συστημάτων. Όπως είναι λογικό, η απότομη εμφάνιση των νέων αυτών τεχνολογιών απαιτεί την αντίστοιχη εκπαίδευση για το σωστό χειρισμό και την πλήρη κατανόηση των δυνατοτήτων τους.

Τα τελευταία χρόνια χαρακτηρίζονται από την έντονη υιοθέτηση νέων τεχνολογιών σε όλους τους κλάδους της ανθρώπινης δραστηριότητας. Το ίδιο συμβαίνει και στην κατασκευαστική βιομηχανία, η οποία έχει προχωρήσει στον συνδυασμό και την εφαρμογή BIM με άλλες αναδυόμενες τεχνολογίες όπως είναι το 3D Printing, οι πτήσεις Drone, η χρήση τεχνολογιών Cloud, το Internet of Things (IoT), η επαυξημένη/εικονική πραγματικότητα, καθώς και η τεχνητή νοημοσύνη. Οι παραπάνω τεχνολογίες θεωρούνται πολλά υποσχόμενες στον τομέα της κατασκευής με τα οφέλη από τη χρήση τους να είναι τεράστια.



Εικόνα 2.10: Ο συνδυασμός BIM με άλλες τεχνολογίες (<https://lotustechnic.com.tr/>)

❖ 3D Printing

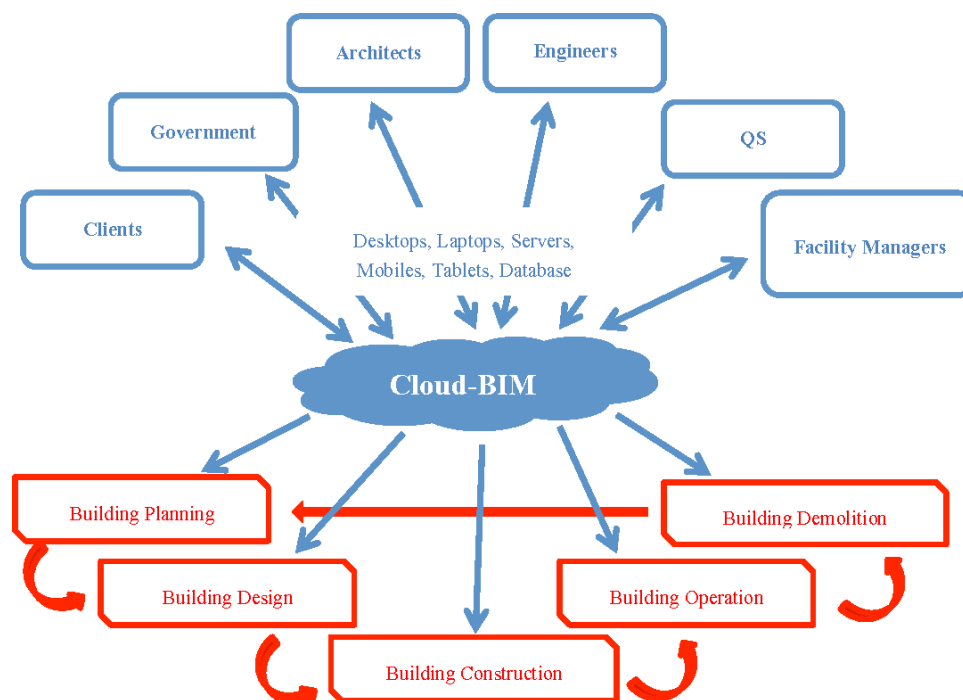
Το **3D Printing** πρόκειται για μια κατασκευαστική διαδικασία παραγωγής ενός τρισδιάστατου συμπαγούς αντικειμένου με τη χρήση ενός ψηφιακού αρχείου. Η ταχεία ανάπτυξη στον τομέα της μηχανικής έχει αυξήσει τη μέθοδο του 3D Printing, μετατρέποντας την σε μία ενδιαφέρουσα εναλλακτική προσέγγισης και παρουσίασης του τελικού επιθυμητού αποτελέσματος. Η επέμβαση στο μοντέλο είναι άμεση επιτρέποντας έτσι την πλήρη απόδοση του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού. Μερικά από τα οφέλη της διαδικασίας αυτής είναι η αυξημένη ακρίβεια, η μείωση των εργατικών δαπανών και ο καλύτερος χρονικός προγραμματισμός. Η συσχέτιση ενός BIM μοντέλου με την 3D Printing διαδικασία γίνεται με τον ακόλουθο τρόπο. Αρχικά, ζητούμενο είναι η μετατροπή των BIM δεδομένων σε δεδομένα που μπορούν να αναγνωριστούν από τον εκτυπωτή. Αυτό επιτυγχάνεται με την μετατροπή των δεδομένων σε κώδικα εκτύπωσης, ο οποίος περιλαμβάνει όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μοντέλου. Έπειτα, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επεξεργαστεί την επιφάνεια και το περιεχόμενο της εκτύπωσης, αποδίδοντας έτσι το τελικό τρισδιάστατο προϊόν.

❖ Πτήσεις Drone

Πολύ συχνά, η χρήση drone συνεπάγεται με την παρακολούθηση της κατασκευαστικής προόδου ενός έργου, καθώς έχει τη δυνατότητα να συλλέξει πολλά δεδομένα σε μικρό χρονικό διάστημα. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους διαχειριστές BIM για να επεξεργαστούν και να κάνουν το μοντέλο πιο αξιόπιστο. Τα τελευταία χρόνια, η χρήση drone έχει επηρεάσει σημαντικά την κατασκευαστική βιομηχανία, καθώς προσφέρει μεγάλη ακρίβεια, εξοικονόμηση χρόνου, ενώ ταυτόχρονα συλλέγει δεδομένα από σημεία και περιοχές δύσκολα προσβάσιμα.

❖ Χρήση Cloud BIM

Η cloud τεχνολογία πρόκειται για τη συνεχή διαδικτυακή πρόσβαση μίας ομάδας ατόμων σε ένα συγκεκριμένο σύνολο δεδομένων. Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι cloud, δημόσιοι, ιδιωτικοί ή και άλλοι που έχουν μικτή χρήση. Ο καθορισμός τύπου cloud πραγματοποιείται από τον δημιουργό του ανάλογα με τις ανάγκες, το περιεχόμενο και τα άτομα που επιθυμεί να έχουν πρόσβαση στα δεδομένα αυτά. Η χρήση ενός συνδυασμένου Cloud-BIM μοντέλου προωθεί τη συνεργασία και την επικοινωνία μεταξύ των ομάδων του έργου. Ακόμα, επιτρέπει την εύκολη πρόσβαση και επεξεργασία ανεξάρτητα από τη γεωγραφική θέση των ενδιαφερόμενων. Συγχρόνως, η τεχνολογία αυτή συνιστά έναν έξυπνο τρόπο διαχείρισης αποθηκευτικού χώρου, καθώς συχνά χρησιμοποιείται μεγάλος όγκων πληροφοριών.



Εικόνα 2.11: To Cloud BIM (<https://www.semanticscholar.org/>)

❖ Internet of Things (IoT)

Η τεχνολογία IoT πρόκειται για απλούς αισθητήρες, οι οποίοι τοποθετούνται εντός των κατασκευών και μπορούν να αποτελέσουν πρωτοποριακό βήμα στην μελέτη της απόδοσης ενός κτιρίου. Οι αισθητήρες αυτοί, συνδεδεμένοι με ειδικές συσκευές, έχουν τη δυνατότητα καταμέτρησης διαφόρων πληροφοριών, όπως είναι οι διακυμάνσεις θερμοκρασίας, τα επίπεδα υγρασίας, η ένταση του φωτός και άλλα. Οι αισθητήρες IoT έχουν άμεση σύνδεση μεταξύ του φυσικού περιβάλλοντος και του BIM μοντέλου παρέχοντας δεδομένα και μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο. Το γεγονός αυτό, διευκολύνει σημαντικά τη γενικότερη διαχείριση του έργου (project management), καθώς διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη λήψη αποφάσεων. Παράλληλα, αξίζει να σημειωθεί ότι οι αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο στη φάση λειτουργίας του έργου, όσο και στη φάση της κατασκευής του, παρέχοντας δεδομένα σχετικά με την αλληλουχία των εργασιών και την παρουσία εργατικού δυναμικού.

❖ **Επαυξημένη/Εικονική Πραγματικότητα**

Πρόκειται για μία πολλά υποσχόμενη τεχνολογία οπτικοποίησης στον τομέα των κατασκευών. Η εικονική πραγματικότητα επιτρέπει τόσο στην ομάδα μηχανικών, όσο και στον πελάτη να έρθει σε επαφή με το τελικό αποτέλεσμα και να περιηγηθεί μέσα σε αυτό σε πραγματική κλίμακα. Επομένως, έχει πλήρη εικόνα για την αισθητική της κατασκευής και εύκολα μπορεί να προβεί σε τροποποιήσεις στο στάδιο του σχεδιασμού. Έτσι, αποφεύγονται καθυστερήσεις και αλλαγές στο στάδιο της κατασκευής, που κοστίζουν χρόνο και χρήμα. Παράλληλα, η συγκεκριμένη μέθοδος οπτικοποίησης ενός κτιρίου είναι ιδιαίτερα ελκυστική και πρωτοποριακή και άρα δεν αποκλείεται να κεντρίσει το ενδιαφέρον ενδεχόμενων επενδυτών του χώρου.

❖ **Τεχνητή Νοημοσύνη**

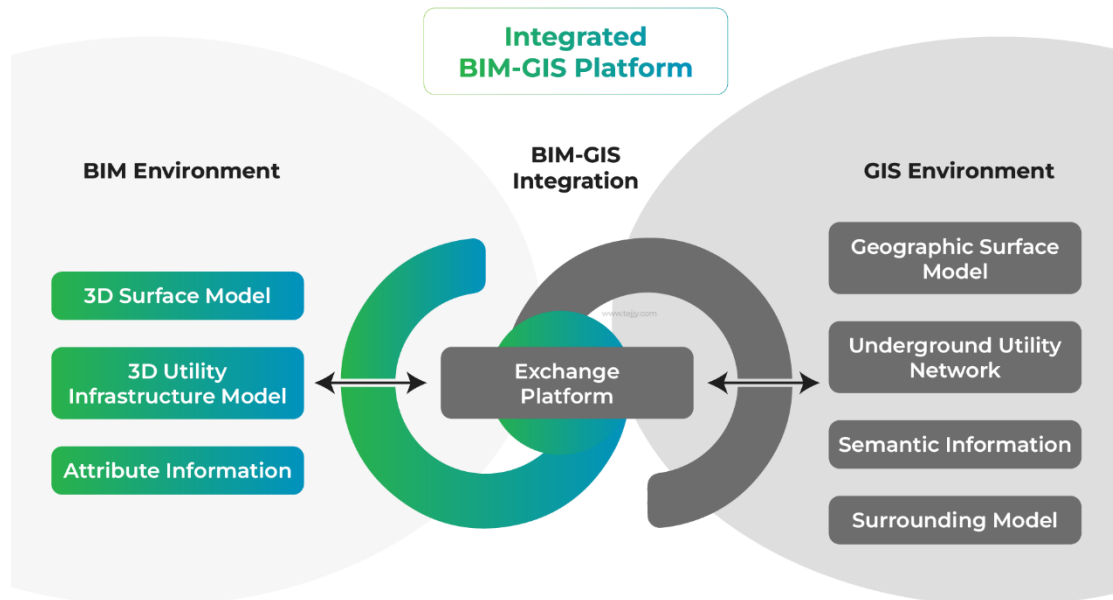
Αδιαμφισβήτητα, ο πιο ραγδαία αναπτυσσόμενος τεχνολογικός κλάδος των τελευταίων ετών είναι η τεχνητή νοημοσύνη και η εφαρμογή της σε επαγγελματικά ζητήματα. Με τον όρο τεχνητή νοημοσύνη (AI) εννοούμε την ικανότητα μίας μηχανής να έχει κριτική σκέψη μέσα από την απορρόφηση άφθονων πληροφοριών σε ελάχιστο χρονικό διάστημα. Η τεχνολογία BIM μπορεί να χρησιμοποιήσει την τεχνητή νοημοσύνη για την κατανόηση δεδομένων και την εύρεση μοτίβων, μέσα από τα οποία λαμβάνονται αποφάσεις για την κατασκευή. Έχει τη δυνατότητα επεξεργασίας πολλαπλών δεδομένων πολύ πιο γρήγορα και με μεγαλύτερη ακρίβεια από ότι ο ανθρώπινος εγκέφαλος. Επομένως, η χρήση του επιταχύνει την κατασκευαστική διαδικασία, ενώ παράλληλα αυξάνεται η ασφάλεια και μειώνεται το ρίσκο που μπορεί να οφείλεται σε ανθρώπινο λάθος.

❖ **Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS)**

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών πρόκειται για συστήματα τα οποία αναλύουν γεωγραφικά δεδομένα και μπορούν να παρέχουν χωρικές πληροφορίες σε ένα μοντέλο BIM. Επίσης, τα δύο συστήματα έχουν τη δυνατότητα ανταλλαγής δεδομένων, επιτρέποντας την αναπαράσταση του έργου, αλλά και του περιβάλλοντα χώρου. Το γεγονός αυτό οδηγεί στον καλύτερο σχεδιασμό του έργου και στην ευκολότερη λήψη αποφάσεων. Ένα παράδειγμα χρήσης του συνδυασμού BIM-GIS σε ένα μεγάλο εργοτάξιο μπορεί να είναι η χωρική ανάλυση του εργοταξίου σε σύγκριση

Διερεύνηση δυνατοτήτων της τεχνολογίας BIM για τη διαχρονική παρακολούθηση και οικονομική διαχείριση της κατασκευής ενός κτιρίου. Εμμανουήλ Χασάπης

με την περιοχή της οικοδομής, ώστε να επιλεγθεί το κατάλληλο σημείο για την τοποθέτηση γερανών και άλλων μηχανημάτων. Σε γενικές γραμμές, ο συνδυασμός αυτών των δύο τεχνολογιών παρατηρείται κυρίως σε έργα μεγάλης κλίμακας, όπου το μοντέλο BIM είναι αδύνατο να περιέχει τέτοιο όγκο δεδομένων.



Εικόνα 2.12: Συνδυασμός BIM και GIS (<https://www.tejy.com/>)

(Dr. Muhammad Azeem Ashraf, Dr. Samson Maekele Tsegay, et. al, 2022)

Κεφάλαιο 3 – Το μοντέλο στο Revit

3.1 Ο 3D σχεδιασμός στα πλαίσια του BIM

Στο διαρκώς εξελισσόμενο πεδίο των μηχανικών και της κατασκευαστικής βιομηχανίας, η υιοθέτηση καινοτόμων τεχνολογιών θεωρείται απαραίτητη προϋπόθεση για την ενίσχυση της αποδοτικότητας, της συνεργασίας και της ευρύτερης επιτυχίας του τομέα. Ανάμεσα σε τέτοιες τεχνολογίες, το **BIM** (Building Information Modeling), διακρίνεται ως μία νέα προσέγγιση που εκσυγχρονίζει τις παραδοσιακές μεθόδους σχεδιασμού και διαχείρισης κατασκευαστικών έργων.

Στο πλαίσιο της τεχνολογίας BIM, πρωταρχικό ρόλο διαδραματίζει η δημιουργία ψηφιακών αναπαραστάσεων φυσικών και τεχνικών χαρακτηριστικών του χώρου. Αναπόσπαστο κομμάτι της διαδικασίας αυτής είναι η εφαρμογή τρισδιάστατου σχεδιασμού που αποτελεί και το θεμέλιο της BIM μεθοδολογίας. Άλλωστε, ο 3D σχεδιασμός παρέχει τα μέσα για την οπτικοποίηση και την κατανόηση των αρχιτεκτονικών και δομικών συστημάτων εντός ενός ψηφιακού περιβάλλοντος.

Η εφαρμογή τρισδιάστατου σχεδιασμού στο πλαίσιο ενός BIM μοντέλου επεκτείνεται πέρα από μία απλή αναπαράσταση, καθώς λειτουργεί ως κεντρικό αποθετήριο για όλες τις πληροφορίες του έργου, επιτρέποντας έτσι την επικοινωνία και τη συνεργασία μεταξύ των ενδιαφερόμενων. Από τον αρχικό σχεδιασμό, μέχρι το στάδιο της κατασκευής και της λειτουργίας, ο 3D σχεδιασμός αναλαμβάνει καθοριστικό ρόλο στην λεπτομερή οπτικοποίηση κάθε σταδίου, καθώς και στη λήψη σημαντικών αποφάσεων που καθορίζουν την ομαλή εξέλιξη της διαδικασίας.

Τα παραπάνω αποτελούν μία εισαγωγή στη σχέση μεταξύ 3D σχεδιασμού και BIM, ενώ αργότερα πραγματοποιείται εμβάθυνση στις αρχές και τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την ενσωμάτωση της μίας διαδικασίας στην άλλη.

3.2 Η επιλογή του Revit

Σήμερα, υπάρχουν πολλά διαθέσιμα προγράμματα που εξυπηρετούν τον 3D σχεδιασμό και την BIM μεθοδολογία. Ωστόσο, για την συγκεκριμένη μελέτη επιλέχθηκε η χρήση του Revit, πρόγραμμα της εταιρείας Autodesk που μετρά πολλά χρόνια εμπειρίας στην διαμόρφωση σχεδιαστικών λογισμικών. Η επιλογή του Revit για τη δημιουργία του μοντέλου ήταν μια απόφαση που οφείλεται στα πολλαπλά οφέλη του, τα οποία αναφέρονται παρακάτω.

- **Σχεδιαστικό Πρότυπο:** Το Revit συνιστά ένα από τα πιο ευρέως διαδεδομένα λογισμικά BIM της κατασκευαστικής βιομηχανίας. Επομένως, η υιοθέτησή του αποδίδει στο μοντέλο τα κατασκευαστικά πρότυπα, καθιστώντας το πιο σχετικό και εφαρμόσιμο σε πραγματικές πρακτικές.
- **Ολοκληρωμένες Δυνατότητες BIM:** Το Revit προσφέρει ολοκληρωμένες δυνατότητες BIM, επιτρέποντας τη δημιουργία 3D μοντέλων, τα οποία εκτός από γεωμετρική πληροφορία, περιλαμβάνουν και πληροφορίες σχετικά με τα δομικά συστήματα, τα υλικά, τις ποσότητες κ.α. Το γεγονός αυτό ανταποκρίνεται στις θεμελιώδεις αρχές του BIM, που περιλαμβάνουν τη δημιουργία και τη διαχείριση χρησιμων δομικών δεδομένων.
- **Συνεργασία:** Το πρόγραμμα προωθεί την επικοινωνία μεταξύ διαφόρων ενδιαφερόμενων, όπως μηχανικοί, εργολάβοι, προμηθευτές, και επιτρέπει τη συνεργασία τους σε μία κοινή πλατφόρμα. Ακόμα, ο τρόπος λειτουργίας του Revit εξυπηρετεί την συνεχή ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των ατόμων για όλο τον κύκλο ζωής του έργου, από το σχεδιασμό και την κατασκευή, μέχρι τη λειτουργία του.
- **Παραμετρική Μοντελοποίηση:** Με τον όρο παραμετρική μοντελοποίηση εννοούμε την ικανότητα για δημιουργία δυναμικών δομικών στοιχείων, εύκολα προσαρμόσιμα σε πιθανές αλλαγές του σχεδιασμού. Το γεγονός αυτό επιτρέπει την καλύτερη και ταχύτερη αναπαράσταση σχεδιαστικών επιλογών και επιτυγχάνεται πλήρως με τη χρήση του προγράμματος Revit.

- Συνδυασμός με άλλα λογισμικά: Το Revit έχει τη δυνατότητα συνδυασμού με άλλα λογισμικά, προσθέτοντας περαιτέρω λειτουργίες στον αρχικό τρισδιάστατο BIM σχεδιασμό. Αυτό πραγματοποιείται και στη συνέχεια, όπου το μοντέλο Revit ενσωματώνεται στο πρόγραμμα Bexel Manager με σκοπό την 4D (χρονικός προγραμματισμός) και 5D (οικονομικός προϋπολογισμός) ανάλυσή του.

Συνολικά, επιλέγοντας το Revit για τον σχεδιασμό ενός BIM μοντέλου είναι σίγουρο πως χρησιμοποιείται μία πλατφόρμα που παρέχει πολλές δυνατότητες όσον αφορά μία ολοκληρωμένη BIM προσέγγιση.

3.3 Η δημιουργία του μοντέλου BIM

3.3.1 Μερικά λόγια για το έργο

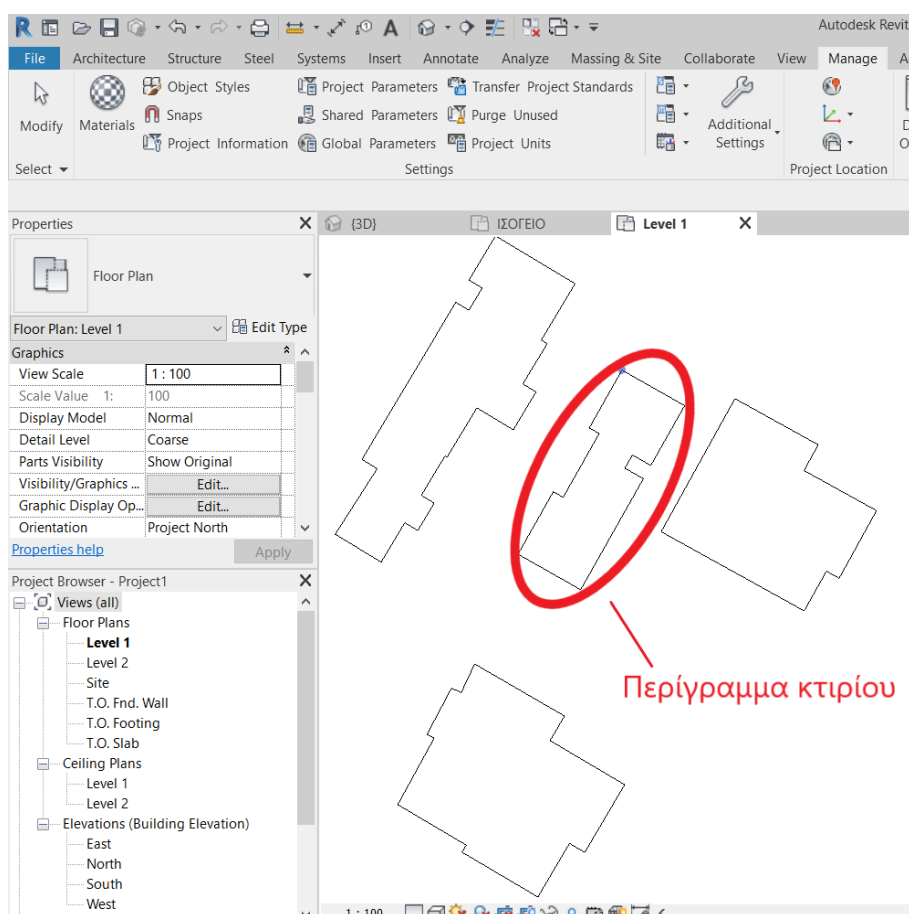
Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το τρισδιάστατο μοντέλο που δημιουργήθηκε, αντικατοπτρίζει ένα πραγματικό έργο, για το οποίο έχει εκδοθεί οικοδομική άδεια και συνοδεύεται από ένα σύνολο μελετών (τοπογραφικών, αρχιτεκτονικών, στατικών, κ.α.), που χρησιμοποιήθηκαν για την ολοκλήρωση του μοντέλου σε περιβάλλον Revit. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για μία εξαόροφη πολυκατοικία, με υπόγειο και σοφίτα, συνολικά οκτώ ιδιοκτησιών, η οποία διαθέτει τρεις κολυμβητικές δεξαμενές. Το συγκρότημα βρίσκεται επί της οδού Βασιλέως Παύλου 118, περιοχή Βούλα, του Δήμου Βάρης-Βούλας-Βουλιαγμένης, Ο.Τ. 214-215 της Περιφερειακής Ενότητας Ανατολικής Αττικής. Παρακάτω, φαίνεται ένα απόσπασμα του ορθοφωτοχάρτη κτηματολογίου, στο οποίο εντοπίζεται το γεωτεμάχιο που αφορά το εν λόγω κτίριο.



Εικόνα 3.1: Γεωγραφικός εντοπισμός του έργου

3.3.2 Χωροθέτηση του μοντέλου

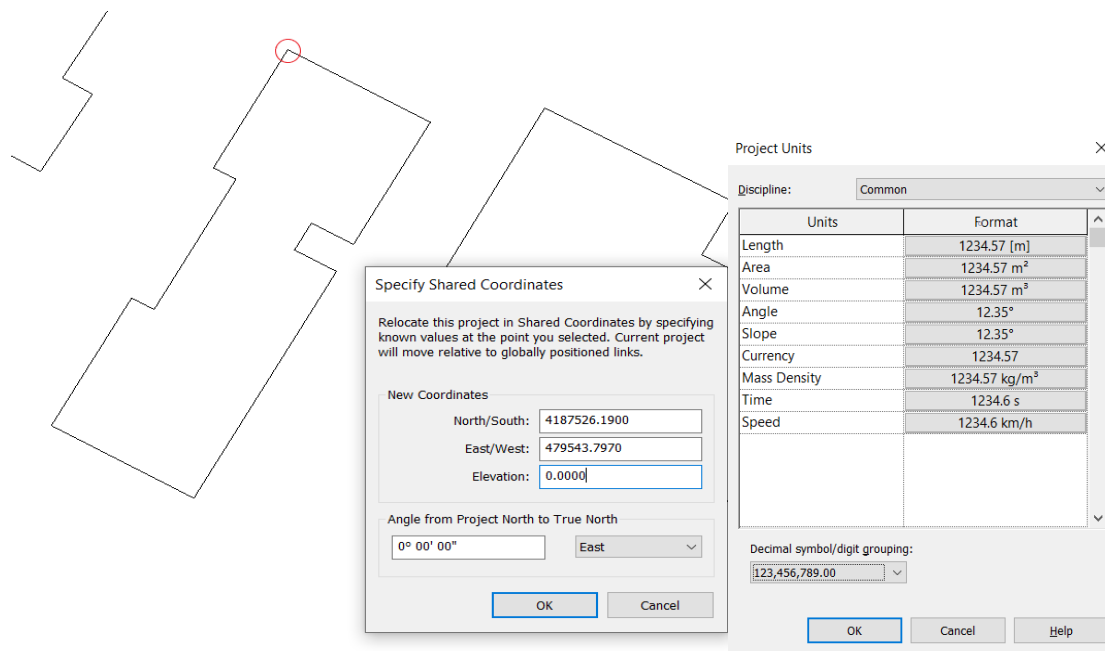
Το πρώτο στάδιο δημιουργίας του μοντέλου είναι η χωροθέτηση του έργου, δηλαδή ο προσδιορισμός της θέσης και του προσανατολισμού, καθώς και ο καθορισμός του συστήματος συντεταγμένων μέσω της γεωαναφοράς του μοντέλου. Η πηγή άντλησης των συγκεκριμένων πληροφοριών είναι το τοπογραφικό διάγραμμα, το οποίο απεικονίζει τη σχετική θέση του κτιρίου με τα γειτονικά κτίρια, ενώ ταυτόχρονα παρέχει τις συντεταγμένες του χώρου στο κρατικό σύστημα ΕΓΣΑ '87. Αρχικά, αντλήθηκαν τα περιγράμματα των κτιρίων από το τοπογραφικό διάγραμμα και ακολούθησε η εισαγωγή τους στο Revit, με σκοπό την ύπαρξη ενός υποβάθρου σχεδίασης. Το αποτέλεσμα φαίνεται στο παρακάτω απόσπασμα.



Εικόνα 3.2: Τα ίχνη των κτιρίων

Στη συνέχεια, σειρά είχε η γεωαναφορά του μοντέλου στο σύστημα ΕΓΣΑ '87, μέσω των κορυφών του κτιρίου ενδιαφέροντος, οι συντεταγμένες του οποίου αναγράφονται με ακρίβεια στο τοπογραφικό διάγραμμα. Για την ορθή γεωαναφορά του μοντέλου προσδιορίστηκαν οι συντεταγμένες τριών κορυφών, όπως φαίνεται

στην παρακάτω εικόνα. Η πρώτη κορυφή προσδιορίζει τη θέση, η δεύτερη τον προσανατολισμό και η τρίτη λειτουργεί ως επαλήθευση της διαδικασίας.



Εικόνα 3.3: Η γεωαναφορά του μοντέλου

Ακόμα, στο αρχικό αυτό στάδιο, προσδιορίστηκαν οι μονάδες μέτρησης του μοντέλου, όπως φαίνονται στο δεξιό τμήμα της παραπάνω εικόνας.

3.3.3 Δημιουργία επιπέδων του μοντέλου

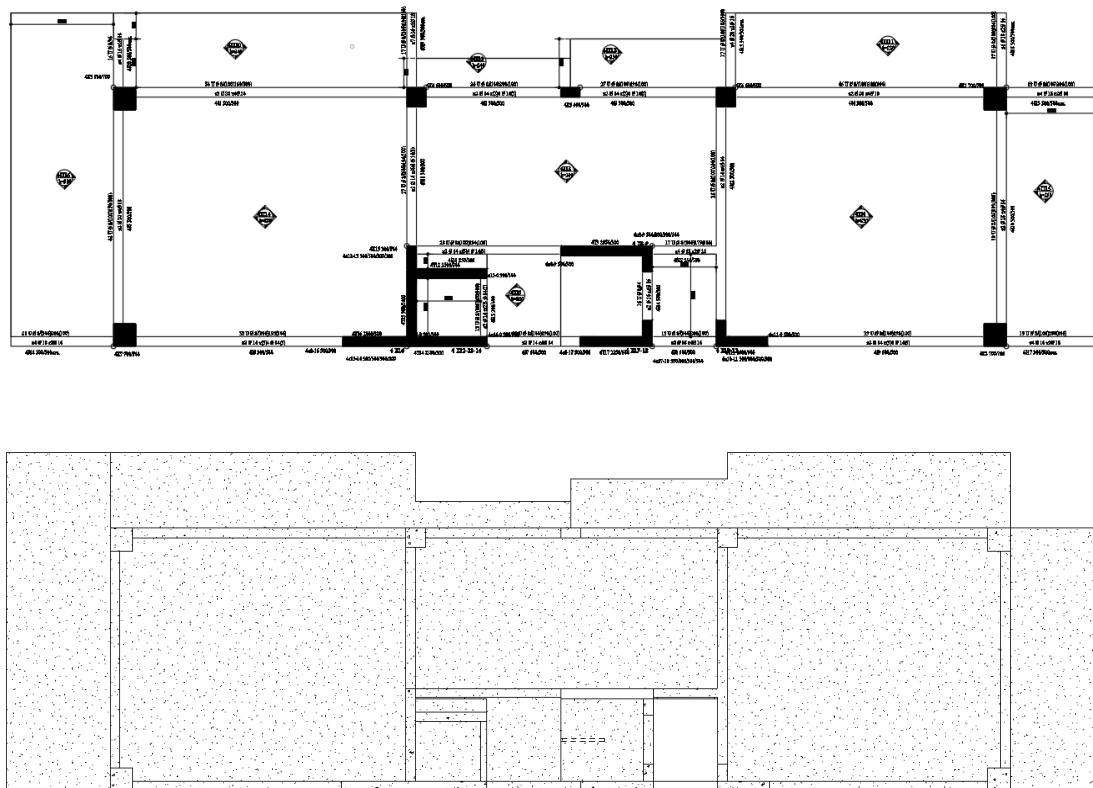
Πρωταρχικό στάδιο στην μοντελοποίηση του κτιρίου αποτελεί ο ορισμός επιπέδων, δηλαδή των ορόφων της κατασκευής. Τα υψόμετρα των ορόφων αντλήθηκαν από την αρχιτεκτονική μελέτη και πιο συγκεκριμένα από τις όψεις και τις τομές του κτιρίου. Για τον ορισμό των τελικών υψομέτρων των επιπέδων χρησιμοποιήθηκε η τελική στάθμη μετόν κάθε ορόφου.



Εικόνα 3.4: Τα επίπεδα του μοντέλου

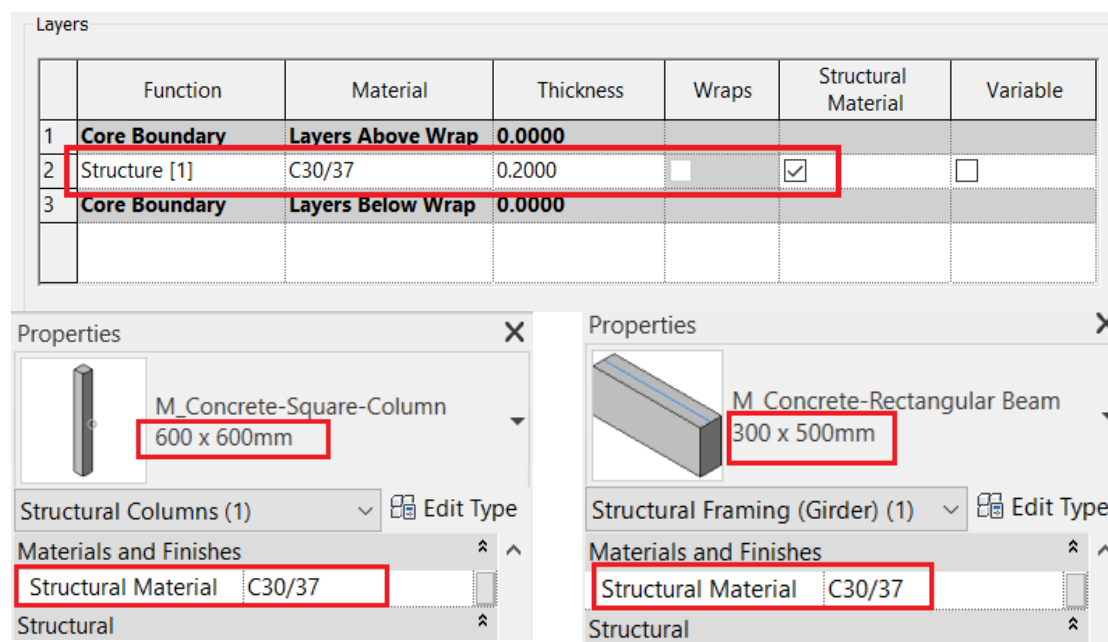
3.3.4 Ο σκελετός του κτιρίου

Ο σκελετός του κτιρίου αποτελείται από οπλισμένο σκυρόδεμα τύπου C30/37 και μοντελοποιήθηκε ακολουθώντας πιστά την στατική μελέτη της κατασκευής. Πραγματοποιήθηκε ανά όροφο, η εισαγωγή όλων των δομικών στοιχείων του κτιρίου δηλαδή οι πλάκες, τα υποστυλώματα και τα δοκάρια, τηρώντας το αρχικό περίγραμμα που είχε ορισθεί στο στάδιο της χωροθέτησης. Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται η οροφή του τρίτου ορόφου σε σχεδιαστικό πρόγραμμα cad, σε σύγκριση με την οροφή του τρίτου ορόφου όπως αυτή μοντελοποιήθηκε σε περιβάλλον Revit.



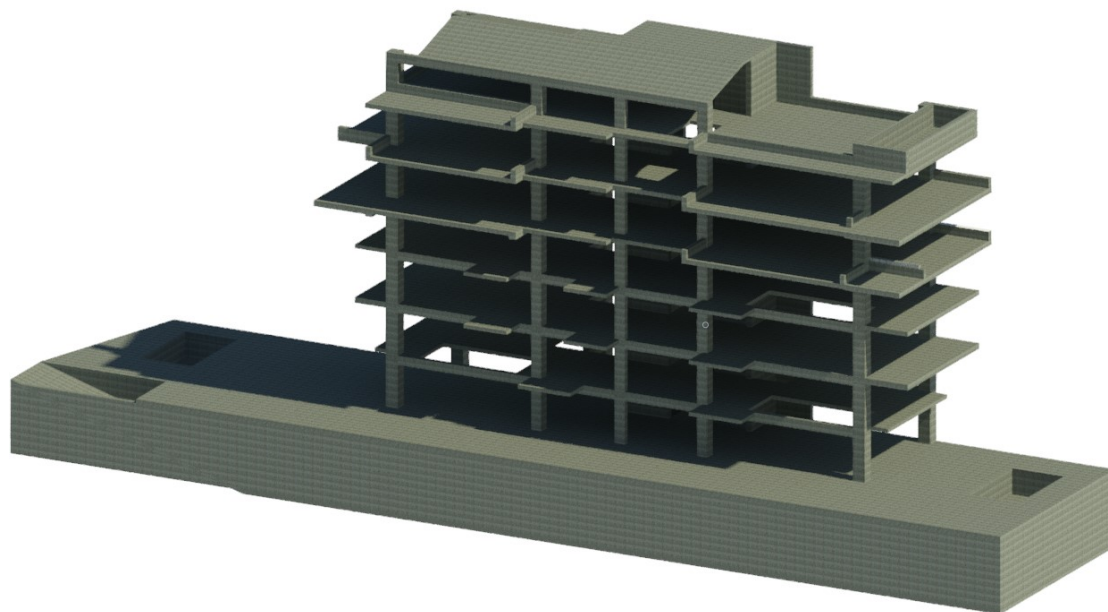
Εικόνα 3.5: Η οροφή του 3^{ου} ορόφου σε δύο διαφορετικά προγράμματα

Σε αντίθεση με ένα πρόγραμμα cad, όπου τα σχεδιαστικά μέσα είναι απλές γραμμές και η πληροφορία του σχεδίου αναγράφεται ξεχωριστά, το Revit επιτρέπει το σχεδιασμό, στην προκειμένη περίπτωση της οροφής του τρίτου ορόφου, με πραγματικές οντότητες, δηλαδή πλάκες, κολώνες και δοκάρια. Σε κάθε μία από αυτές τις οντότητες έχει αποδοθεί η αντίστοιχη πληροφορία του σχεδίου μετατρέποντας τις σε δυναμικά δομικά στοιχεία της κατασκευής και όχι σε απλοϊκές σχεδιαστικές γραμμές. Οι παρακάτω εικόνες απεικονίζουν την εν λόγω διαδικασία.



Εικόνα 3.6: Η απόδοση των στοιχείων του σκελετού του κτιρίου

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω αποσπάσματα, το Revit διαθέτει τη δυνατότητα απόδοσης πληροφοριών στα σχεδιαστικά μέσα του σκελετού του κτιρίου, όπως το υλικό, οι διαστάσεις και το πάχος της πλάκας. Στο συγκεκριμένο έργο όλες οι κατασκευές από σκυρόδεμα πραγματοποιούνται με τύπο C30/37, ενώ οι διαστάσεις των υποστυλωμάτων, των δοκαριών, καθώς και τα πάχη της κάθε πλάκας προσαρμόζονται σύμφωνα με τη στατική μελέτη. Άλλωστε, αυτός είναι ένας από τους πρωταρχικούς στόχους της BIM διαδικασίας, δηλαδή η απόδοση πραγματικών ιδιοτήτων στα μέσα σχεδίασης, τα οποία με τη σειρά τους συνιστούν και αυτά πραγματικά τμήματα της κατασκευής. Η συγκεκριμένη διαδικασία επαναλήφθηκε για κάθε όροφο της κατασκευής, εισάγοντας όλα τα δομικά στοιχεία συνοδευόμενα από τα επιμέρους χαρακτηριστικά τους. Παρακάτω επισυνάπτεται μία τρισδιάστατη άποψη του τελικού μοντέλου που αφορά τον σκελετό του κτιρίου.

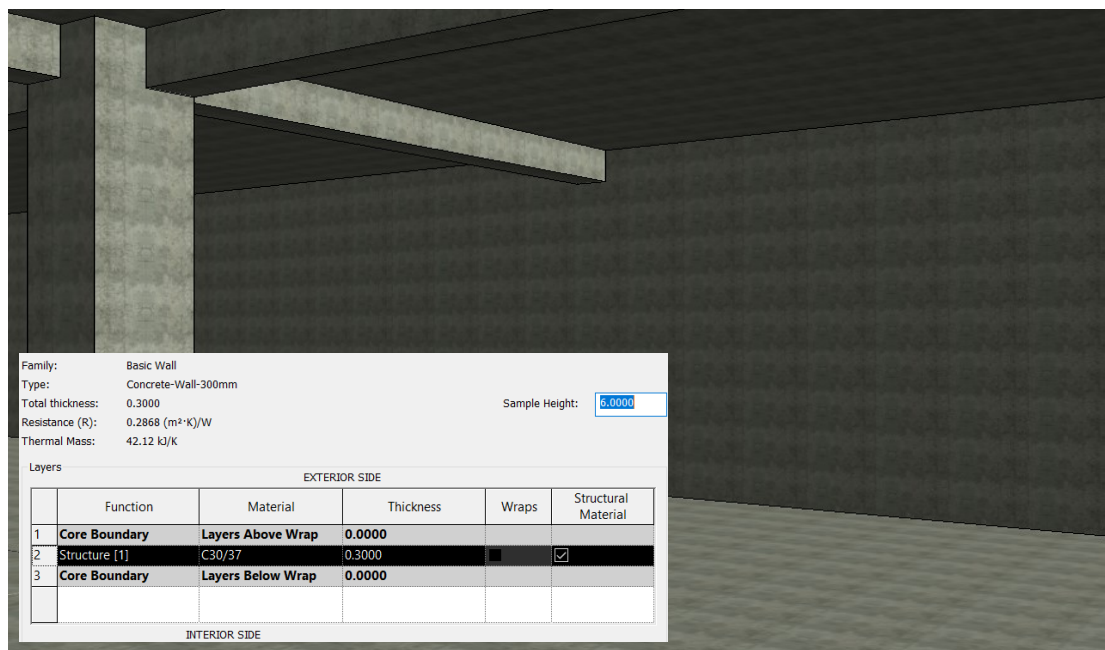


Εικόνα 3.7: Μία προοπτική απεικόνιση του σκελετού του κτιρίου

3.3.5 Τοιχοποιίες

Οι σχεδιαστικές δυνατότητες του Revit επιτρέπουν τη δημιουργία προσαρμοσμένων τοιχοποιϊών, ανάλογα με τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τη διαμόρφωσή τους. Επομένως, όπως και προηγουμένως, οι τοίχοι αποτελούν δυναμικά στοιχεία της κατασκευής, εύκολα προσαρμόσιμα σε αλλαγές, που φέρουν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους. Στα πλαίσια του συγκεκριμένου μοντέλου, διαμορφώθηκαν οι εξωτερικές και εσωτερικές τοιχοποιίες σύμφωνα με τις κατασκευαστικές μεθόδους που ακολουθεί η εταιρεία και συνοδεύουν τη μελέτη ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου.

Αρχικά, όσον αφορά τις εξωτερικές τοιχοποιίες, πρώτα σε σειρά ήταν τα τοιχεία του υπογείου, τα οποία σύμφωνα με την αρχιτεκτονική μελέτη έχουν πάχος 0.30 μέτρων και φυσικά αποτελούνται από σκυρόδεμα.

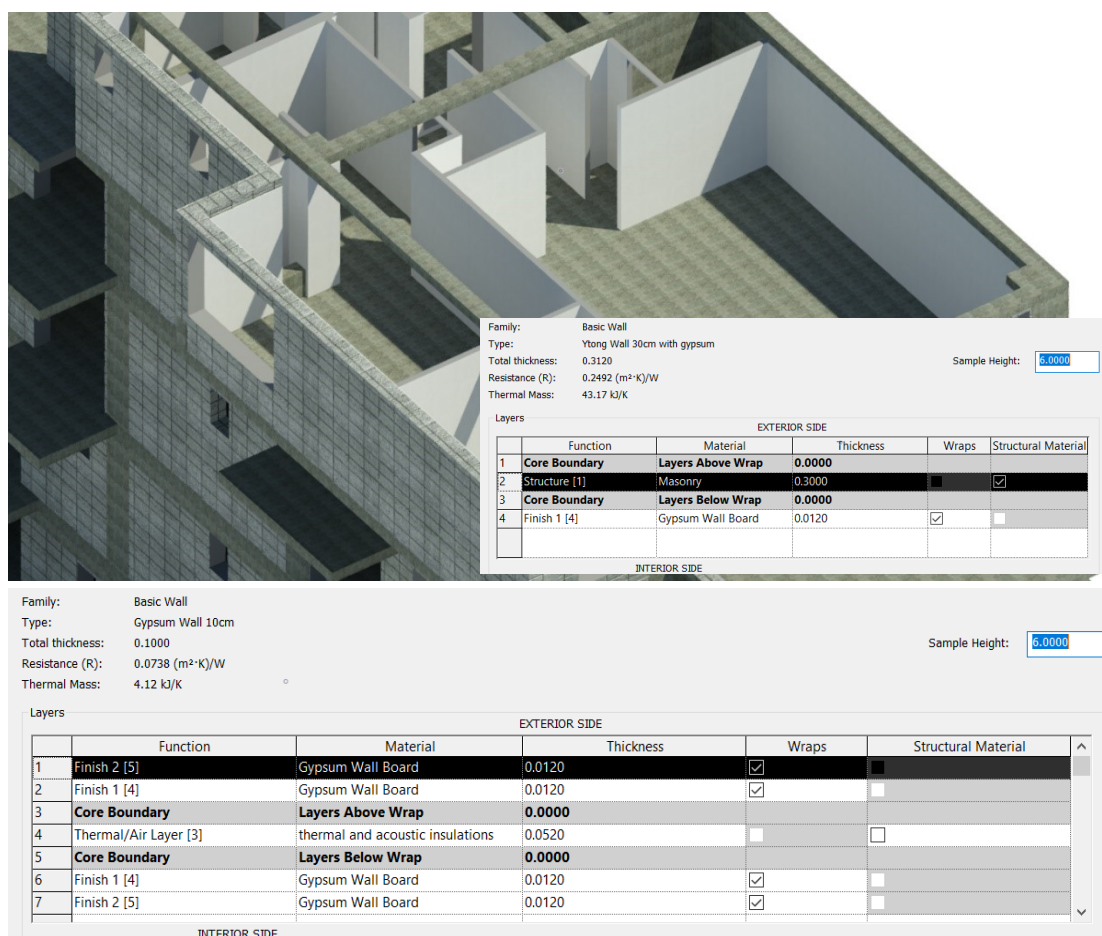


Εικόνα 3.8: Τα τοιχεία του υπογείου

Ύστερα, ακολούθησαν οι εξωτερικές τοιχοποιίες της ανωδομής, οι οποίες απαρτίζονται από το οικοδομικό υλικό παραμπετόν (Ytong). Στη δομική σύσταση του τοίχου, και πιο συγκεκριμένα στο εσωτερικό τμήμα αυτού, έχει γίνει προσθήκη μονής γυψοσανίδας για αισθητικούς λόγους, το πάχος της οποίας είναι 0.012 μέτρα όπως αναφέρει ο προμηθευτής.

Σχετικά με τις εσωτερικές τοιχοποιίες έχουν εφαρμοστεί τα εξής. Αρχικά, σύμφωνα με την αρχιτεκτονική μελέτη, η συντριπτική πλειοψηφία των εσωτερικών χωρισμάτων έχει πάχος 0.10 μέτρα και πρόκεινται για χωρίσματα γυψοσανίδας. Πιο αναλυτικά, τα χωρίσματα αυτά περιέχουν στο κέντρο τους ένα στρώμα θερμομονωτικών και ηχομονωτικών υλικών, ενώ οι δύο πλευρές τους ολοκληρώνονται με την τοποθέτηση διπλής γυψοσανίδας για λόγους σταθερότητας.

Το οπτικό αποτέλεσμα των παραπάνω στοιχείων σε συνδυασμό με την αναλυτική δομή τους παρουσιάζεται στο παρακάτω απόσπασμα.



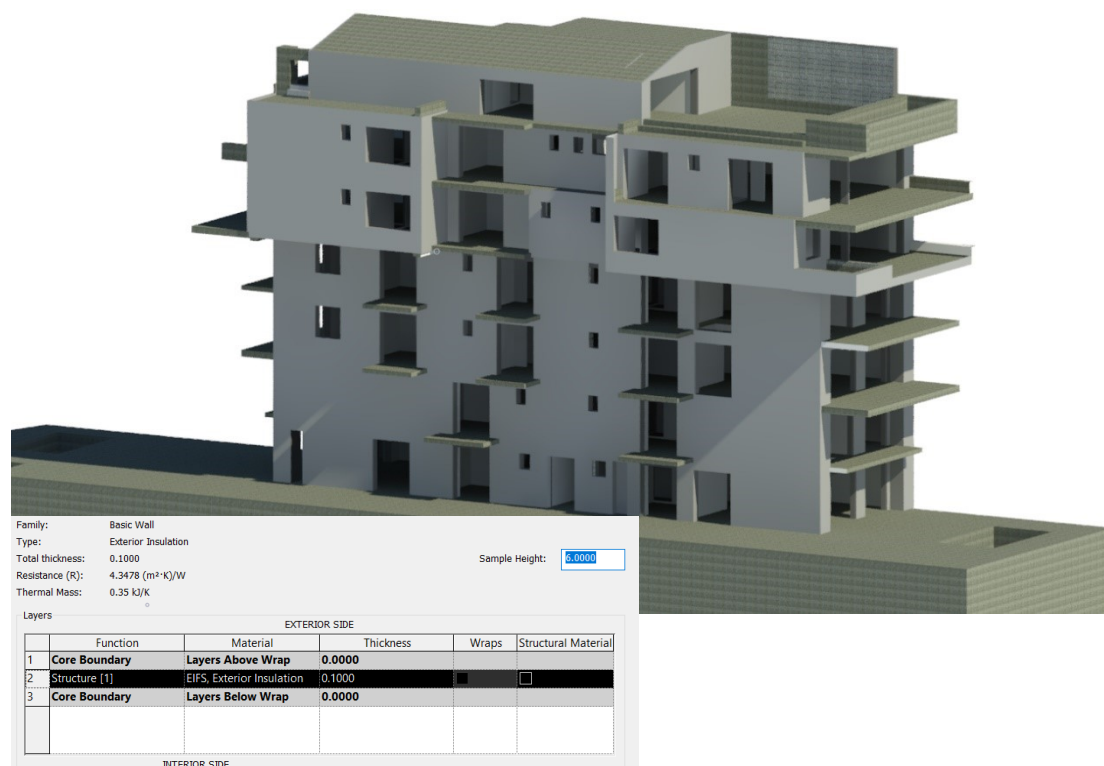
Εικόνα 3.9: Οι τοιχοποιίες της κατασκευής

Η μοντελοποίηση δομικών στοιχείων που μόλις περιγράφηκε, συνιστά αναπόσπαστο τμήμα της ολοκληρωμένης BIM προσέγγισης της κατασκευής. Η απόδοση τεχνικών χαρακτηριστικών στους τοίχους, όπως το υλικό και το πάχος τους, επιτρέπει την εύκολη, ταχεία και ακριβή διεξαγωγή πολλαπλών διαδικασιών, οι οποίες χρησιμοποιώντας τις παραδοσιακές μεθόδους σχεδίασης θα ήταν ιδιαίτερα πολύπλοκες. Εργασίες όπως η εμβαδομέτρηση, η καταμέτρηση και ο υπολογισμός των υλικών επιτυγχάνονται με τη χρήση της τεχνολογίας αυτής. Ακόμα, κάθε υλικό συνοδεύεται από δεδομένα σχετικά με τις φυσικές του ιδιότητες, γεγονός που ευνοεί την ενεργειακή μελέτη του κτιρίου.



Εικόνα 3.10: Το κέλυφος του κτιρίου

Τέλος, ο τελευταίος τύπος τοιχοποιΐας που δημιουργήθηκε είναι η εξωτερική θερμομόνωση πάχους 0.10 μέτρων με την οποία επενδύθηκε το εξωτερικό κέλυφος του κτιρίου. Παρακάτω, παρουσιάζεται μία ολοκληρωμένη άποψη του κτιρίου, με τα ανοίγματα που παρατηρούνται να εξυπηρετούν την μελλοντική τοποθέτηση κουφωμάτων.



Εικόνα 3.11: Η εξωτερική θερμομόνωση του κτιρίου

3.3.6 Κουφώματα και πόρτες

Η μοντελοποίηση κουφωμάτων σε περιβάλλον Revit χαρακτηρίζεται από πολλαπλά οφέλη που αφορούν διάφορες πτυχές της κατασκευής. Αρχικά, προσφέρει τη δυνατότητα αναλυτικής σχεδίασης και απόδοσης υλικών, γεγονός που επιτρέπει την ρεαλιστική απεικόνισή τους στο σύνολο του κτιρίου. Επίσης, στις παραδοσιακές μεθόδους 2D σχεδίασης, οι κατόψεις συνοδεύονται από πινακάκια που αναγράφουν τις διαστάσεις των κουφωμάτων. Αντίθετα, η πληροφορία αυτή είναι ενσωματωμένη στο μοντέλο, γεγονός που καθιστά τη διαχείριση των κουφωμάτων εύχρηστη και γρήγορη. Ορισμένες προεργασίες, όπως είναι για παράδειγμα η δημιουργία πίνακα κουφωμάτων, μέσα από τον οποίο λαμβάνεται σχετική οικονομική προσφορά από τον προμηθευτή, δεν είναι αναγκαίες με τη χρήση BIM τεχνολογίας. Στην συγκεκριμένη περίπτωση υπάρχει δυνατότητα κοινής χρήσης του μοντέλου μεταξύ μηχανικών και προμηθευτή, μετατρέποντας τη διαδικασία παροχής οικονομικής προσφοράς πιο άμεση, καθώς ο προμηθευτής αποκτά πρόσβαση στον αριθμό, τις διαστάσεις και τον τύπο των κουφωμάτων. Μέσα από αυτό, ενισχύεται η συνεργασία

και η επικοινωνία των ενδιαφερόμενων, ενώ παράλληλα αποφεύγονται λάθη που οδηγούν σε πιθανές καθυστερήσεις παράδοσης ή και υπερβάσεις κόστους του έργου.

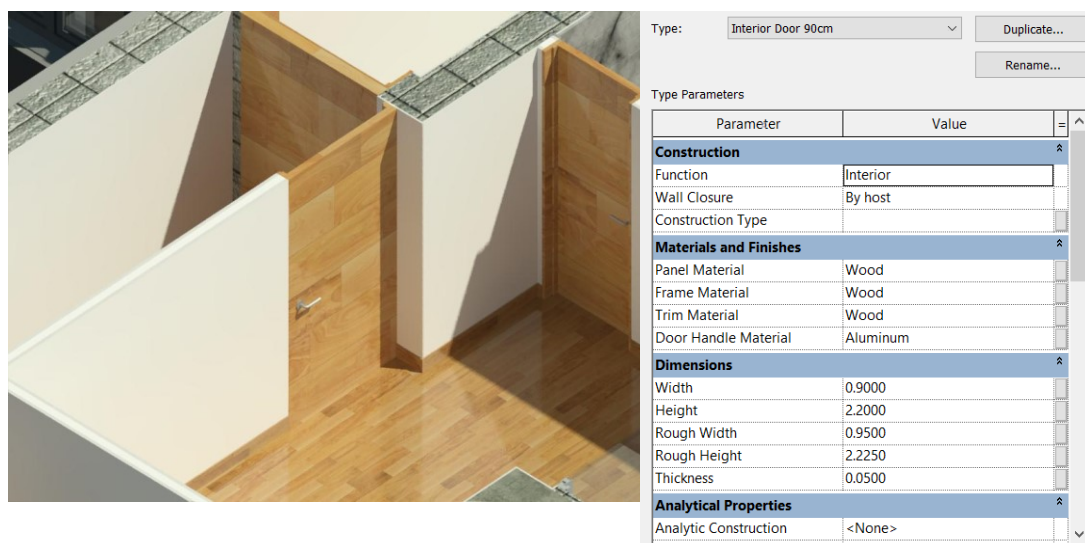
Συγχρόνως, τα κουφώματα αποτελούν έναν από τους πλέον κρίσιμους παράγοντες που καθορίζουν την ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου. Επομένως, μία πλήρης μελέτη οφείλει να συνοδεύεται από ορισμένα φυσικά χαρακτηριστικά, τα οποία προκύπτουν από τον τύπο του κουφώματος και τα υλικά σύνθεσής του. Σκοπός της διαδικασίας αυτής είναι η αύξηση της βιωσιμότητας και η ενεργειακή μελέτη της κατασκευής, γεγονός που υποστηρίζεται από τις λειτουργίες του Revit.

Όπως γίνεται αντιληπτό, σε μία ολοκληρωμένη BIM προσέγγιση, ο όγκος και το περιεχόμενο των δεδομένων που αφορούν τα κουφώματα της κατασκευής είναι ιδιαίτερα σημαντικά. Στο πλαίσιο δημιουργίας του μοντέλου, διαμορφώθηκε ένας συγκεκριμένος τύπος κουφώματος, στον οποίο αποδόθηκαν οι εκάστοτε διαστάσεις, όπως αναφέρονται στην αρχιτεκτονική μελέτη του κτιρίου.



Εικόνα 3.12: Τα κουφώματα της κατασκευής

Παρόμοια πράγματα ισχύουν και για τις πόρτες του κτιρίου και τον τρόπο με τον οποίο εντάσσονται και εξυπηρετούν την BIM μεθοδολογία. Όπως ισχύει και με τα κουφώματα, οι πόρτες που τοποθετήθηκαν στο μοντέλο περιέχουν δεδομένα σχετικά με το πλάτος, το ύψος και το υλικό κατασκευής τους. Επομένως, μία τέτοια ολοκληρωμένη αποτύπωση ευνοεί διάφορες πτυχές του σχεδιασμού, όπως είναι η αισθητική απόδοση του αποτελέσματος, ενώ ταυτόχρονα η παροχή αναλυτικών δεδομένων επιτρέπει τον ακριβή προϋπολογισμό του συγκεκριμένου στοιχείου της κατασκευής.



Εικόνα 3.13: Οι πόρτες των διαμερισμάτων

3.3.7 Δάπεδα

Οι δυνατότητες διαμόρφωσης δαπέδων που προσφέρει το Revit ικανοποιούν βασικές αρχές τις BIM μεθοδολογίας. Αρχικά, υποστηρίζεται η παραμετρική μοντελοποίηση, μέσα από την οποία αποδίδονται χαρακτηριστικά όπως οι διαστάσεις, το πάχος, τα υλικά του δαπέδου και άλλα. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η πιστή αναπαράστασή του και η ακρίβεια του μοντέλου διατηρείται σε υψηλά επίπεδα. Παράλληλα, τα δάπεδα στο Revit λειτουργούν ως ένα στοιχείο που διατηρεί σημαντική συσχέτιση με άλλα δομικά στοιχεία, όπως τοίχοι, οροφές και κολώνες. Αυτό σημαίνει πως οποιαδήποτε αλλαγή σε αυτά τα στοιχεία προκαλεί την αυτόματη προσαρμογή των δαπέδων στα νέα δεδομένα διατηρώντας την ομοιογένεια και την ακρίβεια του μοντέλου.

Επιπροσθέτως, η αναλυτική μοντελοποίηση των δαπέδων, με τις ακριβείς διαστάσεις και την απόδοση πραγματικών υλικών μπορεί να λειτουργήσει ως μία βάση δεδομένων ή αλλιώς ένα κοινό μοντέλο συζήτησης μεταξύ μηχανικών, προμηθευτών και πελατών. Το γεγονός αυτό ενισχύει την επικοινωνία και την άμεση συνεργασία μεταξύ των ενδιαφερόμενων, στοιχεία που συνιστούν αρχές της BIM διαδικασίας. Πιο συγκεκριμένα, μέσα από την κοινή χρήση δεδομένων σχετικά με τα δάπεδα του κτιρίου, η παροχή οικονομικών προσφορών από τους προμηθευτές γίνεται ευκολότερη και περιορίζονται πιθανά σφάλματα υπολογισμού ποσοτήτων. Ακόμα, υπάρχει άμεση επικοινωνία με τους πελάτες, οι οποίοι έχουν πλήρη επίγνωση της εκάστοτε κατάστασης, αποτρέποντας έτσι πιθανές παρεξηγήσεις μεταξύ πελατών και ομάδας έργου.

Όσον αφορά τη μοντελοποίηση των δαπέδων που εντάχθηκαν στο 3D μοντέλο της συγκεκριμένης μελέτης ισχύουν τα εξής. Αρχικά, βάση των δαπέδων του κτιρίου είναι ητσιμεντοκτονία, όπως ισχύει και στην πραγματική κατασκευή. Ύστερα, ακολούθησε η επίστρωση κάθε χώρου ανάλογα με τη χρήση του. Στους κύριους χώρους των κατοικιών τοποθετήθηκε ξύλινο δάπεδο, ενώ στα λουτρά και τους εξώστες του κτιρίου τοποθετήθηκε μάρμαρο και πλακάκι.

Φυσικά οι επιλογές αυτές είναι εύκολα προσαρμόσιμες στις επιλογές του πελάτη, ωστόσο στο συγκεκριμένο στάδιο αποδόθηκε μία γενική αποτίμηση των χώρων και των τύπων των επιφανειών.



<p>Family: Floor Type: Exterior Balcony Floor Total thickness: 0.1000 (Default) Resistance (R): 0.0919 (m²·K)/W Thermal Mass: 14.57 kJ/K</p> <p style="text-align: center; font-size: 2em; color: red;">1</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Layers</th> <th>Function</th> <th>Material</th> <th>Thickness</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Finish 1 [4]</td> <td>Ceramic Tile</td> <td>0.0300</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Core Boundary</td> <td>Layers Above Wrap</td> <td>0.0000</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Structure [1]</td> <td>Concrete, Sand/Cement</td> <td>0.0700</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Core Boundary</td> <td>Layers Below Wrap</td> <td>0.0000</td> </tr> </tbody> </table>	Layers	Function	Material	Thickness	1	Finish 1 [4]	Ceramic Tile	0.0300	2	Core Boundary	Layers Above Wrap	0.0000	3	Structure [1]	Concrete, Sand/Cement	0.0700	4	Core Boundary	Layers Below Wrap	0.0000	<p>Family: Floor Type: Interior Bathroom Flooring Total thickness: 0.1000 (Default) Resistance (R): 0.0773 (m²·K)/W Thermal Mass: 16.27 kJ/K</p> <p style="text-align: center; font-size: 2em; color: red;">2</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Layers</th> <th>Function</th> <th>Material</th> <th>Thickness</th> <th>Wraps</th> <th>Structural Material</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Finish 1 [4]</td> <td>Marble</td> <td>0.0300</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Core Boundary</td> <td>Layers Above Wrap</td> <td>0.0000</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Structure [1]</td> <td>Concrete, Sand/Cement</td> <td>0.0700</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Core Boundary</td> <td>Layers Below Wrap</td> <td>0.0000</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Layers	Function	Material	Thickness	Wraps	Structural Material	1	Finish 1 [4]	Marble	0.0300	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2	Core Boundary	Layers Above Wrap	0.0000			3	Structure [1]	Concrete, Sand/Cement	0.0700	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	4	Core Boundary	Layers Below Wrap	0.0000		
Layers	Function	Material	Thickness																																																
1	Finish 1 [4]	Ceramic Tile	0.0300																																																
2	Core Boundary	Layers Above Wrap	0.0000																																																
3	Structure [1]	Concrete, Sand/Cement	0.0700																																																
4	Core Boundary	Layers Below Wrap	0.0000																																																
Layers	Function	Material	Thickness	Wraps	Structural Material																																														
1	Finish 1 [4]	Marble	0.0300	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																														
2	Core Boundary	Layers Above Wrap	0.0000																																																
3	Structure [1]	Concrete, Sand/Cement	0.0700	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																																														
4	Core Boundary	Layers Below Wrap	0.0000																																																
<p>Family: Floor Type: Interior Wood Flooring Total thickness: 0.1000 (Default) Resistance (R): 0.2336 (m²·K)/W Thermal Mass: 14.01 kJ/K</p> <p style="text-align: center; font-size: 2em; color: red;">3</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Layers</th> <th>Function</th> <th>Material</th> <th>Thickness</th> <th>Wraps</th> <th>Structural Material</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Finish 1 [4]</td> <td>Wood Flooring</td> <td>0.0300</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Core Boundary</td> <td>Layers Above Wrap</td> <td>0.0000</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Structure [1]</td> <td>Concrete, Sand/Cement</td> <td>0.0700</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Core Boundary</td> <td>Layers Below Wrap</td> <td>0.0000</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Layers	Function	Material	Thickness	Wraps	Structural Material	1	Finish 1 [4]	Wood Flooring	0.0300	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2	Core Boundary	Layers Above Wrap	0.0000			3	Structure [1]	Concrete, Sand/Cement	0.0700	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	4	Core Boundary	Layers Below Wrap	0.0000																						
Layers	Function	Material	Thickness	Wraps	Structural Material																																														
1	Finish 1 [4]	Wood Flooring	0.0300	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																														
2	Core Boundary	Layers Above Wrap	0.0000																																																
3	Structure [1]	Concrete, Sand/Cement	0.0700	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																																														
4	Core Boundary	Layers Below Wrap	0.0000																																																

Εικόνα 3.14: Οι διαφορετικοί τύποι δαπέδων του κτιρίου

Κατά τη διάρκεια κατασκευής του έργου, τα παραπάνω δεδομένα είναι δυνατό να διαφοροποιηθούν ανάλογα με την επιλογή κάθε πελάτη, δηλαδή τον τύπο μαρμάρου ή ξύλου που επιθυμεί να τοποθετηθεί στον εκάστοτε χώρο. Αυτή είναι άλλωστε η δυναμική ενός ολοκληρωμένου BIM μοντέλου, δηλαδή η συνεχής παρεμβολή σε αυτό ανάλογα με το στάδιο και τις ανάγκες της κατασκευής.

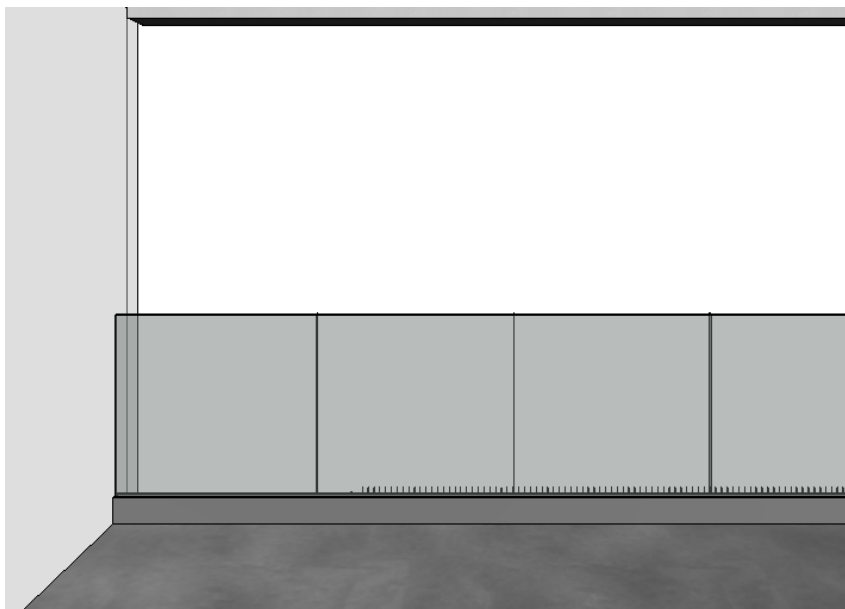
Τέλος, παρουσιάζεται μία ακόμη από τις δυνατότητες του Revit, η οποία είναι η περιήγηση εντός του κτιρίου, λειτουργία ιδιαίτερα χρήσιμη προς τον πελάτη, καθώς έχει τη δυνατότητα ρεαλιστικής αναπαράστασης του αισθητικού αποτελέσματος των υλικών που έχουν αποδοθεί. Επομένως, μπορεί να προβεί σε αλλαγές σε πρώιμο στάδιο, γεγονός που εξοικονομεί χρόνο και χρήμα από την μετέπειτα εξέλιξη της κατασκευής.



Εικόνα 3.15: Η ψηφιακή αναπαράσταση του εσωτερικού του κτιρίου

3.3.8 Αρχιτεκτονικά στοιχεία και κιγκλιδώματα

Ένα ακόμα από τα βασικά στοιχεία που έχουν ενταχθεί στο μοντέλο είναι τα γυάλινα κιγκλιδώματα των εξωστών, τα οποία είναι αρκετά σε αριθμό λόγω της αρχιτεκτονικής του κτιρίου. Και σε αυτήν την περίπτωση, το Revit προσφέρει τη δυνατότητα αναλυτικής σχεδίασης των κιγκλιδωμάτων και απόδοσης των επιθυμητών υλικών, όπου για το εν λόγω κτίριο χρησιμοποιήθηκε γυαλί. Ακόμα, μέσω της μοντελοποίησης τέτοιων στοιχείων, αποφεύγονται διαδικασίες επιμέτρησης, οι οποίες μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρονοβόρες. Αντίθετα, τα τρέχοντα μέτρα του κιγκλιδώματος, καθώς και η ποσότητα γυαλιού που χρειάζεται πηγάζουν άμεσα από τις ιδιότητες του BIM μοντέλου. Παρακάτω, φαίνεται το γυάλινο κιγκλίδωμα που δημιουργήθηκε και τοποθετήθηκε στους εξώστες της πολυκατοικίας.



Εικόνα 3.16: Τα κιγκλιδώματα των εξωστών

Αφού ολοκληρώθηκε ο σχεδιασμός των βασικών και λειτουργικών τμημάτων της κατασκευής ακολούθησε η διαμόρφωση ορισμένων αρχιτεκτονικών στοιχείων. Πιο συγκεκριμένα, για την καλύτερη αισθητική του κτιρίου, ορισμένα πλάγια τμήματα εξωστών κλείστηκαν με γυψοσανίδα προσφέροντας μία διαφορετική αρχιτεκτονική άποψη. Επίσης, κατά μήκος των πλευρών του κτιρίου και κατά προέκταση των εξωστών ενσωματώθηκαν κάποιες κατασκευές, οι οποίες εκτός από την οπτική βελτίωση του κτιρίου, λειτουργούν ως βάσεις τοποθέτησης μίας ξύλινης επένδυσης που αναβαθμίζει σημαντικά το αισθητικό αποτέλεσμα. Όπως είναι λογικό, μετά το

πέρας των επιμέρους εργασιών, αποδόθηκε το κατάλληλο χρώμα στους τοίχους, ώστε να συμπίπτουν με την αρχική αρχιτεκτονική προσέγγιση του έργου.



Εικόνα 3.17: Η προσθήκη των αρχιτεκτονικών στοιχείων

3.3.9 Διαμόρφωση περιβάλλοντα χώρου

Το τελευταίο στάδιο δημιουργίας του μοντέλου BIM είναι η διαμόρφωση του περιβάλλοντα χώρου της κατασκευής. Αρχικά, διαμορφώθηκε ο ακάλυπτος χώρος του οικοπέδου που περιέχει το κτίριο ενδιαφέροντος, σύμφωνα πάντα με τις αρχιτεκτονικές προδιαγραφές του κτιρίου. Στο πλαίσιο αυτό, πραγματοποιήθηκε ακριβής αποτύπωση του διαδρόμου εισόδου της πολυκατοικίας, ενώ παράλληλα διαμορφώθηκε και η περίφραξη του κτιρίου. Συγχρόνως, ενσωματώθηκαν στο μοντέλο οι πισίνες του ακαλύπτου, μία στο μπροστινό και μία στο πίσω τμήμα αυτού, ενώ ακόμα διαμορφώθηκαν οι φυτεμένες επιφάνειες αυτού με την ταυτόχρονη τοποθέτηση ορισμένων δένδρων. Αποσπάσματα του περιβάλλοντα χώρου φαίνονται στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 3.18: Η διαμόρφωση του περιβάλλοντα χώρου στο πίσω τμήμα του οικοπέδου



Εικόνα 3.19: Η διαμόρφωση του περιβάλλοντα χώρου επί της οδού Βασιλέως Παύλου

Στο σημείο αυτό, στόχος ήταν μία πιο ολοκληρωμένη αποτύπωση του περιβάλλοντα χώρου, δηλαδή μία αποτύπωση της γύρω περιοχής, συμπεριλαμβανομένων των γειτονικών κτιρίων. Για τον σκοπό αυτό, έχουν ήδη αντληθεί τα περιγράμματα των γειτονικών κτιρίων (βλ. εικόνα 3.2) από το τοπογραφικό διάγραμμα και με τη χρήση των Google Maps και StreetView πραγματοποιήθηκε μία απλή απόδοση του κελύφους τους. Εφόσον τα περιγράμματα προέρχονται από το τοπογραφικό διάγραμμα, η σχετική θέση και ο προσανατολισμός τους συγκριτικά με το κεντρικό μας κτίριο είναι απολύτως ορθά. Ακόμα, από το τοπογραφικό διάγραμμα αντλήθηκαν δεδομένα όπως το πλάτος του δρόμου και του πεζοδρομίου και εισήχθησαν και αυτά στο μοντέλο για μία πιο ολοκληρωμένη απόδοση της περιοχής.

Η συγκεκριμένη μεθοδολογία βασίζεται στην υπό εκπόνηση διδακτορική διατριβή της Κ. Δήμητρας Ανδρίτσου και κυρίως στις τεχνικές που παρουσιάστηκαν από την ίδια στο μάθημα “Διαχείριση Κτιριακής Πληροφορίας και Αξίες Αστικών Ακινήτων”.



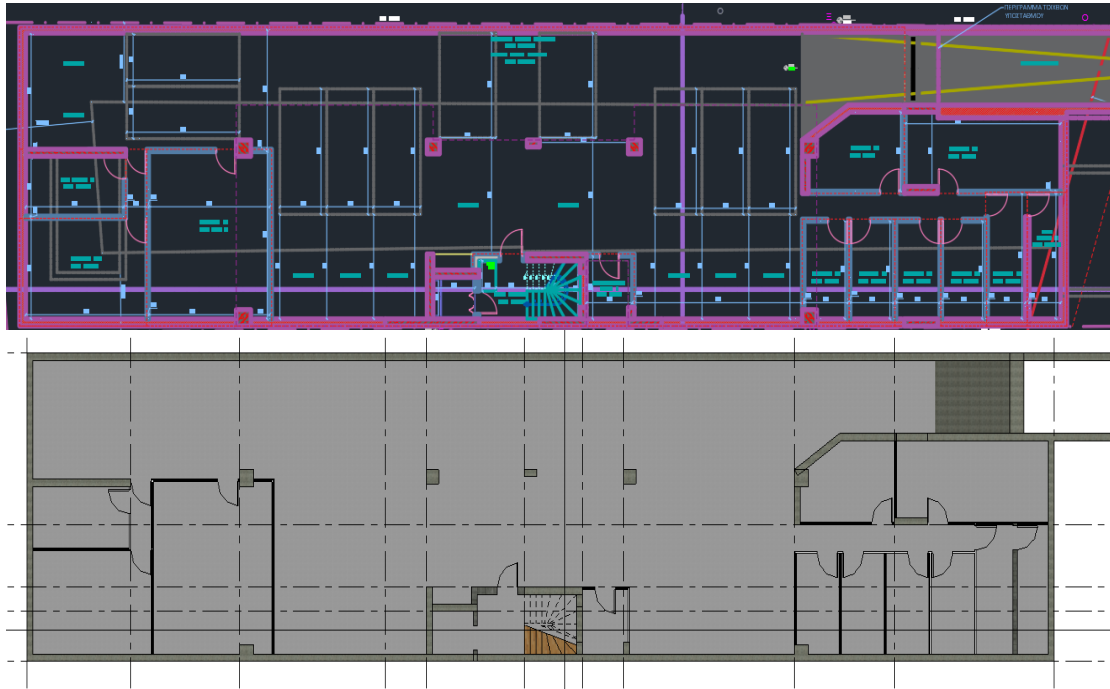
Εικόνα 3.20: Η τρισδιάστατη αναπαράσταση της περιοχής

3.4 Παρουσίαση μοντέλου

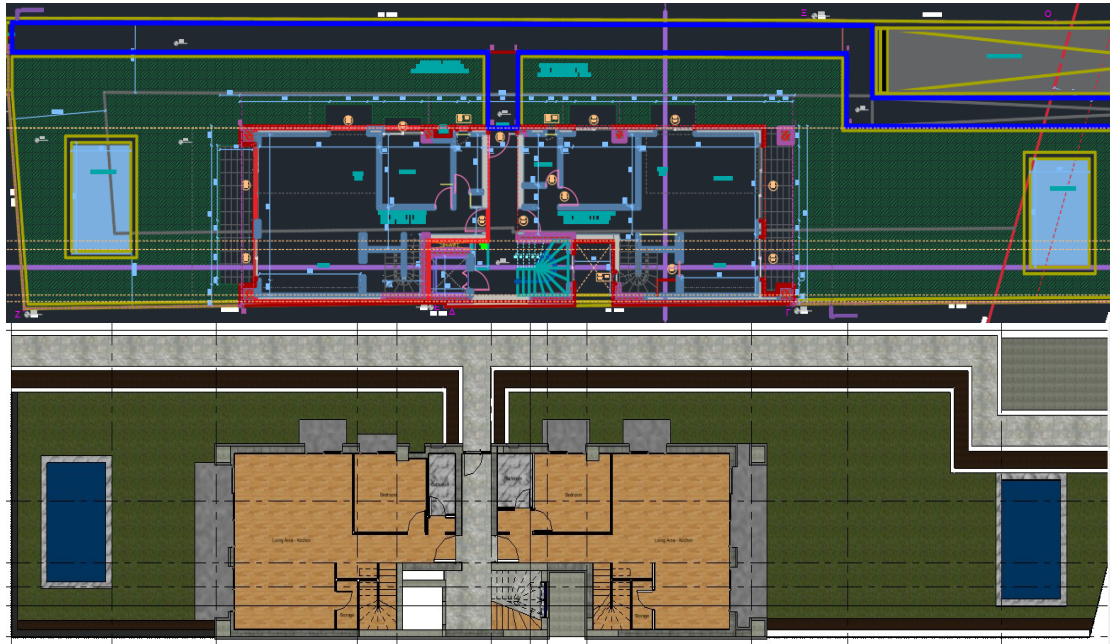
Τα παραπάνω βήματα ολοκληρώνουν την διαδικασία δημιουργίας ενός 3D μοντέλου που ακολουθεί τα πρότυπα της BIM μεθοδολογίας, καθώς ο σχεδιασμός αποτελείται από πραγματικές οντότητες του κτιρίου με τεχνικά χαρακτηριστικά. Ταυτόχρονα, κάθε στοιχείο που έχει μοντελοποιηθεί είναι εύκολα προσαρμόσιμο σε πιθανές αλλαγές του γενικότερου σχεδιασμού. Η παροχή σημαντικών πληροφοριών, όσον αφορά τα δομικά υλικά της κατασκευής, προσφέρει πολλαπλά οφέλη στη χρονική και οικονομική διαχείριση του έργου. Άλλωστε, αυτός είναι ένας από τους σκοπούς της BIM διαδικασίας, δηλαδή ο 4D (χρονικός προγραμματισμός) και 5D (οικονομικός προϋπολογισμός) σχεδιασμός του έργου, γεγονός που πραγματοποιείται αργότερα με τη χρήση του Bexel Manager. Συγχρόνως, μία ακόμα αρχή της BIM μεθοδολογίας που προωθείται μέσα από τα παραπάνω είναι η ενίσχυση της επικοινωνίας μεταξύ των ενδιαφερόμενων του έργου, μέσα από την συνεργασία τους σε ένα κοινό μοντέλο.

Παρατηρώντας τις παρακάτω εικόνες, διαπιστώνουμε ότι σε κάθε χώρο έχει αποδοθεί μία ονομασία με βάση τη χρήση του. Το γεγονός αυτό, σε αντίθεση με τα προγράμματα cad όπου πρόκειται για ένα απλό κείμενο, έχει δυναμικό χαρακτήρα, καθώς οριοθετεί τα ακριβή όρια των δωματίων του κτιρίου. Με τον τρόπο αυτό, υπάρχει άμεση πρόσβαση στα τετραγωνικά κάθε χώρου, πράγμα ιδιαίτερα χρήσιμο για τους υπολογισμούς και τις επιμετρήσεις των υλικών, που πλέον γίνονται αυτόματα. Επίσης, λόγω του δυναμικού χαρακτήρα αυτής της λειτουργίας, μία ενδεχόμενη μετακίνηση κάποιου εσωτερικού χωρίσματος, αλλάζει αυτόματα την οριοθέτηση του χώρου.

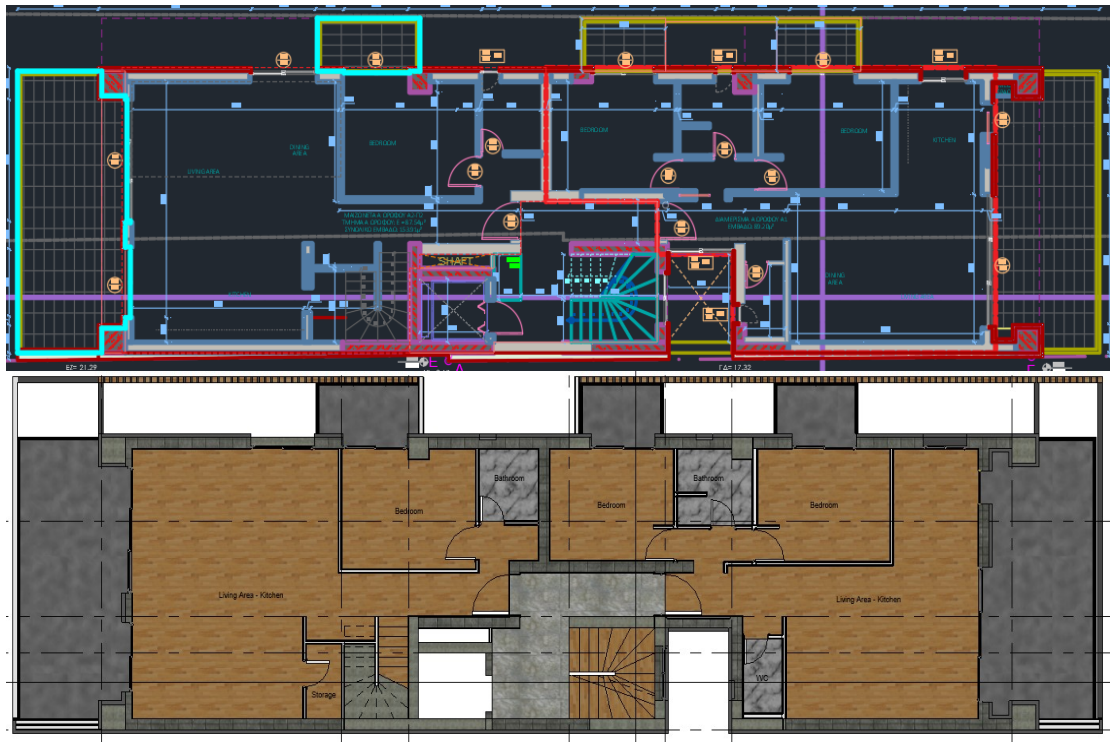
Παρακάτω, επισυνάπτονται αποσπασματικά ορισμένες κατόψεις του κτιρίου από την πρωτότυπη μελέτη σε cad, συγκριτικά με το μοντέλο της συγκεκριμένης εργασίας.



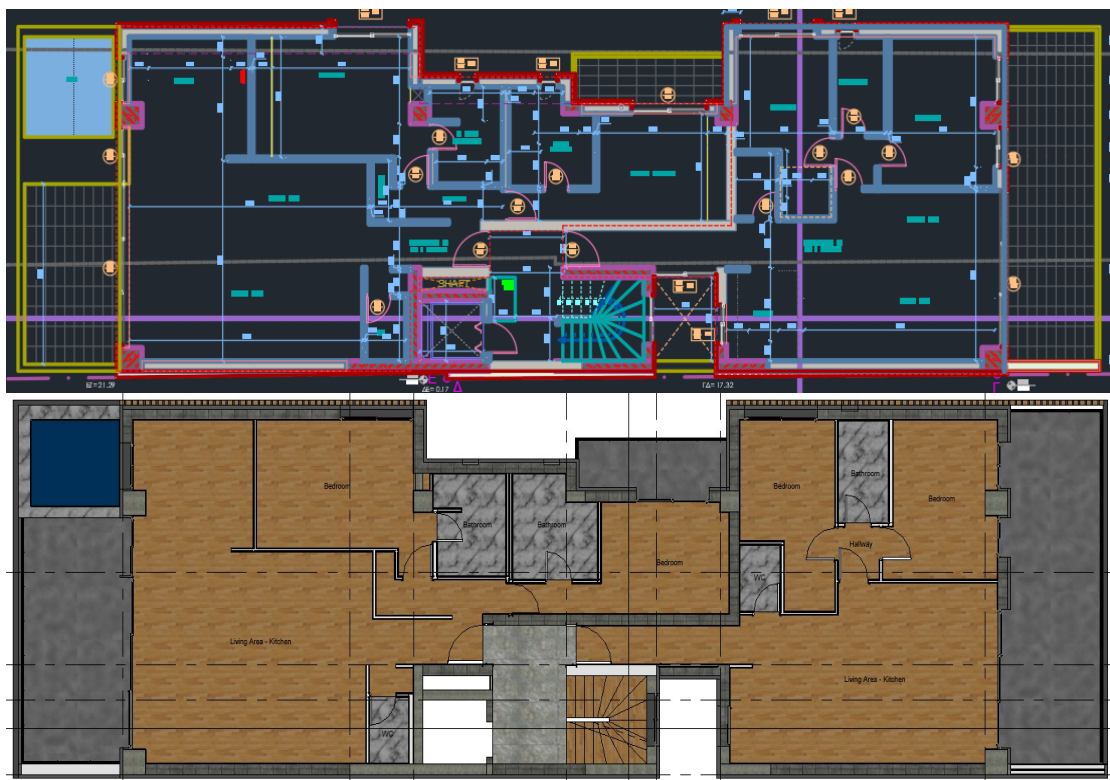
Εικόνα 3.21: Κάτοψη Υπογείου



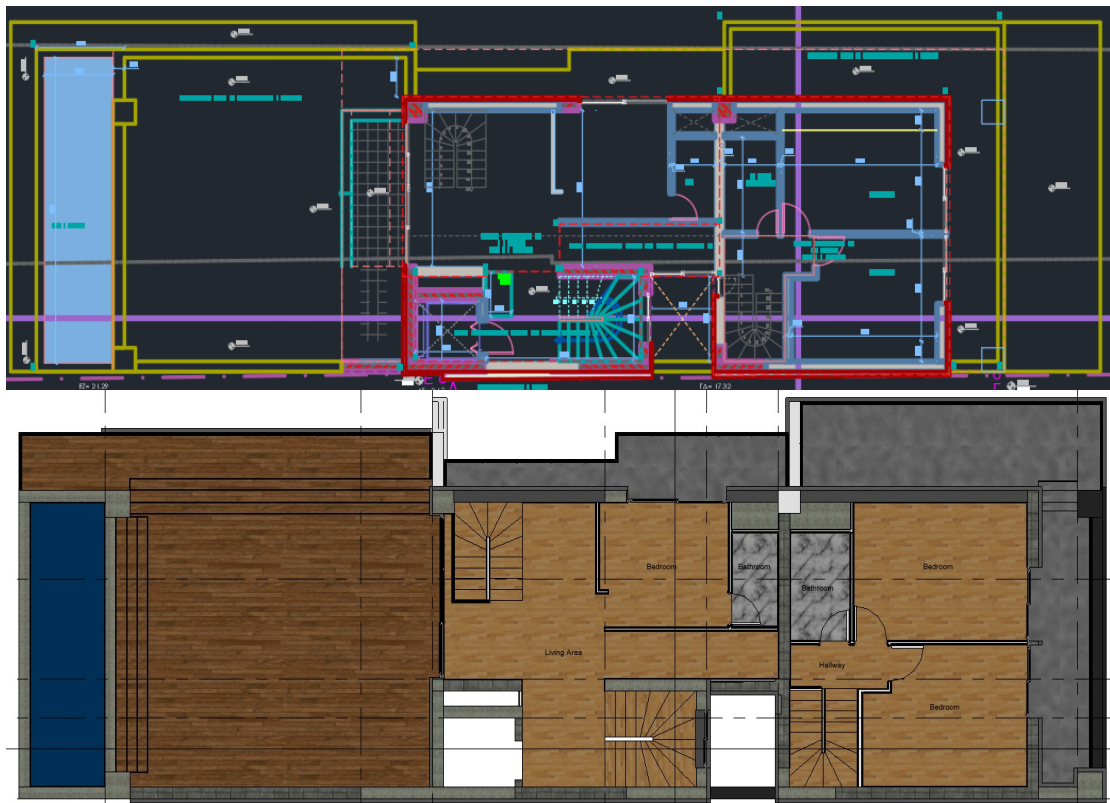
Εικόνα 3.22: Κάτοψη Ισογείου



Εικόνα 3.23: Κάτοψη Α' Ορόφου

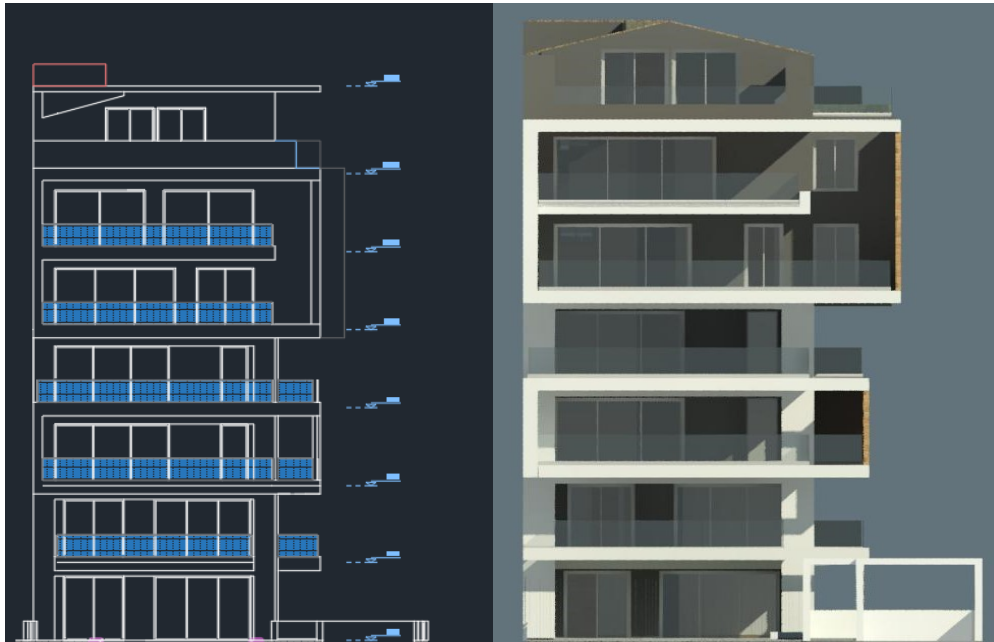


Εικόνα 3.24: Κάτοψη Γ' Ορόφου



Εικόνα 3.25: Κάτοψη Σοφίτας

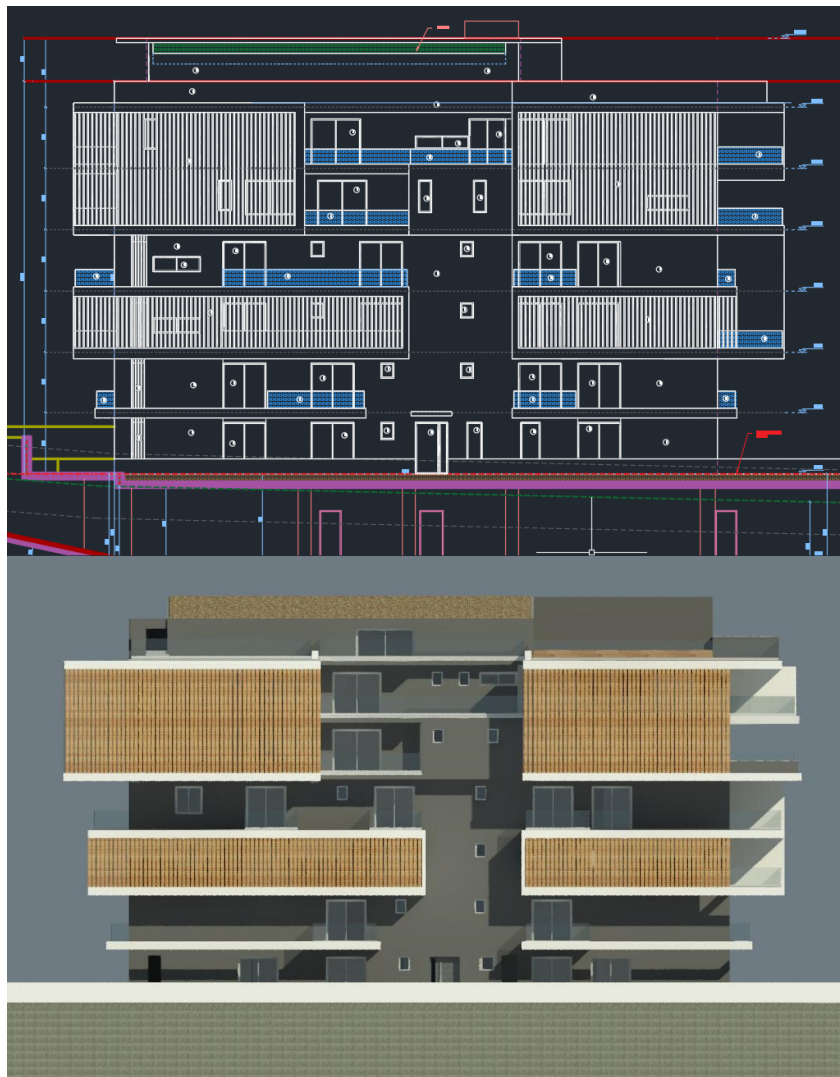
Ένα ακόμα τεράστιο πλεονέκτημα που παρουσιάζει το σχεδιαστικό περιβάλλον του Revit, συγκριτικά με τα παραδοσιακά προγράμματα cad, είναι η αυτόματη παραγωγή όψεων και τομών, γεγονός που εξοικονομεί τεράστιο χρόνο στο στάδιο του σχεδιασμού.



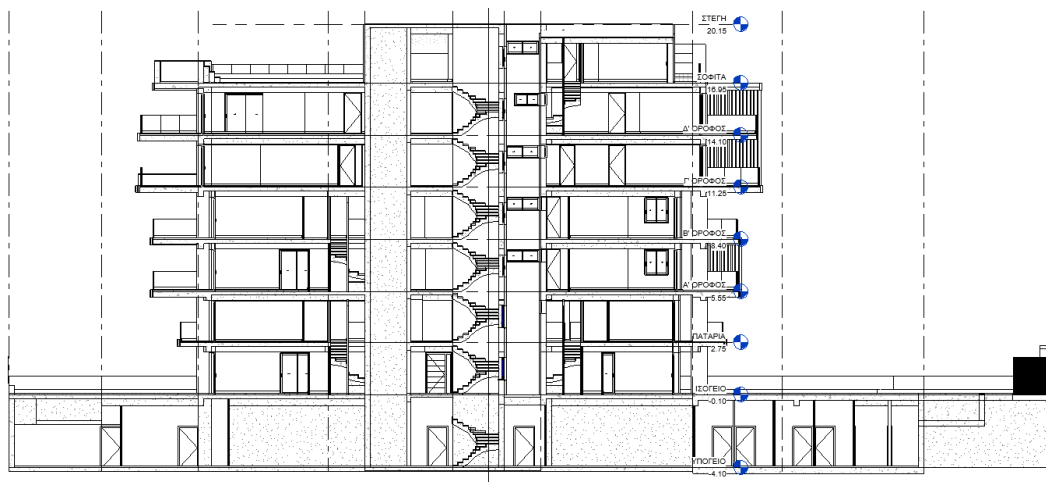
Εικόνα 3.26: Πρόσοψη του κτιρίου



Εικόνα 3.27: Νότια όψη



Εικόνα 3.28: Δυτική όψη



Εικόνα 3.29: Ενδεικτική τομή του κτιρίου από το Revit

Οι τομές που δημιουργεί το πρόγραμμα προέρχονται από επιλογή του χρήστη. Επομένως, αν κατά τη διάρκεια εκπόνησης του έργου χρειάζεται κάποια διευκρίνιση σχετικά με το εσωτερικό των χώρων και τα υψόμετρα, ο χρήστης μπορεί εύκολα να αντλήσει την πληροφορία που τον ενδιαφέρει. Αυτό συνιστά ένα εργαλείο ιδιαίτερα χρήσιμο στο στάδιο της κατασκευής, καθώς προσφέρει τη δυνατότητα απεικόνισης όλων των χώρων και βοηθά στη λήψη σημαντικών αποφάσεων.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το τελικό μοντέλο ανταποκρίνεται σε BIM προδιαγραφές που πλέον χαρακτηρίζουν τη σύγχρονη κατασκευαστική βιομηχανία. Ωστόσο, μέσω του Revit, παρέχεται και η δυνατότητα πλήρους και ρεαλιστικής αναπαράστασης του κτιρίου. Για την πλήρη απεικόνιση και του περιβάλλοντα χώρου, ενσωματώθηκαν στο μοντέλο και τα γειτονικά κτίρια, όπως αυτά έχουν προκύψει από προηγούμενο στάδιο.

Μέσα από τις παρακάτω εικόνες επιτυγχάνεται η σαφής και ολοκληρωμένη αναπαράσταση του έργου, η οποία μέσω της χρήσης BIM τεχνολογίας

Διερεύνηση δυνατοτήτων της τεχνολογίας BIM για τη διαχρονική παρακολούθηση και οικονομική διαχείριση της κατασκευής ενός κτιρίου. Εμμανουήλ Χασάπης



Διερεύνηση δυνατοτήτων της τεχνολογίας BIM για τη διαχρονική παρακολούθηση και οικονομική διαχείριση της κατασκευής ενός κτιρίου. Εμμανουήλ Χασάπης



Εικόνα 3.30: Η τρισδιάστατη αναπαράσταση του έργου

Κεφάλαιο 4 – Η επεξεργασία στο Bexel Manager

4.1 Ο ρόλος του Bexel Manager

4.1.1 Εισαγωγή

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, στη συνεχώς εξελισσόμενη κατασκευαστική βιομηχανία, η υιοθέτηση της τεχνολογίας BIM έχει αλλάξει τον τρόπο προσέγγισης των κατασκευών. Η τεχνολογία BIM πραγματεύεται την ψηφιακή αναπαράσταση φυσικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών, αλλά και την ολοκληρωμένη διαχείριση αυτών μέσα από πληροφορίες που συνοδεύουν το μοντέλο. Στο πλαίσιο αυτό, το Bexel Manager είναι ένα πρόγραμμα το οποίο προσφέρει πολλαπλά εργαλεία και λειτουργίες που στοχεύουν στη διαχείριση και την εξέλιξη ενός BIM μοντέλου. Αυτός είναι και ο σκοπός της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, δηλαδή η χρήση του Bexel Manager πάνω στο τρισδιάστατο μοντέλο που δημιουργήθηκε προηγουμένως, προσθέτοντας την παράμετρο του χρόνου (4D σχεδιασμός) και την παράμετρο του κόστους (5D σχεδιασμός).

4.1.2 Τι είναι το Bexel Manager

Το Bexel Manager πρόκειται για ένα λογισμικό διαχείρισης BIM μοντέλων που επιτρέπει την ολοκληρωμένη προσέγγιση μίας κατασκευής. Με την ολοκληρωμένη προσέγγιση εννοείται η προσθήκη περαιτέρω διαστάσεων σχεδιασμού, πέραν του 3D, όπως είναι ο 4D (χρονικός), 5D (οικονομικός) και 6D (φάση λειτουργίας) σχεδιασμός του έργου. Το πρόγραμμα παρέχει μία πληθώρα εργαλείων που ευνοούν την οργάνωση και την κατηγοριοποίηση των δεδομένων, διευκολύνοντας έτσι την ολοκληρωμένη διαχείριση του έργου (project management).

Η χρήση τέτοιων λογισμικών είναι απαραίτητη για την BIM διαδικασία, καθώς τα σχεδιαστικά προγράμματα, όπως είναι το Revit που χρησιμοποιήθηκε στην συγκεκριμένη περίπτωση, έχουν περιορισμένες δυνατότητες όσον αφορά τη διαχείριση δεδομένων. Αντίστοιχα, το Bexel Manager δεν ανταποκρίνεται στις σχεδιαστικές απαιτήσεις ενός μοντέλου και για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε ο συνδυασμός των δύο λογισμικών.

4.1.3 Ο ρόλος του Bexel Manager στην τεχνολογία BIM

Η σημασία του Bexel Manager στο πλαίσιο της τεχνολογίας BIM είναι καθοριστική. Στα σημερινά πολύπλοκα κατασκευαστικά έργα, η αποτελεσματική διαχείριση έργων είναι απαραίτητη προϋπόθεση της επιτυχίας. Το Bexel Manager διαδραματίζει κεντρικό ρόλο στο κομμάτι αυτό, προσφέροντας μία σειρά εργαλείων προσαρμοσμένων για να ανταποκρίνονται στις μοναδικές προκλήσεις του κατασκευαστικού κλάδου.

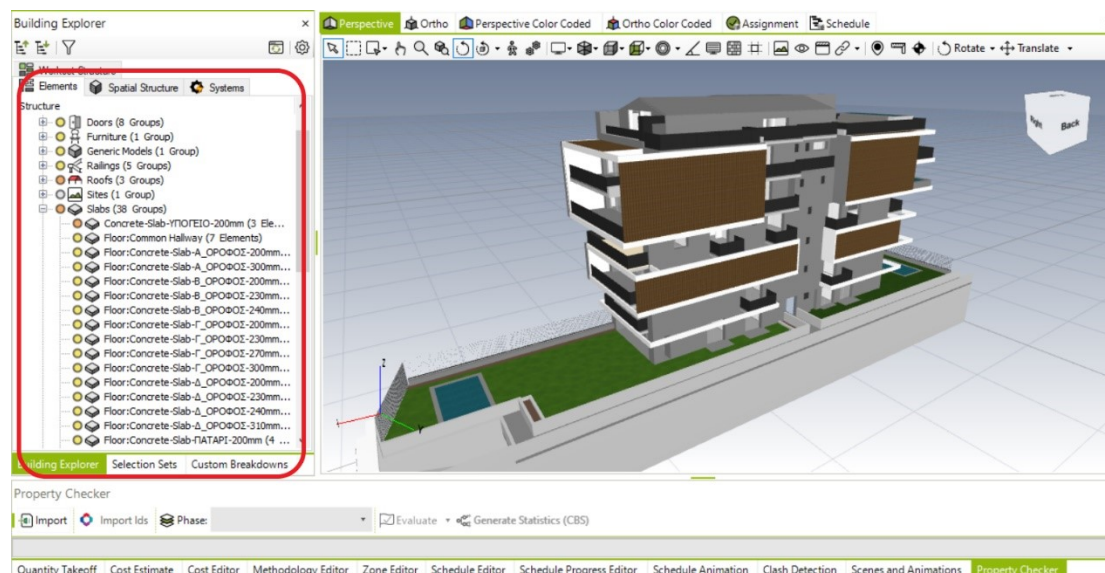
Καθώς η υιοθέτηση του BIM συνεχίζει να αποκτά δυναμική, οι κατασκευαστικές εταιρείες βασίζονται ολοένα και περισσότερο σε τέτοιες πλατφόρμες, ώστε να προωθήσουν την αποτελεσματικότητα αυτής της καινοτομίας. Το Bexel Manager συνιστά μία ολοκληρωμένη λύση που ενσωματώνει άψογα τις υπάρχουσες ροές εργασίας BIM, επιτρέποντας στο χρήστη να αξιοποιήσει πλήρως τις δυνατότητες της τεχνολογίας BIM. Η συμβατότητά του με τυποποιημένες μορφές αρχείων, όπως IFC (Industry Foundation Classes), διασφαλίζει τη διαλειτουργικότητα με άλλα εργαλεία λογισμικού BIM, ενισχύοντας τη συνεργασία και την ανταλλαγή δεδομένων σε όλο τον κύκλο ζωής του έργου.

Επιπλέον, οι προηγμένες δυνατότητες ανάλυσης του Bexel Manager, συμπεριλαμβανομένης της ανίχνευσης ασυμβατότητας μεταξύ στοιχείων, του υπολογισμού ποσοτήτων, του χρονικού προγραμματισμού και της εκτίμησης κόστους, δίνουν τη δυνατότητα στο χρήστη να εξάγει πολύτιμες πληροφορίες από το μοντέλο BIM. Αυτές οι γνώσεις επιτρέπουν τη λήψη αποφάσεων, την εκτίμηση ρίσκου και την γενικότερη βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων της κατασκευαστικής διαδικασίας.

4.2 Η εισαγωγή του μοντέλου στο Bexel Manager

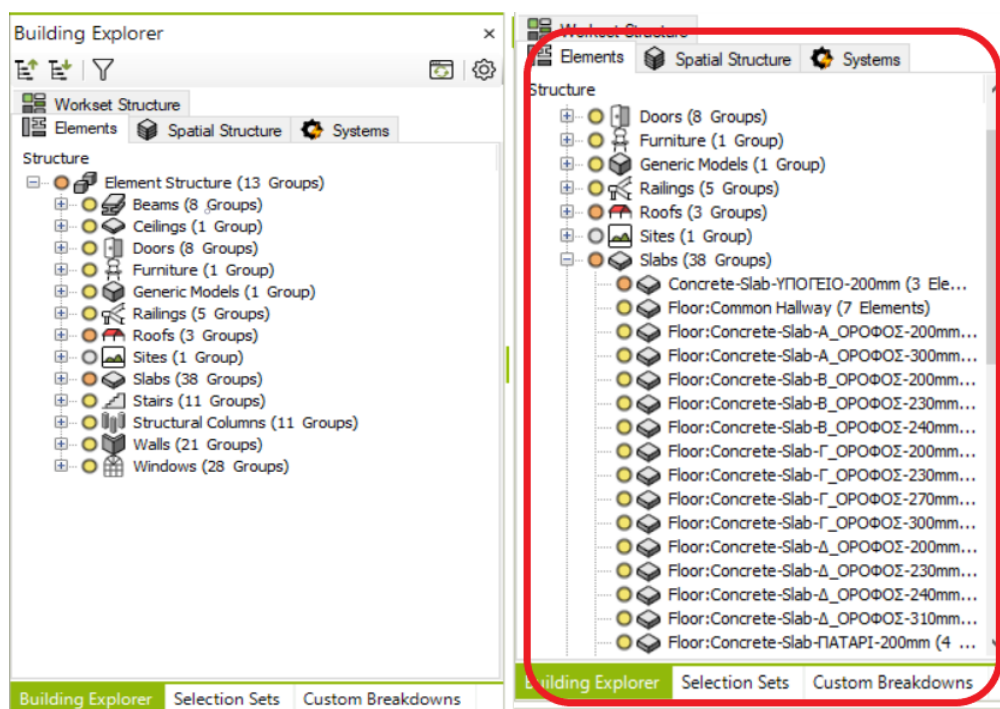
Αρχικά, απαραίτητη διαδικασία για την περαιτέρω BIM ανάλυση του μοντέλου εντός του Bexel Manager είναι η εξαγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου από το Revit. Ύστερα από την ολοκλήρωση του σχεδιασμού στο Revit, σειρά είχε η εξαγωγή του σε τύπο αρχείου IFC (Industry Foundation Classes). Ο συγκεκριμένος τύπος αρχείου ακολουθεί διεθνή πρότυπα σχετικά με την εισαγωγή και την εξαγωγή κτιριακών στοιχείων και των δεδομένων τους, ενώ ταυτόχρονα εκπροσωπεί την έννοια της διαλειτουργικότητας, καθώς υποστηρίζεται από διαφορετικά λογισμικά. Ο τύπος IFC βελτιώνει την επικοινωνία, την ποιότητα και την παραγωγικότητα σε όλο τον κύκλο ζωής του έργου. Ακόμα, μέσω των καθιερωμένων προτύπων που ακολουθούνται, μειώνει σημαντικά την απώλεια πληροφοριών κατά τη μεταφορά από μία εφαρμογή σε μία άλλη.

Έπειτα, σειρά είχε η εισαγωγή του αρχείου IFC του μοντέλου στο Bexel Manager με το αποτέλεσμα να φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Όπως είναι λογικό, το μοντέλο οπτικά είναι όμοιο με αυτό που βλέπαμε προηγουμένως στο Revit. Ωστόσο, για να επιτευχθεί αυτό, αποδόθηκαν εντός του προγράμματος ορισμένα υλικά και υφές (textures).



Εικόνα 4.1: Η εισαγωγή του μοντέλου στο Bexel Manager

Στο αριστερό τμήμα της εικόνας εμφανίζονται τα δεδομένα του μοντέλου, τα οποία αναλύονται παρακάτω, επισυνάπτοντας την εικόνα σε μεγέθυνση.



Εικόνα 4.2: Η διατήρηση των δεδομένων του μοντέλου

Από την παραπάνω εικόνα εξάγεται το συμπέρασμα ότι, κατά την εισαγωγή του μοντέλου, το πρόγραμμα κατηγοριοποιεί αυτόματα τα δεδομένα σύμφωνα με την κατηγορία στην οποία ανήκουν. Στο γεγονός αυτό, συμβάλλει η διαλειτουργικότητα μεταξύ των δύο προγραμμάτων, κάνοντας την ανάλυση BIM πιο εύκολη και άμεση. Κάθε κατηγορία χωρίζεται στα επιμέρους δομικά στοιχεία που χαρακτηρίζουν το μοντέλο και δημιουργήθηκαν προηγουμένως. Για παράδειγμα, στη δεξιά εικόνα, η κατηγορία των πλακών εμπεριέχει αναλυτικά κάθε πλάκα του μοντέλου, αναγράφοντας τον όροφο που αφορά και το πάχος της, όπως ακριβώς μοντελοποιήθηκαν στο Revit. Το ίδιο ισχύει και για τα υπόλοιπα στοιχεία του κτιρίου, δηλαδή έχουν εισαχθεί στο πρόγραμμα μεταφέροντας αναλλοίωτη την πληροφορία τους.

Όπως γίνεται αντιληπτό, η ιδιότητα αυτή του Bexel Manager επιτρέπει τη συντονισμένη διαχείριση πληροφοριών, ενώ παράλληλα αποτελεί την αφετηρία για μία ολοκληρωμένη BIM ανάλυση της κατασκευής.

4.3 Ο σχεδιασμός BIM σε 4D

4.3.1 Εισαγωγή

Ένας από τους βασικούς σκοπούς της επεξεργασίας του BIM μοντέλου στο Bexel Manager είναι η προσθήκη της τέταρτης διάστασης σχεδιασμού. Η διάσταση αυτή είναι ο χρόνος, δηλαδή η πλήρης συσχέτιση του μοντέλου με τον χρονικό ορίζοντα της κατασκευής. Μέσα από αυτή τη διαδικασία, πραγματοποιείται ο χρονικός προγραμματισμός των επιμέρους εργασιών, προσφέροντας μία πιο ολοκληρωμένη προσέγγιση του έργου. Το γεγονός αυτό συνιστά ένα από τα πρωταρχικά στοιχεία που πραγματεύεται η τεχνολογία BIM, διευκολύνοντας σημαντικά το στάδιο του σχεδιασμού και της κατασκευής. Η προσθήκη της μεταβλητής του χρόνου στο μοντέλο μπορεί να προσφέρει πολλαπλά οφέλη στη λήψη αποφάσεων, μειώνει την πιθανότητα καθυστέρησης παράδοσης του έργου, ενώ ταυτόχρονα προσφέρει μία ευρύτερη και σαφή απεικόνιση της αλληλουχίας και της διάρκειας των επιμέρους εργασιών. Στο σύγχρονο κατασκευαστικό τομέα, ο χρονικός προγραμματισμός είναι μία διαδικασία που θεωρείται απαραίτητη για την ομαλή διεξαγωγή ενός έργου.

Στα επόμενα κεφάλαια παρουσιάζεται αναλυτικά ο τρόπος προσέγγισης της κατασκευής, καθώς και η προσθήκη της διάστασης του χρόνου, μετατρέποντας σε 4D το τρισδιάστατο μοντέλο που δημιουργήθηκε στο Revit.

4.3.2 Οι φάσεις της κατασκευής

Αρχικά, για την καλύτερη οργάνωση των δεδομένων και μετέπειτα των εργασιών, η κατασκευή χωρίστηκε σε τρεις φάσεις. Η πρώτη φάση της κατασκευής πρόκειται για το δομικό σκελετό της και περιλαμβάνει όλα τα στοιχεία που αποτελούνται από σκυρόδεμα. Η δεύτερη φάση πρόκειται για τα βασικά χαρακτηριστικά του κτιρίου, περιλαμβάνει δηλαδή στοιχεία, δομικά και λειτουργικά, όπως οι τοιχοποιίες, τα δάπεδα, τα κουφώματα κ.α. Τέλος, η τρίτη και τελευταία φάση της κατασκευής συνιστά την τελική διαμόρφωση του κτιρίου, περιλαμβάνοντας κυρίως αρχιτεκτονικά στοιχεία και τελειώματα.

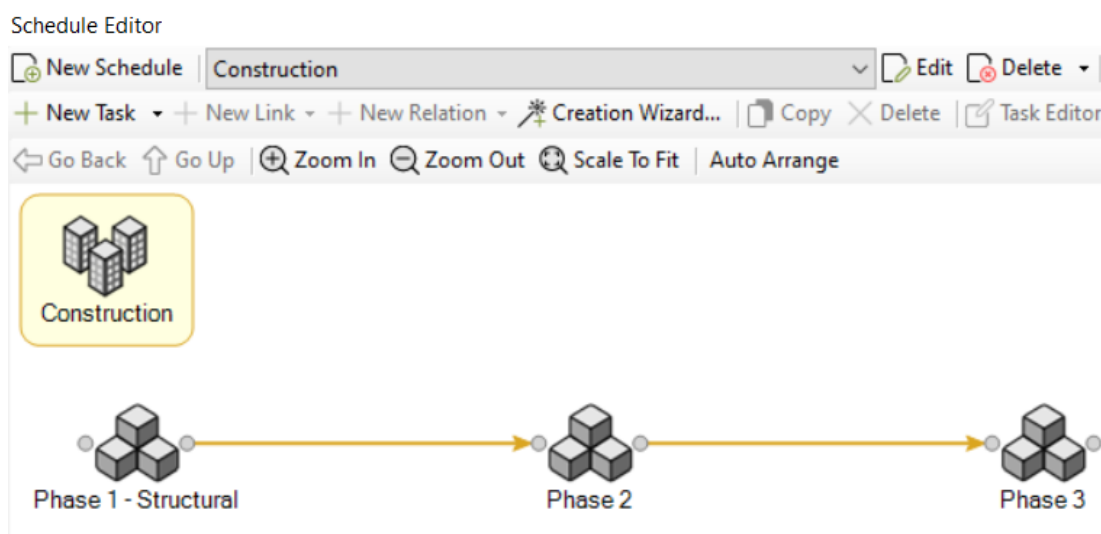
Η επιλογή των στοιχείων που αντιστοιχούν σε κάθε φάση κατασκευής πραγματοποιήθηκε εντός του Bexel Manager, ομαδοποιώντας τα δεδομένα ανάλογα

με τις ανάγκες του σχεδιασμού. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται αναλυτικά τα στοιχεία που περιέχει κάθε φάση κατασκευής, όπως αυτά επιλέχθηκαν εντός του προγράμματος.

Πίνακας 4-1: Οι φάσεις κατασκευής

Phase 1	Phase 2	Phase 3
Slabs	Exterior Walls	Railings
Beams	Interior Walls	Architectural Elements
Columns	Ceilings	Wood Panels
Stairs	Windows	Planted Roof
Concrete Walls	Exterior Insulation	Fencing
Concrete Roofs	Floors	Surrounding Area
	Doors	Pools

Η παραπάνω ομαδοποίηση αποτελεί πρωταρχικό στάδιο για την ευκολότερη διαχείριση των δεδομένων ως προς τον χρονικό προγραμματισμό της κατασκευής. Κάθε φάση της κατασκευής επεξεργάστηκε ξεχωριστά για τη δημιουργία του τελικού χρονικού προγραμματισμού, όπως θα δούμε στη συνέχεια. Στο συγκεκριμένο στάδιο πραγματοποιήθηκε η συσχέτιση των φάσεων μεταξύ τους, με τη μία να ξεκινά ύστερα από τη λήξη της προηγούμενης, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχεδιάγραμμα.

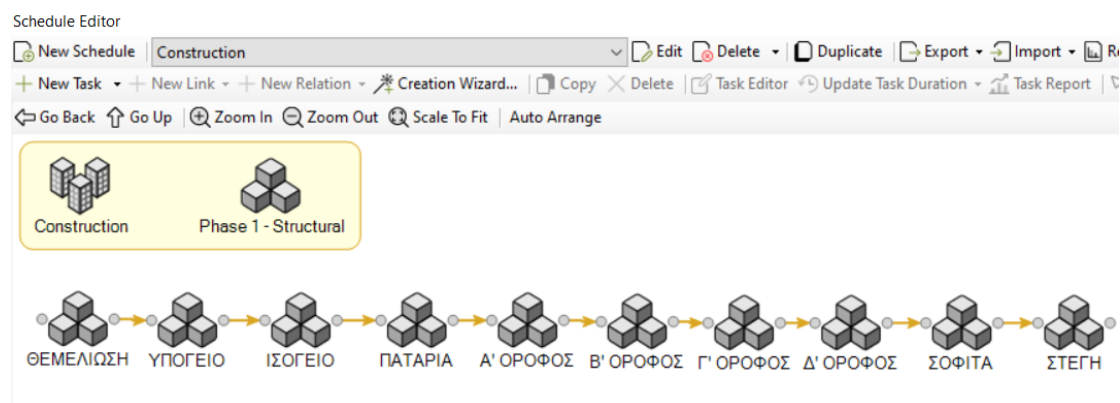


Εικόνα 4.3: Η λογική σύνδεση μεταξύ των φάσεων κατασκευής

4.3.3 Ο χρονικός προγραμματισμός (4D Σχεδιασμός)

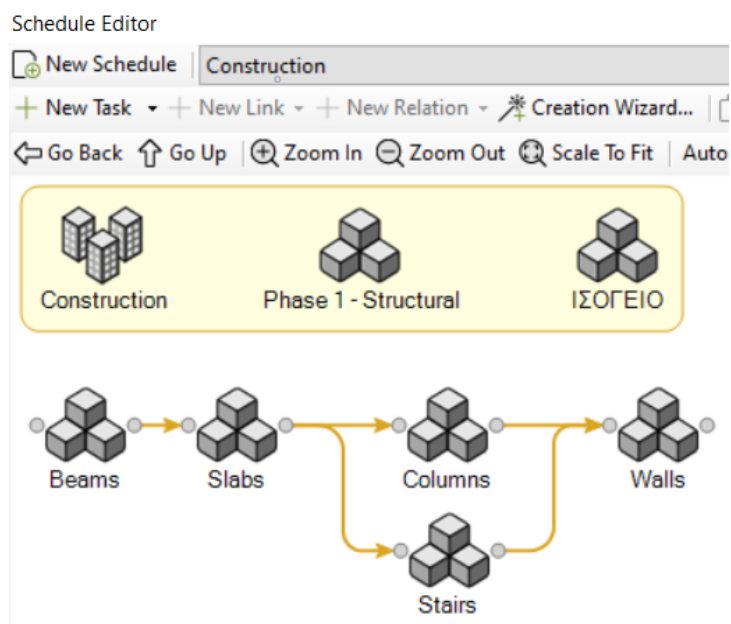
Η 1^η Φάση

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η πρώτη φάση της κατασκευής αναφέρεται στο σκελετό του κτιρίου, δηλαδή όλα τα στοιχεία που αποτελούνται από σκυρόδεμα. Για τον σκοπό του συγκεκριμένου σταδίου, στα δεδομένα της φάσης αυτής, πραγματοποιήθηκε μία εκ νέου κατηγοριοποίηση σύμφωνα με το επίπεδο του κτιρίου στο οποίο ανήκουν.



Εικόνα 4.4: Η λογική σύνδεση μεταξύ των εργασιών της 1^{ης} φάσης

Στο σημείο αυτό, για κάθε όροφο ορίστηκε η νοητική σειρά των εργασιών μεταξύ των επιμέρους στοιχείων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η παρακάτω εικόνα, όπου φαίνονται τα δεδομένα του ισογείου και η σειρά που ακολουθείται στο στάδιο της κατασκευής. Όπως είναι λογικό, για κάθε όροφο, πρώτα διαμορφώνονται οι δοκοί, μετά οι πλάκες και έπειτα ακολουθούν τα υποστυλώματα και όποιες άλλες κατασκευές από μπετόν.



Εικόνα 4.5: Η σειρά των επιμέρους εργασιών κάθε ορόφου

Ακόμα, για κάθε επιμέρους εργασία αποδόθηκε το σύνολο των εργάσιμων ημερών που απαιτείται για την ολοκλήρωσή τους. Η συμπλήρωση του στοιχείου αυτού πραγματοποιείται ύστερα από συνεννόηση με τον εργολάβο της οικοδομής και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως το εργατικό δυναμικό η παροχή υλικών κ.α. Για τις ανάγκες της συγκεκριμένης εργασίας αποδόθηκαν κάποιες μέσες χρονικές διάρκειες λαμβάνοντας υπόψιν και τον όγκο της εν λόγω οικοδομής. Μέσα από αυτήν την διαδικασία, και αφού έχει ορισθεί η ημερομηνία έναρξης των εργασιών, το πρόγραμμα παρέχει ακριβείς ημερομηνίες έναρξης και λήξης κάθε επιμέρους εργασίας. Το αποτέλεσμα των παραπάνω διαδικασιών φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.

Schedule Editor

New Schedule Construction Edit Delete Dupl

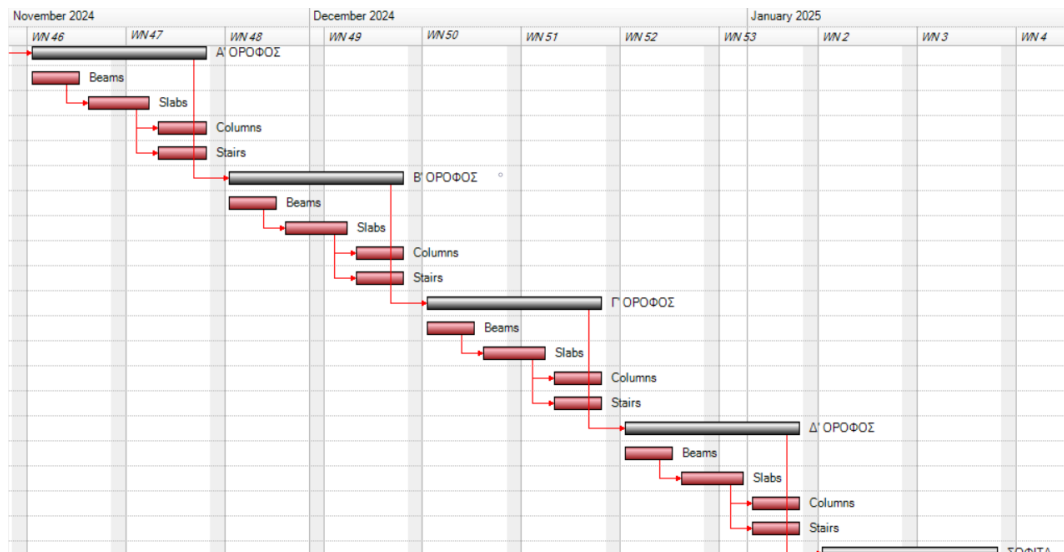
+ New Task + New Link + New Relation Creation Wizard... Copy Delete Task Editor Upd

Collapse All Expand All Zoom In Zoom Out Scale To Fit

Row Index	Name	Duration (Days)	Start Date	Finish Date
2	Phase 1 - Structural	126 wd	9/2/2024 08h	1/25/2025 16h
3	ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ	18 wd	9/2/2024 08h	9/21/2024 16h
4	Columns	9 wd	9/2/2024 08h	9/11/2024 16h
5	Walls	9 wd	9/12/2024 08h	9/21/2024 16h
6	ΥΠΟΓΕΙΟ	18 wd	9/23/2024 08h	10/12/2024 16h
7	Beams	6 wd	9/23/2024 08h	9/28/2024 16h
8	Slabs	6 wd	9/30/2024 08h	10/5/2024 16h
9	Walls	3 wd	10/7/2024 08h	10/9/2024 16h
10	Stairs	3 wd	10/10/2024 08h	10/12/2024 16h
11	ΙΣΟΓΕΙΟ	12 wd	10/14/2024 08h	10/26/2024 16h
12	Beams	3 wd	10/14/2024 08h	10/16/2024 16h
13	Slabs	3 wd	10/17/2024 08h	10/19/2024 16h
14	Columns	5 wd	10/21/2024 08h	10/25/2024 16h
15	Stairs	5 wd	10/21/2024 08h	10/25/2024 16h
16	Walls	1 wd	10/26/2024 08h	10/26/2024 16h
17	ΠΑΤΑΡΙΑ	12 wd	10/28/2024 08h	11/9/2024 16h
18	Beams	4 wd	10/28/2024 08h	10/31/2024 16h
19	Slabs	4 wd	11/1/2024 08h	11/5/2024 16h
20	Columns	4 wd	11/6/2024 08h	11/9/2024 16h
21	Stairs	4 wd	11/6/2024 08h	11/9/2024 16h

Εικόνα 4.6: Η απόδοση της μεταβλητής του χρόνου στην 1^η φάση

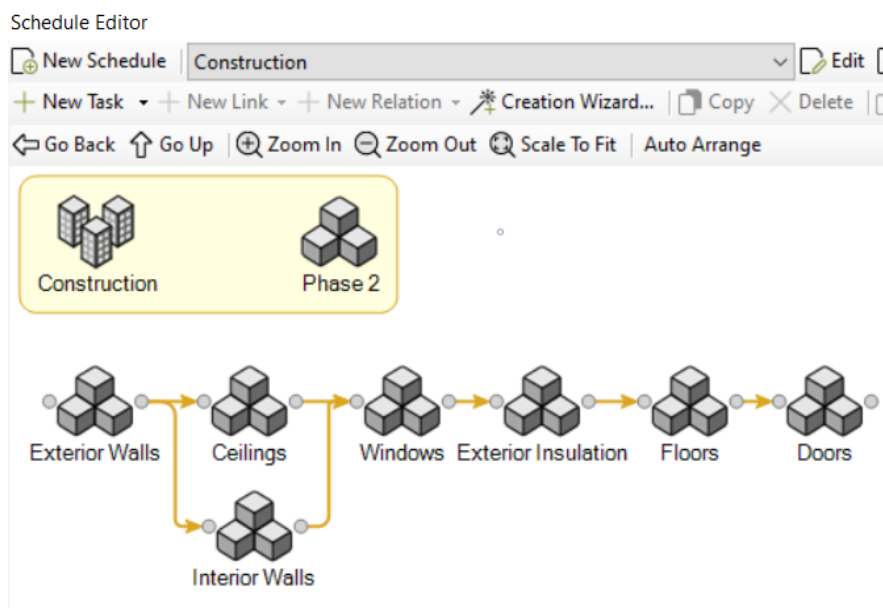
Μία ακόμη εναλλακτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων όσον αφορά τον προγραμματισμό της πρώτης φάσης της κατασκευής φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, όπου σημειώνεται η σχέση των επιμέρους εργασιών μεταξύ τους με κόκκινα βέλη.



Εικόνα 4.7: Γραμμική αναπαράσταση του χρονικού προγραμματισμού

Η 2^η Φάση

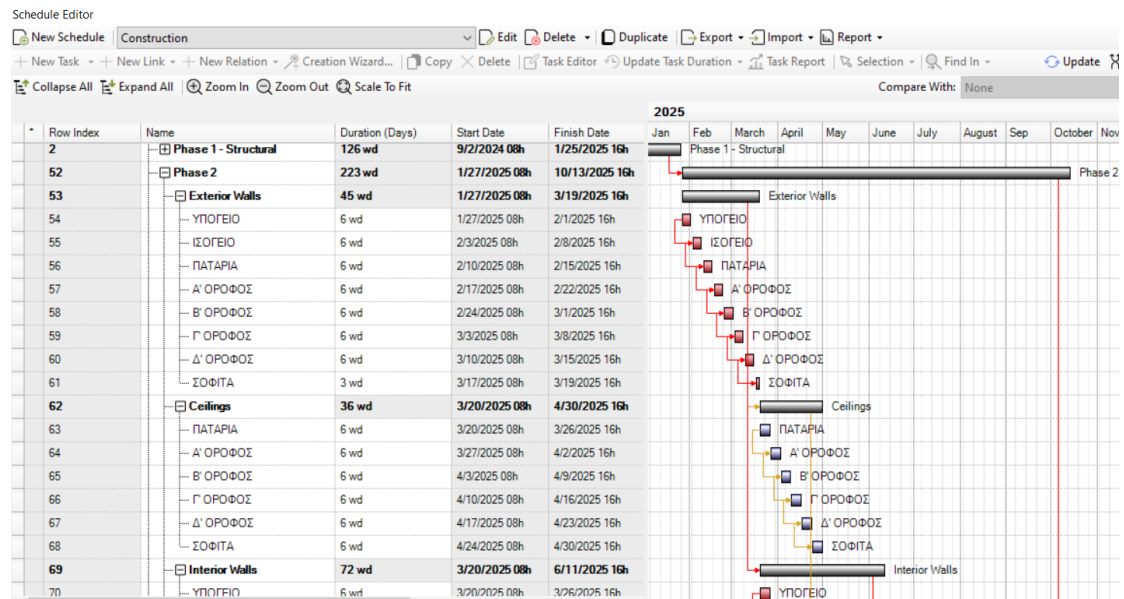
Για τη διαμόρφωση της 2^{ης} φάσης του χρονικού προγραμματισμού χρησιμοποιήθηκε διαφορετική μεθοδολογία, όσον αφορά την ομαδοποίηση των δεδομένων, από ότι προηγουμένως. Πιο συγκεκριμένα, σε πρώτη φάση, ο προγραμματισμός δεν ξεκίνησε με βάση το επίπεδο του κτιρίου, αλλά σύμφωνα με την κατηγορία των δομικών στοιχείων του σταδίου αυτού. Στα στοιχεία αυτά αποδόθηκε μία νοητική σύνδεση ακολουθώντας την πραγματική αλληλουχία των εργασιών που θα τηρηθεί, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 4.8: Η αλληλουχία των εργασιών της 2^{ης} φάσης

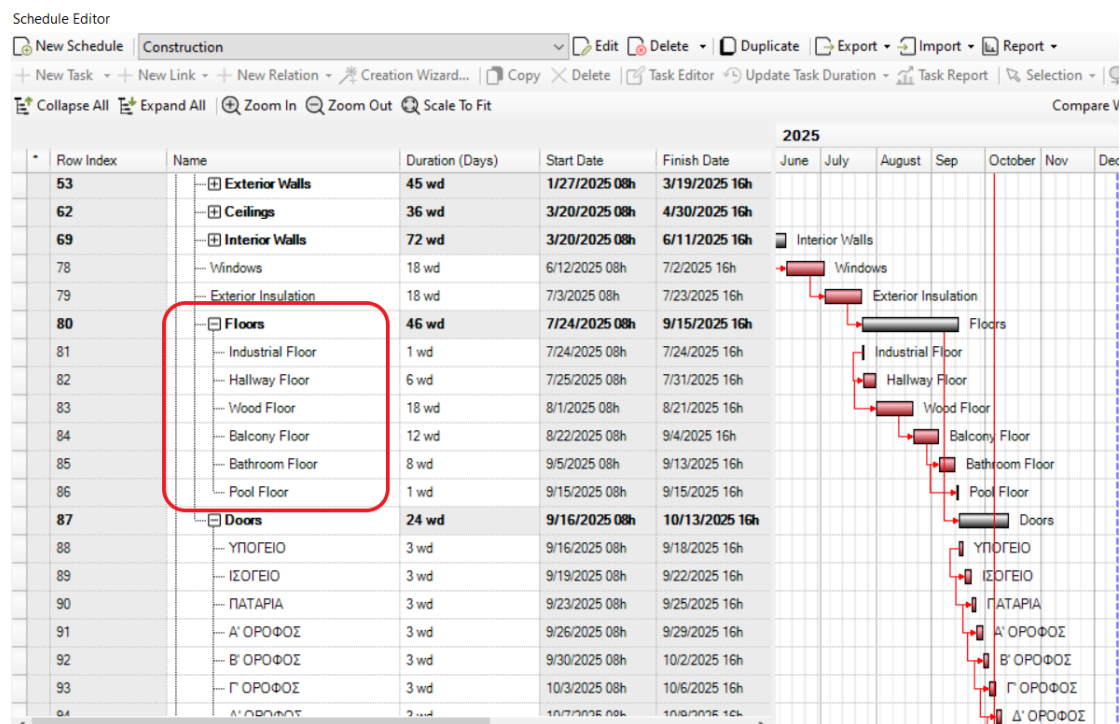
Στο σημείο αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν η πραγματική αλληλουχία των εργασιών, όπως αυτή ακολουθείται και έχει συμφωνηθεί από τα επιμέρους συνεργεία. Άλλωστε, βασικός παράγοντας ενός επιτυχημένου χρονικού προγραμματισμού είναι η πλήρης ανταπόκρισή του στην πραγματικότητα.

Η παρακάτω εικόνα δείχνει τον τρόπο με τον οποίο διαχειρίστηκαν τα στοιχεία της 2^{ης} φάσης, προκειμένου να ενταχθούν στη χρονική ανάλυση της κατασκευής. Όπως και προηγουμένως, σε κάθε επιμέρους εργασία αποδόθηκε ο επιθυμητός χρόνος ολοκλήρωσης, με αποτέλεσμα το πρόγραμμα να εξάγει ακριβείς ημερομηνίες για κάθε μία.



Εικόνα 4.9: Η απόδοση της μεταβλητής του χρόνου στην 2^η φάση

Μία κατηγορία από τη 2^η φάση της κατασκευής, για την οποία χρησιμοποιήθηκε ιδιαίτερη μεθοδολογία κατηγοριοποίησης είναι τα δάπεδα. Πιο συγκεκριμένα, λόγω της πολυπλοκότητας του στοιχείου αυτού, επιλέχθηκε η ομαδοποίησή του σύμφωνα με τον τύπο του δαπέδου, και όχι μαζικά με βάση τον όροφο του κτιρίου. Με τον τρόπο αυτό διαχωρίζονται καλύτερα οι επιμέρους εργασίες, καθώς κάθε δάπεδο απαιτεί διαφορετικά υλικά, ενώ ταυτόχρονα εμπλέκονται και διαφορετικά συνεργεία. Το βιομηχανικό δάπεδο που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα αναφέρεται στο υπόγειο του κτιρίου και έπειτα από αυτό ακολουθούν οι υπόλοιποι τύποι δαπέδων, αποδίδοντας το αντίστοιχο χρονικό διάστημα ολοκλήρωσης, λαμβάνοντας υπόψιν και την επιφάνεια που καλύπτει κάθε τύπος.

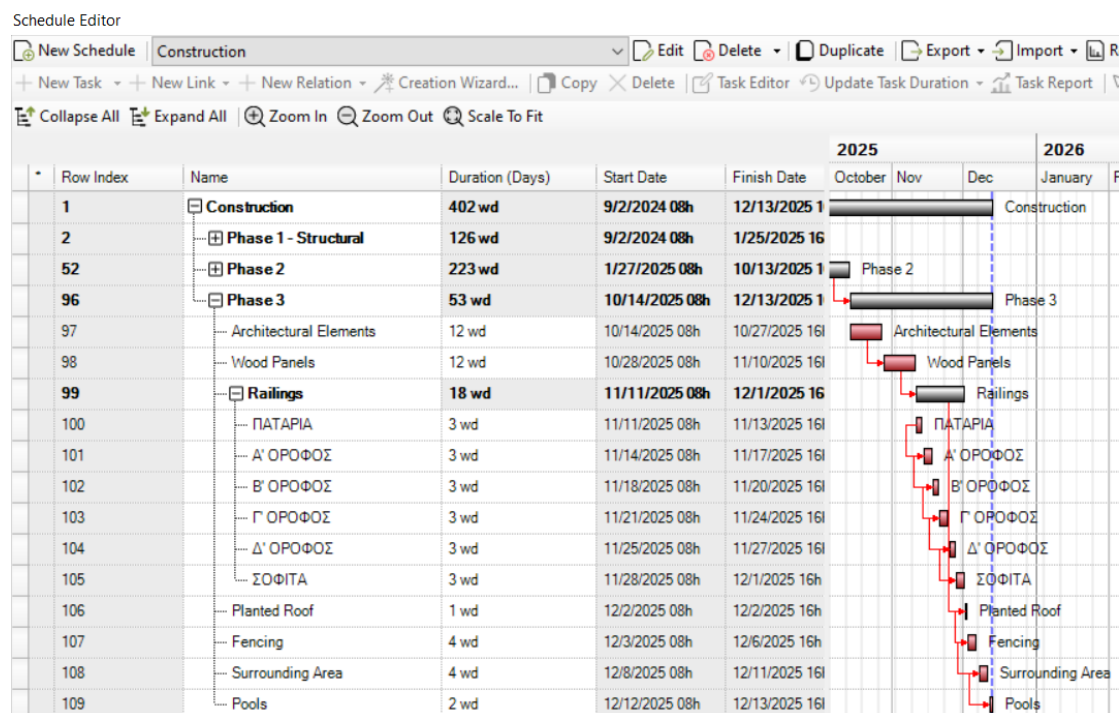


Εικόνα 4.10: Η διαχείριση του στοιχείου των δαπέδων

Η 3^η Φάση

Η 3^η και τελευταία φάση της κατασκευής είναι η μικρότερη χρονικά και περιλαμβάνει ορισμένα αρχιτεκτονικά στοιχεία, τελειώματα και ορισμένες εργασίες τελικής διαμόρφωσης του περιβάλλοντα χώρου. Η μοναδική ομάδα στοιχείων, από αυτές που έχουν οριστεί στον πίνακα (βλ. πίνακα 4-1) της 3^{ης} φάσης, για την οποία πραγματοποιήθηκε εκ νέου κατηγοριοποίηση, σύμφωνα με τον όροφο του κτιρίου, είναι τα κιγκλιδώματα των εξωστών. Στο απόσπασμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η σειρά εκπόνησης των επιμέρους εργασιών της τελευταίας αυτής φάσης κατασκευής, καθώς και ο χρονικός ορίζοντας κάθε εργασίας.

Το στάδιο αυτό ολοκληρώνει τον χρονικό προγραμματισμό του έργου, καθώς πλέον όλα τα στοιχεία του μοντέλου που αναγνωρίστηκαν από το πρόγραμμα έχουν ενταχθεί σε αυτόν και είναι διαθέσιμη ανά πάσα στιγμή οποιαδήποτε χρονική πληροφορία αναφορικά με την κατασκευή.



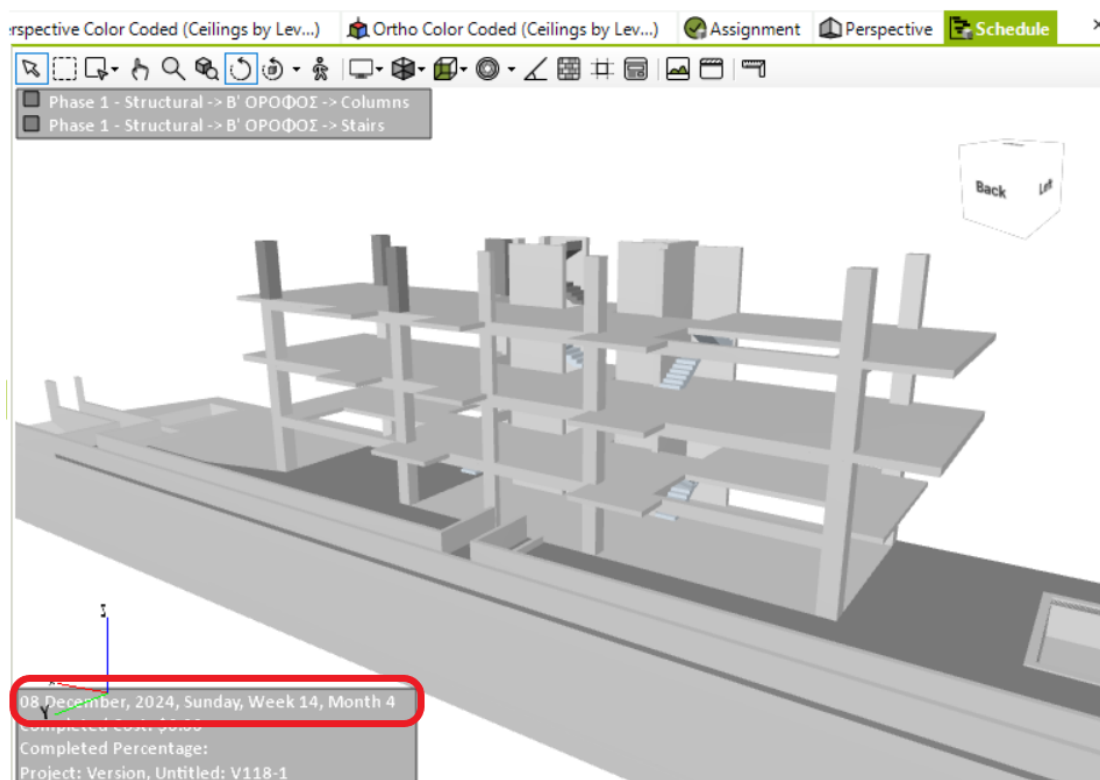
Εικόνα 4.11: Η απόδοση της μεταβλητής του χρόνου στην 3^η φάση

4.3.4 Το αποτέλεσμα του 4D σχεδιασμού

Με τα παραπάνω ολοκληρώθηκε η διαδικασία προσθήκης της μεταβλητής του χρόνου. Με τον τρόπο αυτό, υπάρχει συνεχής συσχέτιση των στοιχείων του μοντέλου με τον παράγοντα του χρόνου, γεγονός που οδηγεί στον σχηματισμό ενός ολοκληρωμένου 4D σχεδιασμού. Απώτερος σκοπός της διαδικασίας αυτής είναι η δημιουργία ενός επιτυχημένου χρονικού προγραμματισμού που εξυπηρετεί τις ανάγκες της κατασκευής. Για την επιτυχία αυτού του προγραμματισμού και την τήρησή του είναι αναγκαία η ύπαρξη επικοινωνίας και συνεργασίας μεταξύ των ενδιαφερόμενων (μηχανικοί, εργολάβοι, προμηθευτές).

Πλέον, οι σύγχρονες κατασκευαστικές εταιρείες αναζητούν όλο και περισσότερο τη σύνταξη ενός αξιόπιστου χρονικού προγραμματισμού που έχει τη δυνατότητα να ενημερώνεται αυτόματα ανάλογα με αλλαγές στο σχεδιασμό. Αυτό ακριβώς έχει επιτευχθεί στην συγκεκριμένη περίπτωση, καθώς ο συσχετισμός των δεδομένων με το χρόνο έχει πραγματοποιηθεί με “έξυπνο” τρόπο, επιλέγοντας την εκάστοτε κατηγορία των στοιχείων, και όχι τα ίδια τα στοιχεία, γεγονός που επιτρέπει την αυτόματη ενημέρωση σε περίπτωση προσθήκης ή αφαίρεσης επιμέρους στοιχείων.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ο χρονικός προγραμματισμός που πραγματοποιήθηκε έχει τη δυνατότητα αναπαράστασης κάθε στιγμής της κατασκευής σε σύγκριση με το χρόνο. Η συσχέτιση αυτή αποδίδει ακριβείς ημερομηνίες ανάλογα με το στάδιο των εργασιών, προσφέροντας παράλληλα οπτικοποίηση των εκτελούμενων εργασιών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το παρακάτω απόσπασμα, όπου φαίνεται η εξέλιξη της κατασκευής και το ακριβές στάδιο στο οποίο θα βρίσκεται για μία συγκεκριμένη ημερομηνία, η οποία φαίνεται στο κάτω αριστερά τμήμα του.



Εικόνα 4.12: Η πρόοδος της κατασκευής σε δεδομένο χρονικό σημείο

Το γεγονός αυτό, πέρα από την χρονική εκτίμηση του έργου, προσφέρει τη δυνατότητα διαρκούς παρακολούθησης των εργασιών, με σκοπό την σύγκριση τους με το πρόγραμμα που έχει διαμορφωθεί. Έτσι, υπάρχει πλήρης επίγνωση του χρονικού ορίζοντα και αποφεύγονται καθυστερήσεις στην κατασκευή.

4.4 Η εκτίμηση κόστους (5D Σχεδιασμός)

4.4.1 Εισαγωγή

Ένας ακόμη από τους πρωταρχικούς στόχους της μεθοδολογίας BIM είναι η προσθήκη της πέμπτης διάστασης στο σχεδιασμό, δηλαδή η προσθήκη της μεταβλητής του κόστους. Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει τη συσχέτιση του μοντέλου με την παράμετρο του κόστους και την απόδοσή του στα επιμέρους υλικά και τις εργασίες της κατασκευής. Ακολουθεί τον 4D σχεδιασμό και συνιστά μία εξίσου καθοριστικής σημασίας διαδικασία για την ομαλή διεξαγωγή και την επιτυχία ενός έργου. Στη σύγχρονη κατασκευαστική βιομηχανία, ο οικονομικός προϋπολογισμός ενός έργου θεωρείται αναγκαίος, καθώς προσφέρει αναλυτικά δεδομένα και αποφεύγονται πιθανές υπερβάσεις κόστους, γεγονός που αποτελεί ένα από τα συχνότερα ζητήματα των κατασκευαστικών έργων. Ακόμα, υπάρχει πλήρης επίγνωση των οικονομικών από τους πελάτες, διευκολύνοντας έτσι την επικοινωνία και τη συνεργασία μεταξύ ενδιαφερόμενων. Η δημιουργία ενός ρεαλιστικού οικονομικού προϋπολογισμού που ανταποκρίνεται στις ανάγκες του έργου και έχει τη δυνατότητα ενημέρωσης και προσαρμογής αποτελεί έναν από τους βασικούς παράγοντες που οδηγούν στην BIM προσέγγιση των κατασκευών.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, ο 5D σχεδιασμός ακολουθεί αμέσως μετά την ολοκλήρωση του χρονικού προγραμματισμού και μέσω του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των δύο διαστάσεων, γεγονός που παρουσιάζεται σε επόμενο κεφάλαιο. Παρακάτω, αναλύεται η διαδικασία προσθήκης της παραμέτρου του κόστους στο μοντέλο, γεγονός που τελικά οδηγεί στον ολοκληρωμένο 5D σχεδιασμό του έργου.

4.4.2 Μέτρηση ποσοτήτων

Αρχικό στάδιο για τη δημιουργία ενός επιτυχημένου οικονομικού προϋπολογισμού είναι οι προμετρήσεις ποσοτήτων και υλικών που χρησιμοποιούνται κατά την οικοδομική διαδικασία. Σύμφωνα με τα κατασκευαστικά πρότυπα που ακολουθούνται, κάθε υλικό έχει τη δική του μονάδα μέτρησης όσον αφορά τον υπολογισμό κόστους από τους προμηθευτές. Παρακάτω φαίνεται το αποτέλεσμα της μέτρησης των κυβικών μέτρων σκυροδέματος.

Structure - All elements (413 Elements)	Calculated Volu...
Α' ΟΡΟΦΟΣ	87.094 m ³
Beams	6.633 m ³
Slabs	54.299 m ³
Stairs	3.801 m ³
Structural Columns	22.361 m ³
Β' ΟΡΟΦΟΣ	78.883 m ³
Γ' ΟΡΟΦΟΣ	104.852 m ³
Δ' ΟΡΟΦΟΣ	109.337 m ³
ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ	222.537 m ³
ΙΣΟΓΕΙΟ	217.114 m ³
ΠΑΤΑΡΙΑ	68.036 m ³
ΣΟΦΙΤΑ	97.589 m ³
ΣΤΕΓΗ	
Beams	4.732 m ³
Roofs	

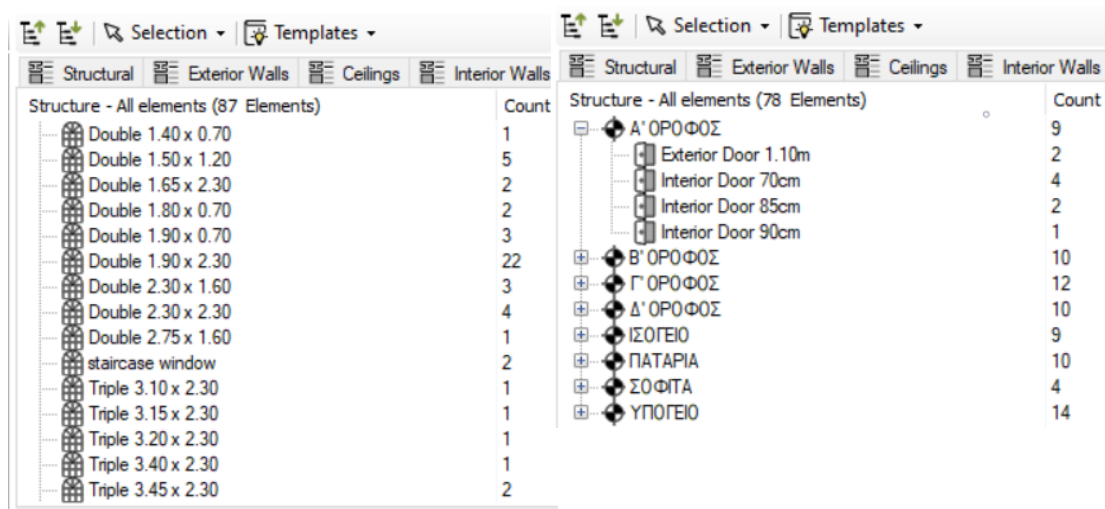
Εικόνα 4.13: Υπολογισμός κυβικών μέτρων σκυροδέτησης

Όσον αφορά τα δομικά στοιχεία της 2^{ης} φάσης (βλ. πίνακα 4-1), για τα περισσότερα από αυτά η μονάδα μέτρησης απόδοσης κόστους είναι τα τετραγωνικά μέτρα.

Structure - All elements (152 Elements)	Calculated	Structure - All elements (533 Elements)	Calculated Surf...
Α' ΟΡΟΦΟΣ	364.287 m ²	Balcony Floor	849.538 m ²
Β' ΟΡΟΦΟΣ	376.923 m ²	Bathroom Floor	215.815 m ²
Γ' ΟΡΟΦΟΣ	432.563 m ²	Hallway Floor	365.020 m ²
Δ' ΟΡΟΦΟΣ	415.520 m ²	Industrial Floor	1.220.899 m ²
ΙΣΟΓΕΙΟ	412.372 m ²	Pool Floor	47.750 m ²
ΠΑΤΑΡΙΑ	359.915 m ²	Wood Floor	2.021.284 m ²
ΣΟΦΙΤΑ	243.766 m ²		
ΥΠΟΓΕΙΟ	77.748 m ²		

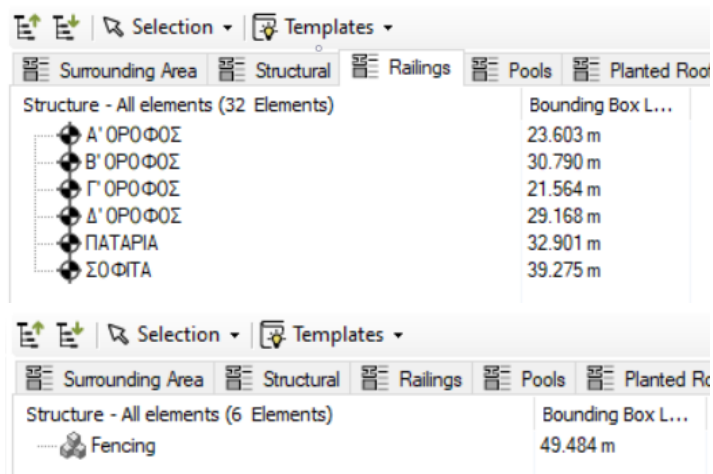
Εικόνα 4.14: Υπολογισμός εξωτερικών τοίχων και δαπέδων

Τα τελευταία στοιχεία της 2^{ης} φάσης, που είναι τα κουφώματα και οι πόρτες διαχειρίστηκαν διαφορετικά, αφού το κόστος τους εξαρτάται από τον τύπο και το είδος κάθε στοιχείου ξεχωριστά και δεν μετρείται με κάποια μονάδα μέτρησης όπως τα προηγούμενα.



Εικόνα 4.15: Κατηγοριοποίηση κουφωμάτων και πορτών

Τέλος, αναφορικά με τα στοιχεία της 3^{ης} και τελευταίας φάσης της κατασκευής, στην πλειονότητά τους μετρήθηκαν σε τετραγωνικά μετρά. Ακόμα, μία διαφορετική μονάδα μέτρησης χρησιμοποιήθηκε για τα κιγκλιδώματα και την περίφραξη, καθώς για τα συγκεκριμένα στοιχεία, οι προσφορές των προμηθευτών λαμβάνονται σε τρέχοντα μέτρα.



Εικόνα 4.16: Υπολογισμός κιγκλιδωμάτων και περίφραξης

Με τον τρόπο αυτό ολοκληρώθηκε η διαδικασία των προμετρήσεων, δηλαδή η αναλυτική απεικόνιση των ποσοτήτων κάθε υλικού που χρειάζεται για την κατασκευή του έργου. Το γεγονός αυτό αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι για τον υπολογισμό της

τελικής οικονομικής επιβάρυνσης του έργου, που αποτελεί και βασικό ζητούμενο της BIM διαδικασίας.

Η μέτρηση ποσοτήτων, με τη χρήση BIM λογισμικών, όπως είναι το Bexel Manager, πραγματοποιείται αυτόματα προσφέροντας πολλαπλά οφέλη συγκριτικά με τις παλιές παραδοσιακές μεθόδους. Αρχικά, ο χρήστης γλυτώνει χρόνο, καθώς το πρόγραμμα πραγματοποιεί αυτόματα τους απαιτούμενους υπολογισμούς. Επίσης, τα λογισμικά αυτά προσφέρουν ακρίβεια και αξιοπιστία, καθώς εκμηδενίζεται ο παράγοντας ανθρώπινου λάθους.

4.4.3 Διαμόρφωση οικονομικού προϋπολογισμού

Βασική προϋπόθεση για την εκτίμηση του κατασκευαστικού κόστους είναι η παροχή οικονομικών προσφορών από προμηθευτές και εργολάβους που ανταποκρίνονται στις ανάγκες του έργου. Μέσω της BIM διαδικασίας και την κοινή χρήση του μοντέλου μεταξύ των ενδιαφερόμενων, η διαδικασία αυτή γίνεται εύκολη προσφέροντας αμεσότητα και ταχύτητα. Οι προσφορές αυτές θα χρησιμοποιηθούν μελλοντικά για τον ακριβή οικονομικό προϋπολογισμό του έργου.

Αρχικά, σύμφωνα με τις ποσότητες που μετρήθηκαν στο προηγούμενο στάδιο, διαμορφώθηκε μία βάση οικονομικών δεδομένων, η οποία αποτελεί τον πυρήνα της τελικής εκτίμησης κόστους. Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε εισαγωγή όλων των επιμέρους στοιχείων, συνοδευόμενων από το χαρακτηριστικό της ποσότητας τους και της εκάστοτε μονάδας μέτρησης. Πλέον, το μοναδικό στοιχείο που απομένει να συμπληρωθεί για την ολοκλήρωση αυτής της βάσης δεδομένων είναι το κόστος κάθε στοιχείου ανά μονάδα μέτρησης. Η πληροφορία αυτή αντλήθηκε από τις οικονομικές προσφορές των συνεργατών, με τον παρακάτω πίνακα να παρουσιάζει αναλυτικά την τιμή κάθε στοιχείου.

Πίνακας 4-2: Το κόστος κάθε στοιχείου

	Elements	Price/unit
Phase 1	All Elements	250.00 €
P h a s e 2	Exterior Walls	26.00 €
	Ceilings	16.00 €
	Interior Walls	24.00 €
	Windows	value
	Exterior Insulation	40.00 €
	Tile, Marble Floor	15.00 €
	Industrial Floor	10.00 €
	Wood Floor	12.00 €
	Doors	value
P h a s e 3	Architectural Elements	26.00 €
	Wood Panels	12.00 €
	Railings	180.00 €
	Planted Roof	8.50 €
	Fencing	110.00 €
	Surrounding Area	6.00 €
	Pools	3.50 €

Οι τιμές του παραπάνω πίνακα αποδόθηκαν στα στοιχεία εντός του λογισμικού, με ορισμένα ενδεικτικά παραδείγματα να φαίνονται παρακάτω.

Διερεύνηση δυνατοτήτων της τεχνολογίας BIM για τη διαχρονική παρακολούθηση και οικονομική διαχείριση της κατασκευής ενός κτιρίου. Εμμανουήλ Χασάπτης

Name	Cost Items Count	Unit Cost	Daily Output	Quantity Type	Quantity Unit	Quantity Formula
Exterior Walls						
A' ΟΡΟΦΟΣ	8	\$26.00	1	Area	m ²	[Calculated Surface Area]
B' ΟΡΟΦΟΣ		\$26.00	1	Area	m ²	[Calculated Surface Area]
Γ' ΟΡΟΦΟΣ		\$26.00	1	Area	m ²	[Calculated Surface Area]
Δ' ΟΡΟΦΟΣ		\$26.00	1	Area	m ²	[Calculated Surface Area]
ΙΣΟΓΕΙΟ		\$26.00	1	Area	m ²	[Calculated Surface Area]
ΠΑΤΑΡΙΑ		\$26.00	1	Area	m ²	[Calculated Surface Area]
ΣΟΦΙΤΑ		\$26.00	1	Area	m ²	[Calculated Surface Area]
Selected Classification Items: 1, Selected Cost Items: 8, Total Class						

Name	Cost Items Count	Unit Cost	Daily Output	Quantity Type	Quantity Unit	Quantity Formula
Railings						
A' ΟΡΟΦΟΣ	6	\$180.00	1	Length	m	[Bounding Box Length]
B' ΟΡΟΦΟΣ		\$180.00	1	Length	m	[Bounding Box Length]
Γ' ΟΡΟΦΟΣ		\$180.00	1	Length	m	[Bounding Box Length]
Δ' ΟΡΟΦΟΣ		\$180.00	1	Length	m	[Bounding Box Length]
ΠΑΤΑΡΙΑ		\$180.00	1	Length	m	[Bounding Box Length]
ΣΟΦΙΤΑ		\$180.00	1	Length	m	[Bounding Box Length]
Planted Roof	1					
Selected Classification Items: 1, Selected Cost Items: 6, Total Class						

Name	Cost Items Count	Unit Cost	Daily Output	Quantity Type	Quantity Unit	Quantity Formula
Doors						
A' ΟΡΟΦΟΣ						
Exterior Door 1.10m	4	\$1,300.00	1	Numeric		1
Interior Door 70cm		\$600.00	1	Numeric		1
Interior Door 85cm		\$700.00	1	Numeric		1
Interior Door 90cm		\$700.00	1	Numeric		1
B' ΟΡΟΦΟΣ	4					
Γ' ΟΡΟΦΟΣ	4					
Selected Classification Items: 1, Selected Cost Items: 4, Total Class						

Εικόνα 4.17: Απόδοση τιμών στα επιμέρους στοιχεία της κατασκευής

Στις παραπάνω εικόνες φαίνεται το κόστος κάθε στοιχείου ανά μονάδα. Πιο αναλυτικά, στην πρώτη εικόνα που αναφέρεται στις εξωτερικές τοιχοποιίες, το κόστος ανέρχεται στα 26.00\$ / τ.μ. Η δεύτερη εικόνα αφορά τα κιγκλιδώματα των εξωστών, τα οποία έχουν κόστος 180.00\$ / τρέχον μέτρο. Τέλος, η τελευταία εικόνα αναφέρεται

στις πόρτες του κτιρίου, για τις οποίες δεν χρησιμοποιήθηκε κάποια μονάδα μέτρησης. Αντίθετα, κάθε πόρτα αντιμετωπίστηκε σαν ξεχωριστό στοιχείο, εφόσον κάθε μία παρουσιάζει διαφορετική τιμή ανάλογα με το είδος της. Αυτά αποτελούν ορισμένα ενδεικτικά παραδείγματα στοιχείων και του τρόπου διαχείρισής τους. Παρόμοια μεθοδολογία ακολουθήθηκε και για την συμπλήρωση των υπόλοιπων δεδομένων του οικονομικού προϋπολογισμού

Πλέον, εφόσον είναι διαθέσιμες οι πληροφορίες των ποσοτήτων και των τιμών μονάδας, το λογισμικό έχει τη δυνατότητα να υπολογίσει αναλυτικά το κόστος κάθε δομικού στοιχείου, και σαν αποτέλεσμα ολόκληρης της κατασκευής, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

Name	Material C...	Labor Cost	Equipme...	Base Construction Cost
Enter text to search				
Construction	\$2,942,059.18	\$601,376.14	\$89,416.00	\$3,632,851.32
Phase 1 - Structural	\$268,054.67	\$89,351.56	\$89,351.56	\$446,757.78
Phase 2-1 - Exterior Walls	\$653,286.15	\$118,779.30	\$0.00	\$772,065.44
Phase 2-2 - Ceilings	\$238,064.60	\$79,354.87	\$0.00	\$317,419.47
Phase 2-3 - Interior Walls	\$593,896.50	\$118,779.30	\$0.00	\$712,675.79
Phase 2-4 - Windows	\$228,050.00	\$16,850.00	\$0.00	\$244,900.00
Phase 2-5 - Exterior Insulation	\$108,200.69	\$12,036.53	\$0.00	\$120,237.21
Phase 2-6 - Floors	\$47,717.50	\$10,918.73	\$0.00	\$58,636.24
Phase 2-7 - Doors	\$52,240.00	\$3,110.00	\$0.00	\$55,350.00
Phase 3-1 - Archtectural Elements	\$13,013.92	\$3,904.18	\$0.00	\$16,918.10
Phase 3-2 - Wood Panels	\$3,160.00	\$632.00	\$0.00	\$3,792.00
Phase 3-3 - Railings	\$725,450.71	\$145,090.14	\$0.00	\$870,540.86

Εικόνα 4.18: Ο οικονομικός προϋπολογισμός του έργου

Μέσα από την παραπάνω διαδικασία ολοκληρώνεται ο 5D σχεδιασμός του έργου, δηλαδή η εκτίμηση κόστους, γεγονός που καθίσταται αναγκαίο για τις σύγχρονες απαιτήσεις του κατασκευαστικού κλάδου. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε επιτρέπει την αναλυτική οικονομική εκτίμηση κάθε στοιχείου, ακόμα και σύμφωνα με τον όροφο του κτιρίου που συναντάται. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται η ολοκληρωμένη προσέγγιση του έργου, καθώς υπάρχει πλήρης επίγνωση των επιμέρους στοιχείων και του κόστους που τα συνοδεύει.

4.5 Σύνδεση μεταξύ 4D & 5D σχεδιασμού

4.5.1 Συσχέτιση των διαστάσεων σχεδιασμού

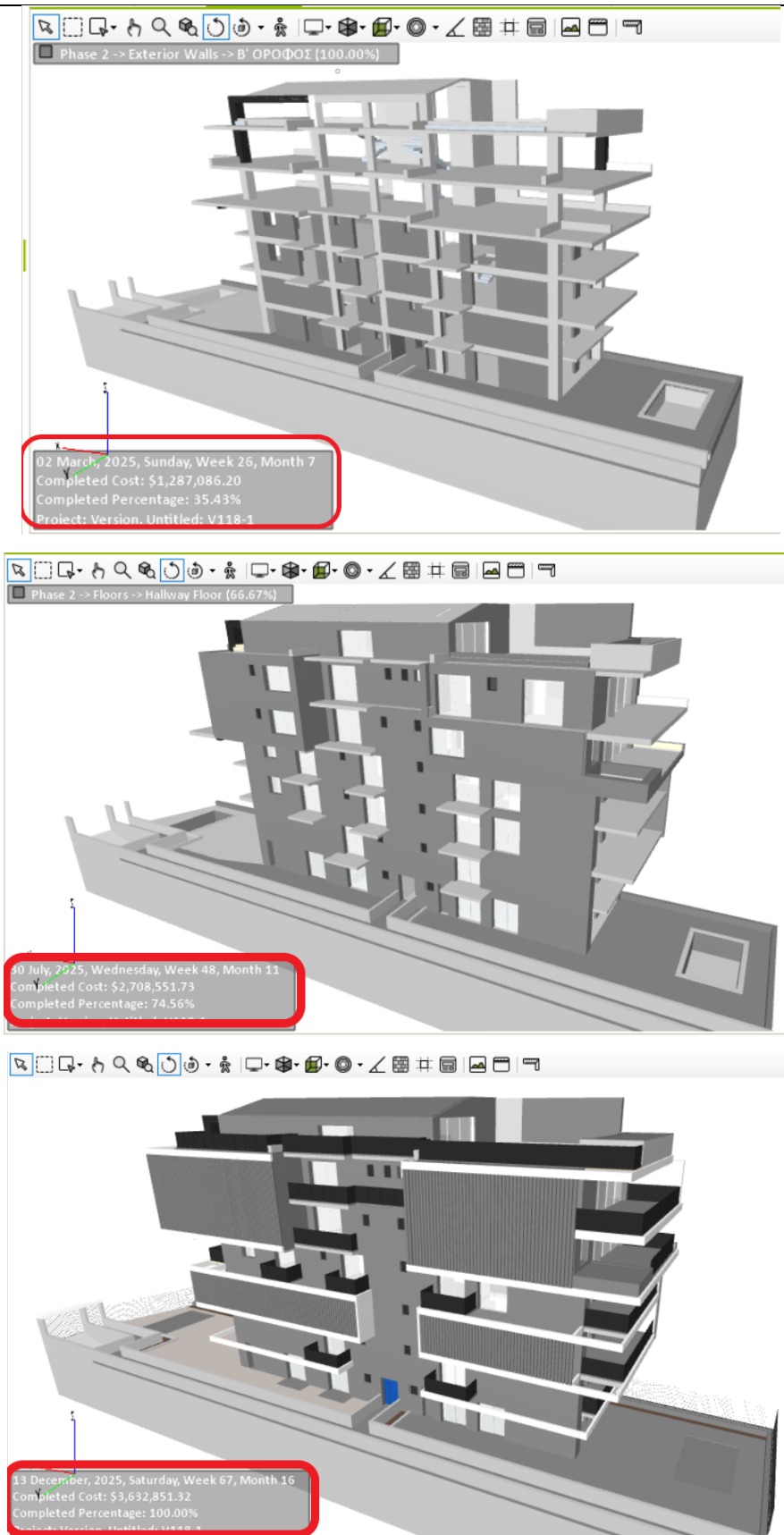
Στο σημείο αυτό, και αφού έχουν ολοκληρωθεί οι επιμέρους 4D & 5D σχεδιασμοί, πραγματοποιήθηκε συσχέτιση μεταξύ τους, με σκοπό την καλύτερη και πιο ολοκληρωμένη αναπαράσταση του έργου. Έτσι, ο χρονικός προγραμματισμός της κατασκευής, με τις επιμέρους φάσεις της και εργασίες, όπως αυτές είχαν οριστεί σε προηγούμενα στάδια, συνοδεύεται από την πληροφορία του κόστους. Η σύνδεση μεταξύ των δύο διαστάσεων προσφέρει μία ολοκληρωμένη απεικόνιση της επιθυμητής εξέλιξης του έργου, τόσο σε χρονικό ορίζοντα, όσο και σε ρή χρηματοδότησης. Παρακάτω επισυνάπτεται απόσπασμα, όπου φαίνεται το αποτέλεσμα της παραπάνω συσχέτισης.

Name	Duration (Days)	Start Date	Finish Date	Element Count	Total Cost
Construction	402 wd	9/2/2024 08h	12/13/2025 16h	2,534	\$3,632,851.32
+ Phase 1 - Structural	126 wd	9/2/2024 08h	1/25/2025 16h	413	\$1,135,160.20
- Phase 2	223 wd	1/27/2025 08h	10/13/2025 16h	1,670	\$2,128,354.68
+ Exterior Walls	45 wd	1/27/2025 08h	3/19/2025 16h	152	\$273,256.58
+ Ceilings	36 wd	3/20/2025 08h	4/30/2025 16h	12	\$88,418.47
+ Interior Walls	72 wd	3/20/2025 08h	6/11/2025 16h	456	\$341,890.53
- Windows	18 wd	6/12/2025 08h	7/2/2025 16h	87	\$327,213.41
- Exterior Insulation	18 wd	7/3/2025 08h	7/23/2025 16h	352	\$431,000.72
+ Floors	46 wd	7/24/2025 08h	9/15/2025 16h	533	\$571,295.77
+ Doors	24 wd	9/16/2025 08h	10/13/2025 16h	78	\$95,279.21
- Phase 3	53 wd	10/14/2025 08h	12/13/2025 16h	450	\$369,336.43
- Architectural Elements	12 wd	10/14/2025 08h	10/27/2025 16h	63	\$118,472.36
- Wood Panels	12 wd	10/28/2025 08h	11/10/2025 16h	316	\$77,266.07
+ Railings	18 wd	11/11/2025 08h	12/1/2025 16h	32	\$71,544.42

Εικόνα 4.19: Η σύνδεση 4D & 5D σχεδιασμού

Ακόμα, το λογισμικό προσφέρει τη δυνατότητα τρισδιάστατης προσομοίωσης του έργου, η οποία παρέχει ψηφιακή αναπαράσταση της προόδου των εργασιών, με βάση ένα δεδομένο χρονικό σημείο. Όπως φάνηκε και προηγουμένως, αυτό προσφέρει πολλαπλά οφέλη στη διαχείριση του έργου. Πλέον, η λειτουργία αυτή, συνοδεύεται και από την πληροφορία του δαπανημένου κόστους για συγκεκριμένο στάδιο της κατασκευής, γεγονός που συμβάλλει σημαντικά στην παρακολούθηση του έργου. Ένα ενδεικτικό παράδειγμα της παραπάνω λειτουργίας παρουσιάζεται στην ακόλουθη εικόνα, όπου φαίνεται η προοδευτική εξέλιξη της κατασκευής.

Διερεύνηση δυνατοτήτων της τεχνολογίας BIM για τη διαχρονική παρακολούθηση και οικονομική διαχείριση της κατασκευής ενός κτιρίου. Εμμανουήλ Χασάπτης



Εικόνα 4.20: Η κατασκευαστική πρόοδος

4.5.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Με την ολοκλήρωση του 4D και 5D σχεδιασμού, αλλά και με την μεταξύ τους σύνδεση, είναι εμφανές ότι υπάρχει μία ολοκληρωτική προσέγγιση, που καλύπτει τις απαιτήσεις όλων των πτυχών της κατασκευαστικής διαδικασίας. Τέτοια επίπεδα σχεδιασμού συμβάλλουν σημαντικά στην αύξηση της γενικότερης αποδοτικότητας, καθώς γίνεται ευκολότερη η διαχείριση του έργου από μηχανικούς, εργοδηγούς, εργολάβους κλπ. Πιο συγκεκριμένα, ο σχεδιασμός πέντε διαστάσεων, όπως είναι και αυτός που εφαρμόστηκε στην συγκεκριμένη περίπτωση, μειώνει σημαντικά τα επίπεδα ρίσκου, προσφέροντας μεγαλύτερη ασφάλεια κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Ακόμα, αποφεύγονται καθυστερήσεις παράδοσης του έργου, καθώς η πρόοδος των εργασιών επιβλέπεται στενά, ενώ ο αναλυτικός οικονομικός προϋπολογισμός αποτρέπει ενδεχόμενα υπερχρεώσεων από εργολάβους και προμηθευτές. Γενικότερα, η μεθοδολογία αυτή χαρακτηρίζεται από μία συλλογική προσέγγιση, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την καλύτερη ποιότητα κατασκευής.

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για τον 4D και 5D σχεδιασμό του συγκεκριμένου έργου προσφέρει τη δυνατότητα εξαγωγής διάφορων πληροφοριών και διαγραμμάτων χρήσιμων για την κατασκευαστική διαδικασία και την ευρύτερη κατανόηση των απαιτήσεων του έργου. Ένα τέτοιο είναι το διάγραμμα που ακολουθεί, το οποίο παρουσιάζει τη διαφοροποίηση των χρηματικών απαιτήσεων του έργου για κάθε μήνα που αναμένεται να διαρκέσει η κατασκευή. Έτσι, υπάρχει πλήρης επίγνωση των αναγκαίων χρηματικών ροών για όλη τη διάρκεια των εργασιών.



Εικόνα 4.21: Διάγραμμα χρηματικών απαιτήσεων ανά μήνα

Όπως γίνεται αντιληπτό, οι χρηματικές απαιτήσεις των εργασιών κάθε μήνα δεν ακολουθούν κάποια κατανομή, καθώς εξαρτώνται από το είδος και τον όγκο των εργασιών, το κόστος των υλικών κ.α. Επομένως, το διάγραμμα αυτό παρέχει χρήσιμες πληροφορίες, όπως για παράδειγμα ότι ο Ιούλιος του 2025 αποτελεί έναν ιδιαίτερα απαιτητικό μήνα, γεγονός που δίχως την παραπάνω ανάλυση μπορεί να μην είχε ληφθεί υπόψιν στην αρχική προετοιμασία και τη διαχείριση των οικονομικών πόρων της εταιρείας.

Ακόμα ένα διάγραμμα που βοηθά στην κατανόηση των οικονομικών αναγκών του έργου κατά τη διάρκεια της κατασκευής είναι το παρακάτω, το οποίο παρουσιάζει τη συσσώρευση του κόστους με το πέρασμα του χρόνου.



Εικόνα 4.22: Διάγραμμα συσσωρευμένου κόστους ανά μήνα

Στο διάγραμμα αυτό φαίνεται το συνολικό δαπανημένο κεφάλαιο για κάθε μήνα της κατασκευής. Όπως είναι λογικό, το διάγραμμα εμφανίζει μία σταθερά αυξητική τάση μέχρι να φτάσει το συνολικό ποσό του οικονομικού προϋπολογισμού με το πέρας των εργασιών. Όπως ισχύει και με το προηγούμενο διάγραμμα, το συγκεκριμένο βοηθά στη σωστή διαχείριση των οικονομικών από πρώιμο στάδιο, έχοντας πλήρη εικόνα των κοστολογικών απαιτήσεων κάθε μήνα.

Όπως γίνεται αντιληπτό, η τεχνολογία BIM και ο σχεδιασμός σε 4D και 5D επίπεδο, αλλάζουν δραματικά τον τρόπο προσέγγισης των τεχνικών έργων, μεγιστοποιώντας την αποδοτικότητα της κατασκευαστικής διαδικασίας. Αυτός είναι άλλωστε και ο λόγος που η τεχνολογία αυτή αναπτύσσεται με ραγδαίους ρυθμούς, με πολλές κατασκευαστικές εταιρείες να έχουν ήδη υιοθετήσει τη συγκεκριμένη μεθοδολογία.

Κεφάλαιο 5 – Κατακλείδα

5.1 Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την συγκεκριμένη διπλωματική εργασία προέρχονται από τη βιβλιογραφική έρευνα που πραγματοποιήθηκε, αλλά και από την πρακτική εφαρμογή της τεχνολογίας BIM, δηλαδή τη δημιουργία ενός BIM μοντέλου στο Revit και τη διαχείρισή του μέσω του Bexel Manager. Αρχικά, αναφέρονται κάποιες απαιτήσεις που διαμορφώνονται για την επιτυχημένη εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας στα κατασκευαστικά έργα.

- Πρώτον, χρειάζεται επένδυση για την απόκτηση και την εγκατάσταση των νέων λογισμικών που υποστηρίζουν την BIM διαδικασία, αλλά και για την αγορά ισχυρών υπολογιστικών μέσων που υποστηρίζουν τα πολύπλοκα αυτά λογισμικά.
- Δεύτερον, είναι επιτακτική η ανάγκη για εκπαίδευση του ανθρώπινου δυναμικού ως προς την αποτελεσματική χρήση αυτών των λογισμικών και την απόκτηση εμπειρίας όσον αφορά τη διαχείριση BIM.
- Τρίτον, για να είναι αποδοτική η χρήση αυτής της τεχνολογίας στη διαχείριση τεχνικών έργων απαιτείται αρκετά λεπτομερής σχεδιασμός. Η συναρμογή του ενιαίου μοντέλου πρέπει να περιέχει όλα τα επιμέρους στοιχεία και να ανταποκρίνεται πλήρως στην πραγματικότητα. Η πληρότητα και η ακεραιότητα του μοντέλου είναι τα στοιχεία που επιτρέπουν την επιτυχημένη διαχείριση του έργου.

Ωστόσο, αν αποφασίσει κανείς να επενδύσει στα παραπάνω, τότε τα οφέλη που θα αποκομίσει από την τεχνολογία αυτή είναι πολλά και σημαντικά. Όπως είδαμε και από την πρακτική εφαρμογή της τεχνολογίας για την προσέγγιση ενός πραγματικού έργου, δηλαδή το σχεδιασμό του μοντέλου και τη χρήση αυτού για τον χρονικό προγραμματισμό και την κοστολόγηση, επιτυγχάνονται τα ακόλουθα.

- Οπτικοποίηση του έργου, τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά, πριν από την έναρξη της κατασκευής του, γεγονός που βοηθά στη γενικότερη διαχείριση των επιμέρους εργασιών.
- Εύκολη προσαρμογή των μελετών σε οποιαδήποτε αλλαγή στο σχεδιασμό, το χρονικό προγραμματισμό ή τον οικονομικό προϋπολογισμό του έργου.
- Μεγαλύτερη ταχύτητα και ακρίβεια στον χρονικό προγραμματισμό και την κοστολόγηση ενός έργου.
- Πρόβλεψη και επίλυση κατασκευαστικών προβλημάτων πριν αυτά εμφανιστούν στην οικοδομή.
- Καλύτερη εποπτεία του έργου, καθώς ο χρονικός προγραμματισμός λειτουργεί ως σημείο αναφοράς για την εξέλιξη των εργασιών.
- Καλύτερη διαχείριση των οικονομικών πόρων, καθώς ο σχεδιασμός σε 5D παρέχει δεδομένα και πληροφορίες χρήσιμα για τις κοστολογικές απαιτήσεις στη διάρκεια της κατασκευής.

5.2 Προτάσεις και μελλοντική εξέλιξη

Γενικότερα στη βιομηχανία των κατασκευών, η εφαρμογή της τεχνολογίας BIM προτιμάται σε τεχνικά έργα μεγάλης κλίμακας, όπως αεροδρόμια, εμπορικά κέντρα κ.α. Ωστόσο, όπως είδαμε από τη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, το BIM προσφέρει πολλαπλά οφέλη και βελτιώνει την αποδοτικότητα των κατασκευών ακόμα και σε έργα μικρής κλίμακας, όπως είναι μία πολυκατοικία.

Αυτό που εμφανίζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον είναι η παρακολούθηση της επίδρασης του BIM σε βάθος χρόνου, δηλαδή δεκαετιών, που έχει σε ένα έργο. Το BIM πρόκειται για μία σχετικά νέα τεχνολογία, η οποία υποστηρίζεται πλήρως από τεχνικά μέσα μόλις τα τελευταία χρόνια. Επομένως, δεν έχει αποτυπωθεί πλήρως η σημαντικότητά του κατά τη φάση λειτουργίας του έργου και σε βάθος ετών. Ορισμένα ερωτήματα που διατυπώνονται είναι το κατά πόσο το BIM μπορεί να συμβάλλει στην επίλυση κατασκευαστικών προβλημάτων που εμφανίζονται λόγω παλαιότητας, κατά πόσο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις ολικής ανακατασκευής ή και αλλαγής χρήσεως ενός κτιρίου και άλλα που ενδεχομένως θα εμφανίσει ο χρόνος. Αυτοί είναι προβληματισμοί που απασχολούν έντονα του ειδικούς και πιθανώς τα επόμενα

χρόνια να έχουμε τις απαντήσεις. Άλλωστε, σκοπός του BIM είναι να συνοδεύει κάθε κατασκευή και να διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη διαχείρισή της για όλο τον κύκλο ζωής της.

Η υιοθέτηση της τεχνολογίας BIM, όσον αφορά τον ελληνικό χώρο, βρίσκεται αρκετά πίσω συγκριτικά με άλλες χώρες. Πιο αναλυτικά, η χρήση της τεχνολογίας αυτής πραγματοποιείται μόνο από ορισμένες μεγάλες κατασκευαστικές εταιρείες και εφαρμόζεται μόνο σε έργα μεγάλης κλίμακας, όπως για παράδειγμα η ανάπλαση του Ελληνικού. Παρατηρείται μία γενικότερη έλλειψη εξειδικευμένων ατόμων που ασχολούνται με την τεχνολογία BIM, γεγονός που οφείλεται στην απειρία του ανθρώπινου δυναμικού. Θεωρείται αναγκαίο για τη χώρα να πραγματοποιήσει το τεχνολογικό αυτό “άλμα” και να μεταπηδήσει σε νέες μεθόδους που αυξάνουν την αποδοτικότητα των κατασκευών. Ιδιαίτερα σε μία περίοδο για τη χώρα που η οικοδομή ανθίζει, η ανάγκη υιοθέτησης καινοτόμων τεχνολογιών είναι πιο επιτακτική από ποτέ.

Βιβλιογραφία

Η μεθοδολογία της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας ακολουθεί την τεχνολογία που αξιοποιείται από την Κ. Δήμητρα Ανδρίτσου, ΥΔ στον Τομέα Τοπογραφίας – Γνωστικού Αντικειμένου Κτηματολογίου υπό την επίβλεψη της καθηγήτριας Κ. Χρυσής Πότσιου, καθώς πηγάζει από τις τεχνικές που παρουσιάστηκαν από την ίδια στο μάθημα ‘Διαχείριση Κτιριακής Πληροφορίας και Αξίες Αστικών Ακινήτων’, ενώ ταυτόχρονα βασίζεται στις εργασίες που έχει εκπονήσει και δημοσιεύσει σε διεθνή περιοδικά.

- ✓ Συνδυασμός BIM και προτύπου LADM για τη δημιουργία μίας ενδεικτικής 3D κτηματολογικής βάσης, βασισμένη στην Ελληνική Νομοθεσία. Τα BIM μοντέλα, εμπλουτισμένα με 3D ιδιοκτησίες, ενσωματώνονται σε μία ανοιχτή πλατφόρμα σε συνδυασμό με μία εννοιολογική βάση δεδομένων διαχείρισης γης. Η πρόταση αυτή τονίζει τη διαπερατότητα των δεδομένων BIM/IFC. (Andritsou, D., Gkeli, M., Soile, S., Potsiou, C., 2022: A BIM/IFC – LADM Solution Aligned to the Greek Legislation. *Int Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, ISPRS Congress, WGIV/10, vol. XLIII-B4-2022XXIV).
- ✓ Εφαρμογή μίας οικονομικής και προσιτής μεθοδολογίας στηριζόμενη στην αξιοποίηση ανοιχτών και διαθέσιμων 2D δεδομένων για τη δημιουργία μίας γεωχωρικής αστικής κτιριακής υποδομής, με στόχο τη σύνθεση ενός μελλοντικού Ψηφιακού Διδύμου μίας αστικής γειτονιάς. (Andritsou, D., Soile, S., Potsiou, C. (2023). Merging BIM, Land Use and 2D Cadastral Maps into a Digital Twin Fit – For – Purpose Geospatial Infrastructure. *Recent Advances in 3D Geoinformation Science*. DOI: 10.1007/978-3-031-43699-4).
- ✓ Ψηφιακή αναπαράσταση και προσομοίωση μίας αστικής γειτονιάς μέσω της αξιοποίησης AI τεχνικών και πραγματικών μετεωρολογικών δεδομένων. Προσομοίωση καιρικών συνθηκών από πραγματικά δεδομένα και εκπόνηση υπολογισμών ενεργειακής κατανάλωσης για κάθε διαμέρισμα. Η μεθοδολογία αυτή αποσκοπεί στη δημιουργία σεναρίων και βιώσιμης κτιριακής διαχείρισης. (Andritsou, D., Alexiou, A., Potsiou, C. (2024) BIM, 3D Cadastral Data and AI for Weather Conditions Simulation and Energy Consumption Monitoring. <https://www.mdpi.com/2073-445X/13/6/880>.)

-
- ✓ Δημιουργία μίας ανοιχτής, cloud-based, διαδραστικής πλατφόρμας με σκοπό τη 3D ιδιοκτησιακή καταγραφή, οπτικοποίηση και επεξεργασία. Ανοιχτή πλατφόρμα CadaSPACE για την 2D κτηματολογική καταγραφή και τη 3D οπτικοποίηση, επεξεργασία και κατηγοριοποίηση ογκομετρικών ιδιοκτησιών, μέσω ανοιχτών διαδικτυακών ιστοσελίδων, επιμέρους portals και στατιστικά στοιχεία. (Andritsou, D., Potsiou, C. (2024) CadaSPACE: A Cloud Based Platform for a low – cost 3D visualization of property rights available in a 2D cadastral registry. An example for urban multi – storey buildings <https://isprs-annals.copernicus.org/articles/X-4-W5-2024/25/2024/>

Καραδήμου Π., (2021): “BIM: τι είναι και πως υλοποιείται σε κτίρια και έργα υποδομών”, 02/07/2021, [ecopress.gr. https://ecopress.gr/bim-ti-einai-to-bim-kai-pos-ylopoieitai-se-ktiria-kai-erga-ypodomon/](https://ecopress.gr/bim-ti-einai-to-bim-kai-pos-ylopoieitai-se-ktiria-kai-erga-ypodomon/)

Κατσιμπόκης Γ., (2021): “Building Information Modeling (BIM). Η θέση της Ελλάδας στο ψηφιακό τοπίο του μέλλοντος”, 02/06/2021, BUILDING INFORMATION MODELING (BIM): REVOLUTIONIZING THE CONSTRUCTION INDUSTRY, 6th Delphi Economic Forum.

Κεφεκε Μ., (2014): “Εφαρμογές BIM στη Διαχείριση Τεχνικών Έργων με χρήση των λογισμικών REVIT και NAVISWORKS”, Διπλωματική Εργασία.

Μαντόγιαννης Β., (2016): “Χρονικός Προγραμματισμός και Κοστολόγηση Τεχνικών Έργων με τη χρήση της τεχνολογίας του Building Information Modeling (BIM)”, Διπλωματική Εργασία.

Στεργίου Ν., (2019): “Η χρήση των BIM στη φάση κατασκευής τεχνικών έργων. Εφαρμογή στο έργο Σχεδιασμός, προμήθεια υλικών και κατασκευή 3^{ης} δεξαμενής LNG στη Ρεβυθούσα”, Διπλωματική Εργασία.

Φαρμάκης Δ., (2019): “Building Information Modeling (BIM): Ορισμός, τα οφέλη και οι εφαρμογές”, 23/01/2019, Digital Construction. <https://digitalconstructions.eu/en/dcp-blog/130-building-information-modeling-bim->

Abdelhai N., (2022): “Integration BIM and Emerging Technologies in Architectural Academic Programs”, 24/08/2022, IntechOpen, <https://www.intechopen.com/chapters/83255>

Azeem Ashraf M., Maekele Tsegay S., (2022): “STEM Education – Recent Developments and Emerging Trends”.

Davis D., 2011: “The MacLeamy curve”, 15/10/2011
<https://www.danieldavis.com/macleamy/>

Eastman C., (1975): “The use of computers instead of drawings in building design”, March, AIA Journal, Volume 63, Number 3, p. 46-50.

Eischet O., Kaduma L., (2023): “BIM Maturity Levels Explained”, 26/01/2023, specter automation insights. <https://medium.com/specter-automation-insights/bim-maturity-levels-explained-922060c163ef>

Ellis G., (2023): “The Evolution of BIM Dimensions: 3D, 4D, 5D & beyond”, 21/12/2023, Autodesk. <https://www.autodesk.com/blogs/construction/bim-dimensions/>

Gerbert P., Castagnino S., Rothballer C., Renz A., Filitz R., (2016): “The Transformative Power of Building Information Modeling – Digital in Engineering and Construction”, 08/03/2016, The Boston Consulting Group.

Giel B., Issa R., (2013): “Return of Investment Analysis of Using Building Information Modeling in Construction”, Journal Computing in Civil Engineering, Volume 27, Issue 5.

Glucroft W., Kinkartz S., (2020): “Berlin’s new airport: A story of failure and embarrassment”. <https://www.dw.com/en/berlins-new-airport-finally-opens-a-story-of-failure-and-embarrassment/a-55446329>

Hamil S., (2021): “BIM dimensions – 3D, 4D, 5D, 6D BIM explained”, 09/09/2021, National BIM Standard. <https://www.thenbs.com/knowledge/bim-dimensions-3d-4d-5d-6d-bim-explained>

Jones R., (2022): “A Brief History of the Construction Industry”, 04/03/2022, Trimble Inc, <https://constructible.trimble.com/construction-industry/a-very-brief-history-of-the-construction-industry>

Kavya, (2023): “Global BIM Adoption around the world”.
<https://www.novatr.com/blog/bim-adoption-around-the-world-global-overview>

Marwah K., (2023): “Top Pros & Cons of BIM Technology: Is it Worth Implementing?”, AEO Design Consultants.

McPartland R., (2014): “BIM Levels explained”, 01/11/2014, National BIM Standard, <https://www.thenbs.com/knowledge/bim-levels-explained>

Ocean J., (2024): “Top 10 benefits of BIM”, 18/01/2024, Revizto SA. <https://revizto.com/en/top-benefits-of-bim/>

Zweifel T., (2023): “Berlin Brandenburg Airport Fiasco: What’s in the Black Box?”. <https://www.linkedin.com/pulse/berlin-brandenburg-airport-fiasco-whats-black-box-zweifel>

Autodesk, (2022): “Levels of Development: Enabling coordination and collaboration”, <https://www.autodesk.com/solutions/bim-levels-of-development>

Bimspot, (2022): “BIM Interoperability in the AEC industry” <https://www.bimspot.io/blogs/bim-interoperability-aec-industry/>

Bimspot, (2023): “Advantages of BIM”. <https://www.bimspot.io/blogs/the-advantages-of-bim/>

Enscape, (2022): “BIM VS CAD, A Quick Overview of BIM vs CAD Softwares and their Applications”, 05/01/2022, <https://enscape3d.com/bim-management/bim-vs-cad/>

Excelize, (2023): “BIM Standards and why are they important?”, 17/01/2023, <https://excelize.com/blog/bim-standards-and-why-are-they-important/>

National BIM Standard (United States), (2023): “About the National BIM Standard – United States V4”, National Institute of Building Sciences, <https://www.nationalbimstandard.org/>

Summit Fleet, (2024): “The Construction Industry: Everything You Need to Know”, <https://summitfleet.com/blog/construction-industry/>

United BIM, (2023): “Everything to Know About Level of Development (LOD) in BIM”, <https://www.united-bim.com/bim-level-of-development-lod-100-200-300-350-400-500/>