



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

## Εφαρμογή τεχνολογιών Πληροφοριακού Μοντέλου Έργου (BIM) για την κατασκευή φράγματος από σκληρό επίχωμα

---



Χριστίνα Α. Νασίκα

Επιβλέπων: Σπύρος Ν. Μίχας

Υπεύθυνος: Νίκος Μαμάσης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Νοέμβριος 2016



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

# Εφαρμογή τεχνολογιών Πληροφοριακού Μοντέλου Έργου (BIM) για την κατασκευή φράγματος από σκληρό επίχωμα

Χριστίνα Α. Νασίκα

Επιβλέπων: Σπύρος Ν. Μίχας

Υπεύθυνος: Νίκος Μαμάσης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Νοέμβριος 2016

Το περιεχόμενο της ανά χείρας διπλωματικής εργασίας αποτελεί προϊόν της δικής μου πνευματικής προσπάθειας. Η ενσωμάτωση σε αυτήν υλικού τρίτων, δημοσιευμένου ή μη, γίνεται με δόκιμη αναφορά στις πηγές, που δεν επιτρέπει ασάφειες ή παρερμηνείες.

# Πρόλογος

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας κ. Σπύρο Ν. Μίχα για τις ώρες που αφιέρωσε στην προσπάθειά μας, και την πολύτιμη καθοδήγησή του. Επίσης τον ευχαριστώ που με την ιδέα του για αυτή τη διπλωματική με εισήγαγε σε έναν τόσο ενδιαφέροντα κλάδο που διαφορετικά πιθανόν να μην είχα την ευκαιρία να γνωρίσω.

Επίσης, ευχαριστώ τον κ. Νίκο Μαμάση, Επίκουρο Καθηγητή του Ε.Μ.Π. και υπεύθυνο της διπλωματικής μου εργασίας, για τη στήριξή του και τις χρήσιμες συμβουλές του.

Ευχαριστώ τον κ. Οδυσσέα Καρασαχινίδη, Πολιτικό Μηχανικό στο Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, που συνέβαλε καθοριστικά στην υλοποίηση της εργασίας, παρέχοντας απαραίτητα αρχεία στα οποία βασίστηκε η εργασία.

Αυτή η εργασία σημαίνει όμως και την ολοκλήρωση των σπουδών μου στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.

Έτσι, θα ήθελα να ευχαριστήσω τις αγαπημένες φίλες μου, που δεν θα αναφέρω ονομαστικά διότι έχω την τύχη να είναι πολλές. Με αγκάλιασαν κάνοντας τα φοιτητικά μου χρόνια χαρούμενα και συναρπαστικά, και με ανέχτηκαν όταν οι απαιτήσεις αυτής της Σχολής και αυτής της εργασίας ξεπέρασαν τα όρια της ψυχραιμίας μου.

Τέλος, και σημαντικότερα, ευχαριστώ την οικογένειά μου· την αγαπημένη μου αδερφή Ασημίνα Νασίκα, και τους γονείς μου Θάνο Νασίκα και Ελένη Μπούρα, των οποίων οι κόποι για αυτές τις σπουδές δύσκολα οριοθετούνται, και ξεκινούν πολλά χρόνια πριν. Κάθε μικρή ή μεγάλη επιτυχία μου, είναι πρωτίστως δική τους.

Χριστίνα Α. Νασίκα



# Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή.....	1
1.1 Σύνοψη .....	1
1.2 Αντικείμενο και στόχος της εργασίας .....	1
1.3 Διάρθρωση.....	3
1.4 Το Πληροφοριακό Μοντέλο Έργου (BIM) - Ορισμός και Εισαγωγικές έννοιες .....	4
Κεφάλαιο 2. Το Building Information Modeling (BIM) – Σημαντικά Χαρακτηριστικά και Οφέλη της Τεχνολογίας.....	7
2.1 Επίπεδα Οργάνωσης και Ανάπτυξης του Π.Μ.Ε.. (BIM) .....	7
2.1.1 Επίπεδα Ωριμότητας (BIM Maturity Levels).....	7
2.1.2 Επίπεδα Ανάπτυξης Πληροφορίας (Levels of Development LOD) .....	9
2.1.3 Επίπεδα Διαστάσεων (BIM Dimension Levels).....	11
2.2 Η ζωή πριν και μετά το BIM.....	12
2.2.1 Ο αρχιτεκτονικός, μηχανικός, κατασκευαστικός κλάδος μέχρι σήμερα. ....	12
2.2.2 BIM και Διαδικασία Ολοκληρωμένου Σχεδιασμού (IPD).....	13
2.2.3 Διαχείριση Εγκαταστάσεων σε επίπεδο Κύκλου Ζωής Έργου (Facility Lifecycle Management).....	16
2.3 Τα οφέλη του BIM .....	18
2.3.1 Αύξηση Παραγωγικότητας: .....	18
2.3.2 Δομημένη Πληροφορία .....	20
2.3.3 Εκτίμηση Κόστους .....	22
2.3.4 Συνεργασία και διαλειτουργικότητα (interoperability) .....	23
2.4 Η μεθοδολογία BIM στα έργα υποδομής.....	25
2.4.1 Η χρήση του BIM στις κατασκευές υποδομής.....	26
2.4.2 Γιατί το BIM δεν έχει αφομοιωθεί πλήρως στην κατασκευή έργων υποδομής	27

2.4.3	Τα οφέλη του BIM στα έργα υποδομής .....	28
2.4.4	Ενσωμάτωση γεωχωρικής πληροφορίας στο Πληροφοριακό Μοντέλο Έργου (BIM και GIS) .....	29
Κεφάλαιο 3. Η μεθοδολογία BIM στην πράξη. ....		31
3.1	Εφαρμογή της μεθοδολογίας BIM ανά τον κόσμο – Κρατικές και Διεθνείς Πρωτοβουλίες. ....	31
3.1.1	Ο ρόλος του δημόσιου και του ιδιωτικού τομέα στην διάδοση της μεθοδολογίας BIM .....	32
3.1.2	Ηνωμένες Πολιτείες .....	32
3.1.3	Ηνωμένο Βασίλειο .....	33
3.1.4	Σκανδιναβικές χώρες.....	34
3.1.5	Πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Ένωσης.....	35
3.1.6	Το BuildingSMART και η ανάπτυξη των προτύπων IFC και COBie. ....	36
3.1.7	Η κατάσταση στην Ελλάδα .....	38
3.2	Συστήματα Ταξινόμησης .....	40
3.2.1	Το σύστημα ταξινόμησης OmniClass .....	42
Κεφάλαιο 4. Παρουσίαση τεχνολογικών εργαλείων και λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε (Autodesk Revit και Navisworks) .....		44
4.1	Εισαγωγή .....	44
4.2	Autodesk Revit .....	45
4.2.1	Αυτοματοποίηση των αλλαγών (Bidirectional Associativity) .....	46
4.2.2	Κοινόχρηστη βάση δεδομένων-συνδεδεμένα υπό-μοντέλα (Worksharing) .....	46
4.2.3	Διασυνδεσιμότητα (Interoperability) .....	47
4.2.4	Παραμετρική Μοντελοποίηση .....	47
4.2.5	Κλάδοι του Revit (Revit Architecture, Structure, MEP).....	49
4.2.6	Βασική Ορολογία .....	51

4.2.7	Φάσεις του Έργου - Project Phases.....	54
4.2.8	Συστήματα Ταξινόμησης στο Revit .....	56
4.3	Autodesk Navisworks Manage.....	57
4.3.1	Συνοπτική περιγραφή της λειτουργίας του Navisworks.....	57
4.3.2	Φωτορεαλιστική Οπτικοποίηση του έργου και περιήγηση σε πραγματικό χρόνο. 58	
4.3.3	Εντοπισμός και Διαχείριση Παρεμβολών και Συγκρούσεων (Clash Detection and Interference checking and Management) .....	59
4.3.4	Προσομοίωση Χρονοδιαγράμματος Κατασκευής και 4D Modeling .....	60
4.4	Λοιπά τεχνολογικά εργαλεία BIM.....	62
Κεφάλαιο 5. Μελέτη Περίπτωσης.....		65
5.1	Σημείωση .....	65
5.2	Επιλογή τεχνικού έργου- Το φράγμα Βαλσαμιώτη .....	65
5.3	Παραδοχές μελέτης περίπτωσης.....	67
5.3.1	Τα περιεχόμενα του μοντέλου .....	67
5.3.2	Επίπεδο Ανάπτυξης και Επίπεδο λεπτομέρειας (LOD) .....	68
5.3.3	Επίπεδο ωριμότητας (BIM Maturity Level) .....	69
5.3.4	Επίπεδο Διαστάσεων (BIM Dimension Level) .....	69
5.3.5	Λογισμικό.....	69
5.3.6	Φάσεις (Phases) .....	70
5.4	Βήματα για την δημιουργία Πληροφοριακού Μοντέλου Φράγματος.....	71
5.4.1	Αρχική επιφάνεια.....	71
5.4.2	Εκσκαφές .....	72
5.4.3	Εκτροπή .....	74
5.4.4	Στοές και Σήραγγες.....	74
5.4.5	Σώμα φράγματος .....	76



5.4.6	Σύστημα υπερχείλισης .....	77
5.4.7	Σύστημα Υδροληψίας-Εκκένωσης και Ανάντη Μανδύας Στεγανότητας .....	77
5.4.8	Έργα στέψης, οδοποιίας, φωτισμού και οικίσκος παρακολούθησης .....	78
5.4.9	Οικογένειες και παράμετροι .....	80
5.5	Βήματα για τη δημιουργία του χρονοδιαγράμματος κατασκευής του φράγματος .....	83
5.5.1	Εισαγωγή .....	83
5.5.2	Δομή Ανάλυσης Εργασιών - Work Breakdown Structure (WBS).....	83
5.5.3	Χρονοδιάγραμμα Κατασκευής .....	84
5.5.4	Δυναμική σύνδεση χρονοδιαγράμματος με 3D σχέδιο.....	86
5.5.5	Προσομοίωση Κατασκευής .....	89
5.6	Εξαγωγή στοιχείων προμέτρησης σε περιβάλλον Navisworks (Quantification) .....	91
Κεφάλαιο 6. Συμπεράσματα .....		96
6.1	Τα πλεονεκτήματα της εφαρμογής του Πληροφοριακού Μοντέλου Έργου (BIM) ..	96
6.2	Εμπόδια και προκλήσεις που σχετίζονται με την εφαρμογή του BIM. ....	98
6.3	Η εφαρμογή του BIM σε φράγμα από σκληρό επίχωμα .....	100
6.4	Σημεία Βελτίωσης και Μελλοντική Έρευνα.....	103
Κεφάλαιο 7. Αναφορές .....		104
7.1	Βιβλιογραφικές Αναφορές .....	104
7.2	Ιστοσελίδες .....	105
Παράρτημα Α. WBS .....		107
Παράρτημα Β. Χρονοδιάγραμμα Κατασκευής σε MS Project.....		114
Παράρτημα Γ. Quantification (Εξαγωγή Προμετρητικών στοιχείων από το Navisworks σε φύλλο εργασίας Excel) .....		130

# Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1-1 Ο κύκλος του Building Information Modeling (Φαρμάκης 2013) .....	5
Εικόνα 2-1 Επίπεδα Ανάπτυξης Πληροφορίας (Levels of Development) (LOD Specification 2013) .....	10
Εικόνα 2-2 Διαχείριση Εγκατάστασης σε επίπεδο Κύκλου Ζωής (Facility Lifecycle Management).....	18
Εικόνα 2-3 Αριστερά: Ανταλλαγή πληροφοριών με στην κατασκευή με μεθοδολογία BIM Δεξιά: Ανταλλαγή πληροφοριών στην κατασκευή με παραδοσιακές μεθόδους. ....	24
Εικόνα 3-1 Στιγμιότυπο οθόνης από την αρχική σελίδα της ιστοσελίδας Level2BIM.org .....	33
Εικόνα 3-2 Η ιστορία των προτύπων IFC από την πρώτη δημοσίευση το 1997 μέχρι την τελευταία το 2010. (buildingsmart.org) .....	36
Εικόνα 3-3 Υπολογιστικό Φύλλο COBie.....	38
Εικόνα 3-4 Το Πληροφοριακό Μοντέλο Έργου του Πολιτιστικού Κέντρου Ίδρυμα Στάυρος Νιάρχος .....	39
Εικόνα 4-1 Worksharing (Πηγή: Autodesk official site).....	47
Εικόνα 4-2 Στατική Ανάλυση και Στατικό Μοντέλο στο Revit Structure (Autodesk official site) .....	50
Εικόνα 4-3 Ηλεκτρολογικός, Μηχανολογικός, Υδραυλικός Σχεδιασμός στο Revit MEP (Autodesk official website) .....	50
Εικόνα 4-4 Στιγμιότυπο οθόνης Revit. Αριστερά: Assembly Code. Δεξιά: Keynotes .....	56
Εικόνα 4-5 Περιήγηση σε πραγματικό χρόνο. . (Autodesk official website).....	58
Εικόνα 4-6 Στιγμιότυπο οθόνης του Autodesk Navisworks κατά την πραγματοποίηση ελέγχου συγκρούσεων με το Clash Detective Tool. (Autodesk official website) .....	59
Εικόνα 4-7 Στιγμιότυπο οθόνης από το εργαλείο TimeLiner του Navisworks. (Autodesk official website) .....	61
Εικόνα 5-1 Το Φράγμα Βαλσαμιώτη (Google Earth).....	66
Εικόνα 5-2 Αριστερά: Project Phases. Δεξιά: Topography Schedule .....	70
Εικόνα 5-3 Αριστερά: τοπογραφικό σχέδιο της περιοχής του φράγματος. Δεξιά: σχέδιο οριζοντιογραφίας εκσκαφών του φράγματος Βαλσαμιώτη. ....	71

Εικόνα 5-4 Η αρχική επιφάνεια στο μοντέλο. Στις ιδιότητες του στοιχείου φαίνονται χαρακτηριστικά όπως η φάση στην οποία δημιουργήθηκε (Phase Created : Existing) το υλικό της και στοιχεία γεωμετρίας.....	72
Εικόνα 5-5 Στιγμιότυπο από την μοντελοποίηση των εκσκαφών. Οι μαύρες κουκίδες αντιστοιχούν σε σημεία με καθορισμένο υψόμετρο .....	73
Εικόνα 5-6 Η χρήση του εργαλείου Pad για τη μοντελοποίηση επίπεδων στοιχείων τοπογραφίας. Στιγμιότυπο μετά την ολοκλήρωση της μοντελοποίησης των εκσκαφών. ....	73
Εικόνα 5-7 Φάση 1: Τα έργα εκτροπής. Φαίνονται ολοκληρωμένες και οι εκσκαφές. ....	74
Εικόνα 5-8 Σήραγγες και στοές αποστράγγισης, στοά τσιμεντενέσεων. Φαίνονται και η στοά εκκένωσης και υδροληψίας καθώς και ο αγωγός εκτροπής. ....	75
Εικόνα 5-9 Κάτοψη Στοών και Σηράγγων. Συμβατικό 2D Σχέδιο CAD. Βλέπουμε πως η περίπλοκη διάταξη των στοών και σηράγγων αποστράγγισης γίνεται πολύ πιο δύσκολα αντιληπτή κοιτώντας το συμβατικό σχέδιο.....	76
Εικόνα 5-10 Μοντέλο του σώματος του φράγματος.....	76
Εικόνα 5-11 Μοντέλο του συστήματος υπερχείλισης .....	77
Εικόνα 5-12 Ο πύργος υδροληψίας, ο θάλαμος, το έργο εισόδου εκκένωσης και ο ανάντη μανδύας στεγανότητας από πλάκα σκυροδέματος. ....	78
Εικόνα 5-13 Αριστερά το αντικείμενο BIM που χρησιμοποιήθηκε για τη μοντελοποίηση των κιγκιδωμάτων στον κατάλογο του RevitCity.com. Δεξιά το αντικείμενο BIM που αναπαριστά το φωτισμό δρόμου στον κατάλογο της βιβλιοθήκης SmartBIM. ....	78
Εικόνα 5-14 Solid Corridor στο object viewer του Civil 3D.....	79
Εικόνα 5-15 Στρώσεις σκληρού επιχώματος. ....	80
Εικόνα 5-16 Family instance parameters. Φαίνεται το παράθυρο των ορισμού των παραμέτρων και η κάτοψη του στοιχείου με κάποιες όπου ορίζονται και κάποιες από τις παραμέτρους γεωμετρίας .....	81
Εικόνα 5-17 Λίστα που δείχνει τον όγκο και το υψόμετρο κάθε στρώσης σκληρού επιχώματος. Παράχθηκε ως schedule.....	82
Εικόνα 5-18 Shared parameters. Αριστερά παράμετρος περίπτωσης (instance). Δεξιά παράμετρος τύπου (type).....	82
Εικόνα 5-19 Εξαγωγή αρχείου NWC από το Revit (σύνδεση με Navisworks).....	86

Εικόνα 5-20 Δυναμική Σύνδεση Χρονοδιαγράμματος που δημιουργήθηκε σε περιβάλλον MS Project με το εργαλείο TimeLiner του Navisworks. ....	87
Εικόνα 5-21 Σύνδεση της γεωμετρίας του μοντέλου με το εργαλείο TimeLiner, μέσω των Selection Sets. ....	88
Εικόνα 5-22 Καρτέλα TimeLiner των Properties. Φαίνονται η εργασία στην οποία αντιστοιχεί το αντικείμενο, και οι προγραμματισμένες ημερομηνίες έναρξης και λήξης. ....	88
Εικόνα 5-23 Στιγμιότυπο από την προσομοίωση κατασκευής. Ποσοστό ολοκλήρωσης εργασιών: 10% ....	90
Εικόνα 5-24 Στιγμιότυπο από την προσομοίωση κατασκευής. Ποσοστό ολοκλήρωσης εργασιών: 10% ....	90
Εικόνα 5-25 Στιγμιότυπο από την προσομοίωση κατασκευής. Ποσοστό ολοκλήρωσης εργασιών: 10% ....	90
Εικόνα 5-26 Αριστερά: Item Catalog Δεξιά: Resource Catalog.....	92
Εικόνα 5-27 Quantification Workbook.....	94

## Περιεχόμενα Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 2-1 Επίπεδα Ωριμότητας (BIM Levels of Maturity) (Κεφεκέ 2014) .....	8
Διάγραμμα 2-2 Η αποδοτικότητα της εργασίας στον κατασκευαστικό κλάδο δεν ακολουθεί την ανοδική πορεία της αποδοτικότητας στους υπόλοιπους κλάδους. (Eastman et al. 2008) .....	13
Διάγραμμα 2-3 Σύγκριση ΔΟΣ (IPD) με παραδοσιακές μεθόδους. (AIA, 2007) .....	15
Διάγραμμα 2-4 Παραγωγή πληροφοριών σε αρχικό στάδιο του έργου με την μεθοδολογία BIM (British Standards Institution & BuildingSMART UK 2010) .....	19
Διάγραμμα 2-5 Αξία των δεδομένων του έργου στην διάρκεια της ζωής του από τη σύλληψη στη λειτουργία. Φαίνεται η απώλεια δεδομένων στη μετάβαση από στάδιο σε στάδιο. (Panaitescu 2015) .....	20

Διάγραμμα 2-6 Καμπύλη McLeamy. Φαίνεται η δυνατότητα αλλαγής στο κόστος ως προς το χρόνο. Στα αρχικά στάδια του σχεδιασμού το κόστος μπορεί να αλλάξει εύκολα ενώ στα επόμενα στάδια η δυνατότητα αυτή μειώνεται. (Panaitescu 2015).....	23
Διάγραμμα 2-7 Χρόνος χρήσης του BIM στα έργα υποδομής και σε όλους τους τύπους έργου (Mc Graw-Hill 2012) .....	26
Διάγραμμα 2-8 Χρήση BIM ανά τύπο έργου. Φράγματα, Λύματα, Σιδηρόδρομοι Μεταφορές και Αεροδρόμια, Ενέργεια, Πάρκα, Επεξεργασία Νερού. (Mc Graw-Hill 2012) .....	26
Διάγραμμα 2-9 Λόγοι μη εφαρμογής BIM στα έργα υποδομής(Mc Graw-Hill 2012) .....	27
Διάγραμμα 2-10 Τα οφέλη του BIM για Τεχνικές Εταιρείες, Εργολάβους, Ιδιοκτήτες (Mc Graw-Hill 2012) .....	28
Διάγραμμα 2-11 Κέρδος από την εφαρμογή του BIM (Return On Investment) (Mc Graw-Hill 2012) .....	29
Διάγραμμα 4-1 Δομή και ιεράρχηση των στοιχείων του Revit. (Autodesk official website) ...	53
Διάγραμμα 4-2 Είδη αντικειμένων (elements) του Revit (Autodesk official website) .....	54
Διάγραμμα 4-3 Χρήση λογισμικών BIM (NBS National BIM Report 2016) .....	64
Διάγραμμα 5-1 Διάγραμμα Gantt σε περιβάλλον MS Project. ....	85

## Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 2-1 Πρόσθετα κόστη που αφορούν τον κατασκευαστικό κλάδο και οφείλονται στην έλλειψη διαλειτουργικότητας. (Eastman et al. 2008) .....	23
Πίνακας 3-1 Χαρακτηριστικά τεσσάρων βασικών ταξινομικών συστημάτων (Πηγή: Afsari & Eastman, 2016).....	41
Πίνακας 4-1 Σύγκριση των δυνατοτήτων του Autodesk Navisworks και Revit στην Ανίχνευση και Διαχείριση Συγκρούσεων. (Κεφεκέ 2014) .....	60
Πίνακας 4-2 Λογισμικά BIM (Στρατήγη 2015) .....	63
Πίνακας 5-1 Λίστα αντικειμένων προμέτρησης .....	93



## Περίληψη

Οι τεχνολογίες Πληροφοριακού Μοντέλου Έργου (BIM) κερδίζουν σταθερά έδαφος στους διεθνείς κλάδους Σχεδιασμού, Διαχείρισης και Κατασκευής Τεχνικών Έργων εισάγοντας επαναστατικές μεθόδους και εργαλεία. Στόχοι της παρούσας εργασίας είναι αφ' ενός η θεωρητική διερεύνηση και παρουσίαση της τεχνολογίας BIM, και αφ' ετέρου η εξέταση των ζητημάτων της πρακτικής εφαρμογής και της αξίας της χρήσης του BIM σε Μεγάλα Έργα Υποδομών, όπως τα φράγματα.

Αρχικά δίνεται ορισμός και περιγραφή του Πληροφοριακού Μοντέλου Έργου (BIM). Αναλύονται η σημασία του BIM στη Διαχείριση Τεχνικών Έργων το Σχεδιασμό και την Κατασκευή, εξετάζονται τα οφέλη και οι αλλαγές στον τρόπο υλοποίησης τεχνικών έργων που συνεπάγεται η χρήση του και καταγράφονται τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά που αφορούν την οργάνωσή του. Εξετάζεται η μέχρι σήμερα χρήση του Π.Μ.Ε.. διεθνώς όσον αφορά τα τεχνικά έργα γενικά, αλλά και τα έργα υποδομής ειδικότερα.

Για την πρακτική εφαρμογή τεχνολογιών BIM στην κατασκευή φράγματος από σκληρό επίχωμα αναπτύσσεται στα πλαίσια της εργασίας Πληροφοριακό Μοντέλο Φράγματος σε περιβάλλον Autodesk Revit. Μελετάται το φράγμα Βαλσαμιώτη Χανίων. Έπειτα επιχειρείται η εφαρμογή BIM 4D, δηλαδή ο χρονικός προγραμματισμός της κατασκευής του φράγματος με χρήση του Autodesk Navisworks. Για το σκοπό αυτό γίνεται σύνδεση του Π.Μ. Revit με το λογισμικό Navisworks, καταρτίζεται και προσομοιώνεται το χρονοδιάγραμμα της κατασκευής. Τέλος εφαρμόζεται τεχνολογία BIM 5D, με την εξαγωγή προμετρητικών στοιχείων και την ενδεικτική κοστολόγηση του έργου σε περιβάλλον Autodesk Navisworks.





## **Abstract**

Building Information Modeling (BIM) technologies are steadily gaining ground within the International sectors of Design, Management and Construction of Technical Projects, suggesting revolutionary methods and tools. The double purpose of this dissertation is the theoretical overview and presentation of BIM technology, and the examination of the practical issues and the value of the implementation of BIM on Large Infrastructure Projects, such as dams.

To begin with, Building Information Modeling has been defined and described. The value of BIM for Project Management, Design and Construction as well as the profits of its use and the changes to the entire project delivery process that BIM is proposing, have been analyzed. The most important elements of organization of BIM have been explained. What is more, the level of international implementation of BIM at the present time has been examined, both for Technical Projects in general, and for Infrastructure Projects specifically.

For the practical implementation of BIM technology on hardfill dam construction, a Building Information Model has been fully developed using Autodesk Revit. The dam examined is Valsamiotis Dam in Chania. The implementation of BIM 4D, that is to say, the incorporation of a time schedule to the project, has been attempted using Autodesk Navisworks. For this purpose the Revit B.I. Model has been linked with Navisworks, so as to create and simulate the time schedule for the construction of the project. Finally, BIM 5D technology has been implemented by extracting quantification elements and performing basic cost estimation of the project in Autodesk Navisworks.



# **Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή**

## **1.1 Σύνοψη**

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται το αντικείμενο που πραγματεύεται η παρούσα διπλωματική με τίτλο «*Εφαρμογή τεχνολογιών Πληροφοριακού Μοντέλου Έργου (BIM) για την κατασκευή φράγματος από σκληρό επίχωμα*». Συγκεκριμένα παρουσιάζονται συνοπτικά το αντικείμενο και ο στόχος της διπλωματικής εργασίας, η διάρθρωσή της και σχόλια για τη διαδικασία σύνταξής της.

## **1.2 Αντικείμενο και στόχος της εργασίας**

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η έρευνα και η μελέτη των εξελίξεων στον τομέα ανάπτυξης Π.Μ.Ε.. (BIM) τόσο από θεωρητικής όσο και από τεχνολογικής άποψης και η εφαρμογή των πλέον σύγχρονων διαθέσιμων μεθοδολογιών και τεχνολογιών BIM σε παράδειγμα ενός σύνθετου τεχνικού έργου υποδομής, εν προκειμένω φράγμα σκληρού επιχώματος και των συναφών αυτού κατασκευών.

Στόχος της εργασίας είναι να εξεταστούν τα οφέλη της ανάπτυξης και εφαρμογής πληροφοριακών μοντέλων στα τεχνικά έργα υποδομής, με παράδειγμα στην περίπτωση φραγμάτων. Για την κατανόηση των πλεονεκτημάτων της ανάπτυξης και εισαγωγής πληροφοριακών μοντέλων έργων στις διαδικασίες μελέτης και κατασκευής, δημιουργήθηκε μοντέλο του φράγματος και των συναφών αυτού έργων, εξετάζοντας τόσο τις δυσκολίες και απαιτήσεις της ίδιας της διαδικασίας ανάπτυξης, όσο και του τρόπου ένταξής του στην παραγωγική διαδικασία μελέτης και κατασκευής.

Η παρούσα εργασία περιλαμβάνει ένα τμήμα βιβλιογραφικής έρευνας και μελέτης του BIM σε θεωρητικό επίπεδο και ένα δεύτερο τμήμα πρακτικής εφαρμογής τεχνολογίας BIM σε μεγάλο έργο υποδομής, και ειδικά, σε μεγάλο φράγμα από σκληρό επίχωμα. Το βασικό κίνητρο που οδήγησε στη μελέτη του Πληροφοριακού Μοντέλου Έργου (BIM), είναι η αντίληψη της σταθερής διάδοσής του στον διεθνή κατασκευαστικό κλάδο τις τελευταίες δεκαετίες. Το BIM προϋποθέτει την εφαρμογή διαδικασιών και τεχνολογιών που διαφέρουν σημαντικά από τις παραδοσιακές που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα αλλά και διεθνώς.

Έτσι κρίθηκε σκόπιμο να γίνει μία έρευνα που θα απαντήσει στα ερωτήματα που παρατίθενται παρακάτω.

- Πως ορίζεται η μεθοδολογία και τεχνολογία BIM, πως διαρθρώνεται και ποια είναι η αξία της εφαρμογής της σε ένα τεχνικό έργο. Ποια είναι τα κίνητρα που οδήγησαν στην ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας, ποια είναι δηλαδή τα προβλήματα που αντιμετωπίζει ο σύγχρονος διεθνής κατασκευαστικός κλάδος, τα οποία υπαγορεύουν την ανάγκη για αλλαγή στις διαδικασίες και τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται. Με ποιο τρόπο το BIM συμβάλει στη αύξηση της αποδοτικότητας και τη βελτίωση της ποιότητας στα τεχνικά έργα. Ποιες είναι οι θεμελιώδεις αλλαγές στη διαδικασία υλοποίησης ενός τεχνικού έργου που προτείνει το BIM
- Σε ποιο βαθμό, και σε ποιες χώρες εφαρμόζεται σήμερα η τεχνολογία BIM, ποια είναι η κατάσταση στην Ελλάδα. Σε ποιο βαθμό κρίνεται αποτελεσματική και προσοδοφόρα η εφαρμογή του BIM από τους φορείς και τους οργανισμούς που έχουν εισάγει την τεχνολογία στις διαδικασίες παραγωγής τους, ή έχουν αναλάβει την οργάνωση, προώθηση και υποστήριξη των τεχνολογιών BIM. Ποιοι είναι οι βασικότεροι φορείς και οργανισμοί που στηρίζουν την εισαγωγή τεχνολογιών BIM στον κατασκευαστικό κλάδο. Επιπλέον, σε ποια έργα χρησιμοποιούνται οι τεχνολογίες, και ειδικά, ποιο είναι το επίπεδο εφαρμογής τους σε έργα υποδομής.
- Ποια είναι τα τεχνολογικά εργαλεία που υποστηρίζουν το BIM, ποιες είναι οι διαφορές τους από τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση της παραδοσιακής διαδικασίας κατασκευής.
- Σε πιο πρακτικό επίπεδο, τι ακριβώς συνεπάγεται η εφαρμογή του BIM. Ποια είναι τα βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν για την εφαρμογή του, και ποια είναι τα αποτελέσματα της διαδικασίας σχεδιασμού και διαχείρισης τεχνικού έργου με BIM.
- Σε ποιο βαθμό κρίνεται αποδοτική η χρήση των τεχνολογιών για την κατασκευή ενός φράγματος. Ποιες δυσκολίες θα αντιμετωπίσουν οι συντελεστές ενός έργου φράγματος κατά την απόπειρα εφαρμογής του BIM, και κατά τη μετάβαση από τις παραδοσιακές μεθόδους που ακολουθούνται σήμερα. Ποιες εργασίες διευκολύνονται και ποιες γίνονται πιο απαιτητικές, ποια είναι τα βασικά πλεονεκτήματα της χρήσης BIM. Ειδικά, τι σημαίνει BIM 3D, BIM 4D, και BIM 5D, και πως υλοποιούνται αυτά.

### 1.3 Διάρθρωση

Στο Κεφάλαιο 1 γίνεται εισαγωγική περιγραφή του αντικειμένου, του σκοπού, και των περιεχομένων της παρούσας εργασίας. Επίσης γίνεται εισαγωγική παρουσίαση της τεχνολογίας Π.Μ.Ε.. (BIM). Δίνεται ο ορισμός του BIM και γίνεται συνοπτική περιγραφή των βασικών αρχών του.

Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται η βιβλιογραφική μελέτη της τεχνολογίας Π.Μ.Ε.. (BIM) και περιγράφονται πιο αναλυτικά τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά της. Τα χαρακτηριστικά δηλαδή που την ορίζουν, και τη διαφοροποιούν από τις παραδοσιακές μεθόδους και εργαλεία σχεδιασμού, κατασκευής και διαχείρισης τεχνικών έργων. Έπειτα γίνεται σε μεγαλύτερο βάθος εξέταση του BIM. Αναφέρονται και επεξηγούνται τα επίπεδα οργάνωσης και ανάπτυξής του, περιγράφεται ο τρόπος που η χρήση του BIM έχει επηρεάσει τον κατασκευαστικό κλάδο διεθνώς, και αναλύονται τα οφέλη και οι δυνατότητες της επαναστατικής αυτής τεχνολογίας. Τέλος γίνεται ειδική αναφορά στο “Horizontal BIM”, ή αλλιώς το Π.Μ.Ε.. για έργα υποδομής.

Στο Κεφάλαιο 3 περιγράφεται η χρήση του BIM διεθνώς. Αναφέρονται χαρακτηριστικά παραδείγματα χωρών όπου η τεχνολογία έχει αναπτυχθεί σημαντικά με τη στήριξη ιδιωτικών ή δημοσίων φορέων. Ακόμη αναφέρονται διεθνείς οργανισμοί που αποσκοπούν στην ανάπτυξη και διάδοση του BIM. Αναλύονται τέλος, δημοφιλή συστήματα ταξινόμησης που περιβάλλουν και υποστηρίζουν την πρακτική εφαρμογή του BIM.

Στο Κεφάλαιο 4 περιγράφονται τα τεχνολογικά εργαλεία που εξυπηρετούν και υποστηρίζουν την εφαρμογή BIM. Γίνεται ειδική εκτεταμένη αναφορά στο λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας, τα προγράμματα δηλαδή Revit και Navisworks της Autodesk, τα οποία αποτελούν και δημοφιλείς επιλογές BIM λογισμικού.

Το Κεφάλαιο 5 αφορά τη Μελέτη Περίπτωσης (Case Study). Παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στα πλαίσια της εργασίας με στόχο την πρακτική εφαρμογή τεχνολογιών BIM σε φράγμα. Παρουσιάζεται η περίπτωση μελέτης (Φράγμα Βαλσαμιώτη) και αναλύονται τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την δημιουργία Πληροφοριακού Μοντέλου Έργου και την υλοποίηση BIM 4D και BIM 5D.

Τέλος, το Κεφάλαιο 6 περιέχει μία ανακεφαλαίωση των σημαντικότερων σημείων της εργασίας, εξαγωγή και ανάλυση συμπερασμάτων από τη βιβλιογραφική έρευνα αλλά και την πρακτική εφαρμογή που υλοποιήθηκε, και κάποιες προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

## **1.4 Το Πληροφοριακό Μοντέλο Έργου (BIM) - Ορισμός και Εισαγωγικές έννοιες**

*«Το Πληροφοριακό Μοντέλο Έργου (BIM) είναι μία ψηφιακή απεικόνιση φυσικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών ενός έργου. Ως τέτοιο, χρησιμεύει ως πηγή διαμοιραζόμενη γνώσης με πληροφορίες σχετικά με το έργο, αποτελώντας μία αξιόπιστη βάση για αποφάσεις κατά τη διάρκεια ζωής του έργου, από τη στιγμή της σύλληψης του και έπειτα. Βασική προϋπόθεση για το BIM είναι η συνεργασία ανάμεσα στους ενδιαφερόμενους, σε διάφορες φάσεις του κύκλου ζωής της εγκατάστασης, με σκοπό αυτοί να εισάγουν, εξάγουν, ανανεώσουν ή να τροποποιήσουν τις πληροφορίες που περιέχονται στο Π.Μ.Ε.. για να υποστηρίξουν ή να καταγράψουν τους ρόλους και τις εργασίες τους.»*

*National Building Information Model Standard (NBIMS) committee.*

Στη διεθνή βιβλιογραφία απαντάται πληθώρα ορισμών για το BIM, οι οποίοι δίνουν αλληλοσυμπληρούμενες ερμηνείες. Ο παραπάνω ορισμός, επικεντρώνεται σε τρία βασικά χαρακτηριστικά του BIM, των οποίων η σημασία χαίρει γενικής αποδοχής.

- α) Για την υλοποίηση του BIM είναι απαραίτητη η ανάπτυξη μίας ψηφιακής απεικόνισης φυσικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών του έργου.
- β) Η συνεργασία ανάμεσα στους ενδιαφερόμενους του έργου είναι βασική προϋπόθεση αλλά και ένας από τους στόχους της ανάπτυξης του BIM.
- γ) Το BIM αφορά το σύνολο του κύκλου ζωής του έργου.

Τα ακρωνύμιο BIM (Building Information Modeling) σημαίνει μοντελοποίηση κατασκευαστικής πληροφορίας. Ορίζεται ως η μέθοδος κατά την οποία ενοποιούνται οι διαδικασίες σχεδιασμού, υλοποίησης και διαχείρισης κτιρίων και άλλων κατασκευών. Ο προτεινόμενος ορισμός της Εθνικής Επιτροπής Προτύπων BIM των Η.Π.Α. (National BIM Standards Committee – NBIMS), ορίζει το Building Information Modeling ως «μια ολοκληρωμένη ψηφιακή αναπαράσταση των φυσικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών

μιας υποδομής». Η εφαρμογή του BIM προϋποθέτει την δημιουργία ενός Πληροφοριακού Μοντέλου Έργου (Π.Μ.Ε.) στο οποίο περιέχονται όλες οι πληροφορίες που αφορούν το έργο (γεωμετρία, στατικές και ηλεκτρομηχανολογικές μελέτες, υλικά, κόστος, χρόνο κατασκευής). Στην Εικόνα 1-1 φαίνεται σχηματικά η ενσωμάτωση όλων των εργασιών που απαιτούνται για τον σχεδιασμό και την υλοποίηση ενός έργου σε ένα Πληροφοριακό Μοντέλο.

Η πρόσβαση στα «έξυπνα» αυτά μοντέλα μπορεί να γίνει ελεύθερη σε όλους τους συντελεστές του τεχνικού έργου ώστε να διευκολύνουν τον συντονισμό μεταξύ των διαφορετικών εργασιών για την κατασκευή του έργου.

Η βασική ιδέα του BIM είναι ο ακριβής, ολοκληρωμένος σχεδιασμός, μελέτη και εικονική κατασκευή του κτιρίου όπως θα κτιστεί, πριν κτιστεί, με σκοπό να επιλυθούν προβλήματα εκ των προτέρων που πιθανόν να προέκυπταν στην πορεία, επιβαρύνοντας το χρόνο, το κόστος και την ποιότητα. Γι' αυτό το λόγο σε κάποιες χώρες η ίδια ολιστική μεθοδολογία μελέτης και κατασκευής ονομάζεται Virtual Design & Construction (VDC).



**Εικόνα 1-1 Ο κύκλος του Building Information Modeling (Φαρμάκης 2013)**

Το BIM έχει χαρακτηριστεί ως τεχνολογία – μεθοδολογία «επαναστατική» για τον κατασκευαστικό κλάδο. Λόγω του πρωτοποριακού χαρακτήρα του BIM που διαφοροποιείται σημαντικά από τις παραδοσιακές μεθόδους υλοποίησης τεχνικών έργων, οι αντιλήψεις που επικρατούν στον διεθνή κατασκευαστικό κλάδο για τη δομή, τις προϋποθέσεις και την χρησιμότητα του BIM είναι συγκεχυμένες. Συχνά απαντάται η λανθασμένη εντύπωση πως το BIM είναι απλά ένα τρισδιάστατο μοντέλο που αναπτύσσεται με τη χρήση προηγμένων τεχνολογικών μοντέλων, ή ότι αφορά μόνο το σχεδιασμό ή μόνο το κομμάτι της Διαχείρισης Τεχνικών Έργων.

Στην πραγματικότητα όμως, η ολοκληρωτική εφαρμογή τεχνολογιών BIM συνεπάγεται όχι μόνο τη χρήση σύγχρονου, προηγμένου λογισμικού και την μετάβαση από τον σχεδιασμό 2 διαστάσεων στο σχεδιασμό 3 διαστάσεων, αλλά τη ριζική και συνολική αλλαγή στον τρόπο εργασίας της ομάδας συντελεστών του έργου. Το BIM τροποποιεί την διαδικασία υλοποίησης ενός έργου αναδιανέμοντας την ποσότητα της εργασίας που καταβάλλεται στα διαφορετικά στάδια υλοποίησης του έργου. Επιπλέον το BIM συνεπάγεται αυξημένες απαιτήσεις όσον αφορά όχι μόνο τον σχεδιασμό, αλλά και την ποιότητα του αποτελέσματος, την δόμηση της πληροφορίας που αφορά την κατασκευή ενώ προτείνει μία εργονομική προσέγγιση της διαδικασίας υλοποίησης του τεχνικού έργου στοχεύοντας στην αύξηση της αποδοτικότητας και τη μείωση της σπατάλης χρόνου και πόρων.

Επιπλέον το BIM αφορά του κύκλου ζωής του έργου, και το σύνολο των εργασιών που σχετίζονται με το έργο. Το BIM προτείνει αλλαγές στον τρόπο κατασκευής και λειτουργίας ενός τεχνικού έργου που αφορούν όλους ανεξαιρέτως τους συντελεστές του έργου, τους αρχιτέκτονες, τους μηχανικούς, τους ιδιοκτήτες ή τους Κυρίους του Έργου, τους υπεύθυνους χρηματοδότησης, λειτουργίας και διαχείρισης της τελικής εγκατάστασης.



## **Κεφάλαιο 2. Το Building Information Modeling (BIM) – Σημαντικά Χαρακτηριστικά και Οφέλη της Τεχνολογίας.**

### **2.1 Επίπεδα Οργάνωσης και Ανάπτυξης του Π.Μ.Ε.. (BIM)**

#### **2.1.1 Επίπεδα Ωριμότητας (BIM Maturity Levels)**

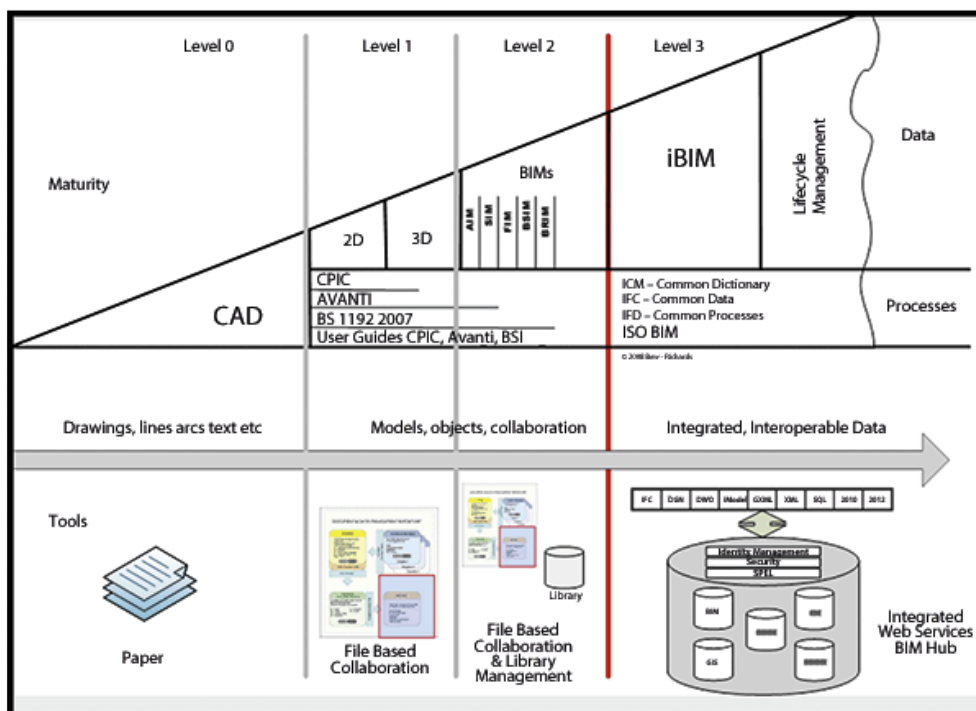
Η ωριμότητα στην ανάπτυξη τεχνολογίας BIM διαρθρώνεται σε 4 υπο-επίπεδα:

- *Επίπεδο 0* : Ο σχεδιασμός γίνεται σε 2 διαστάσεις με τις συμβατικές μεθόδους CAD. Τα παραδοτέα και η διανομή γίνεται συνήθως σε χαρτί και δεν υπάρχει διασυνδεσιμότητα μεταξύ αρχείων. Είναι η πιο απλή μορφή, ξεπερασμένη πλέον από την πλειονότητα των εταιριών που δραστηριοποιούνται σε χώρες που ηγούνται της ανάπτυξης του κλάδου BIM. Η Ελλάδα ωστόσο θεωρείται ότι βρίσκεται στο επίπεδο 0, διότι κατά κανόνα εφαρμόζεται σχεδιασμός 2 διαστάσεων στις μελέτες, ενώ στην κατασκευή δεν έχουν εισαχθεί τεχνολογίες BIM, τόσο από την πλευρά των κατασκευαστών, όσο και από την πλευρά των επιβλεπόντων ή μηχανισμών ελέγχου (δημοσίων και ιδιωτικών). Αυτό μειώνει δραστικά την αποδοτικότητα και την ανταγωνιστικότητα σε διεθνές επίπεδο.
- *Επίπεδο 1*: Υλοποιείται συνήθως ως μία μίξη 2-d και 3-d σχεδιασμού. Τα σχέδια αρχικά παράγονται σε 3-d μορφή αλλά τελικά εξάγονται τα παραδοτέα και η έγκριση σε μορφή 2-d. Ο ηλεκτρονικός διαμοιρασμός των αρχείων γίνεται από τον εκάστοτε ανάδοχο. Επειδή το επίπεδο συνεργασίας είναι ακόμη χαμηλό, το επίπεδο αυτό συχνά αναφέρεται ως "Lonely BIM" (μοναχικό BIM). Στη Μεγάλη Βρετανία οι περισσότερες εταιρίες θεωρείται πως βρίσκονται σε αυτό το επίπεδο και λειτουργούν σύμφωνα με το πρότυπο BS 1192:2007.
- *Επίπεδο 2*: Το ουσιαστικά ξεχωριστό χαρακτηριστικό αυτού του επιπέδου είναι ότι εδώ υπάρχει πια συνεργασία. Όλοι οι συντελεστές αναπτύσσουν υποχρεωτικά αυτόνομα 3d CAD μοντέλα, χωρίς όμως να δουλεύουν σε ένα κοινό μοντέλο. Οι συνεργασία έχει να κάνει με το πως γίνεται η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των συντελεστών. Οι πληροφορίες που αφορούν το κάθε κομμάτι του σχεδιασμού του έργου εξάγονται και διαμοιράζονται σε ένα κοινό τύπο αρχείου, διευκολύνοντας έτσι τον κάθε οργανισμό να συνδυάσει τις πληροφορίες του δικού του μοντέλου με

των υπολοίπων. Έτσι δημιουργείται ουσιαστικά ένα "ομοσπονδιακό" συνολικό μοντέλο BIM αλλά το κάθε υπο-μοντέλο ποτέ δεν χάνει την αυτονομία και την ταυτότητά του διευκολύνοντας περισσότερο το διαμοιρασμό της πληροφορίας παρά την ενοποίησή της. Συνεπώς κάθε λογισμικό που χρησιμοποιείται από τους διαφόρους συντελεστές πρέπει να μπορεί να εξαγει την πληροφορία σε συγκεκριμένες μορφές που έχουν αναπτυχθεί όπως τα IFC (Industry Foundation Classes) και το COBie (Constructions Operations Building information exchange).

- **Επίπεδο 3:** Πρόκειται για την πλέον φιλόδοξη εκδοχή για την εφαρμογή της τεχνολογίας. Στο επίπεδο αυτό όλα τα επιμέρους μοντέλα ενοποιούνται σε ένα ενιαίο μοντέλο το *Πληροφοριακό Μοντέλο Έργου (Π.Μ.Ε.)* το οποίο αποθηκεύεται σε διαδικτυακή κεντρική πλατφόρμα (centralized repository), και είναι προσβάσιμο από κάθε συντελεστή του έργου. Επιτυγχάνεται έτσι τέλεια συνεργασία μεταξύ των κλάδων που αφορούν το έργο. Το επίπεδο αυτό δεν έχει ως τώρα υλοποιηθεί, ενώ όπως αναφέρεται στην ιστοσελίδα του NBS (NBS, BIM Levels explained 2014) υπάρχει μία γενική αμηχανία του κατασκευαστικού κλάδου απέναντι στο BIM Επιπέδου 3 κυρίως λόγω νομικών κωλυμάτων και ζητημάτων ιδιοκτησίας δεδομένων.

Στο Διάγραμμα 2-1 συνοψίζονται τα χαρακτηριστικά των επιπέδων ωριμότητας της μεθοδολογίας BIM.



Διάγραμμα 2-1 Επίπεδα Ωριμότητας (BIM Levels of Maturity) (Κεφεκέ 2014)

## 2.1.2 Επίπεδα Ανάπτυξης Πληροφορίας (Levels of Development LOD)

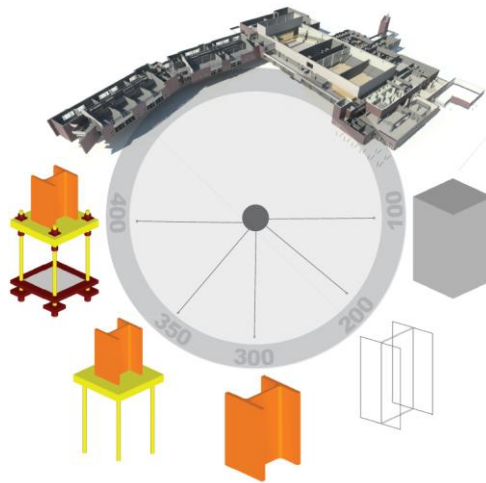
Τα επίπεδα ανάπτυξης της πληροφορίας (LOD) βασίζονται σε πρότυπα αναφοράς που δημιουργήθηκαν από τον οργανισμό BIM Forum το 2011 με στόχο να βοηθήσει τους συντελεστές σε ένα τεχνικό έργο να καθορίζουν τα παραδοτέα BIM και να αποσαφηνίζουν σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής του έργου το επίπεδο πληροφορίας και λεπτομέρειας που απαιτείται. Η διάρθρωση σε επίπεδα BIM γίνεται ως εξής (BIM FORUM 2015):

- *Επίπεδο LOD 100:* Το Στοιχείο μπορεί να αναπαριστάται γραφικά στο Μοντέλο με ένα σύμβολο ή άλλη γενική ή λεπτομερή γραφική αναπαράσταση, αλλά δεν παρέχει με ακρίβεια τις χαρακτηριστικές πληροφορίες που το ορίζουν. Τέτοιες πληροφορίες (π.χ. κόστος, βάρος κλπ) δίνονται κατά προσέγγιση ή δεν δίνονται. Αυτό το επίπεδο εφαρμόζεται σε στάδιο σύλληψης ή κάποιου ανάλογου αναγνωριστικού σταδίου ενός έργου.
- *Επίπεδο LOD 200:* Το Στοιχείο αναπαρίσταται γραφικά στο Μοντέλο ως ένα γενικό σύστημα, αντικείμενο ή ομάδα με προσεγγιστικές ποσότητες, μέγεθος, τοποθεσία, προσανατολισμό. Μη γραφικές πληροφορίες μπορούν ακόμη να επισυνάπτονται στο Στοιχείο του Μοντέλου. Το επίπεδο αυτό αφορά το στάδιο εκπόνησης των μελετών του έργου μέχρι τη δημοπράτηση
- *Επίπεδο LOD 300:* Το Στοιχείο αναπαρίσταται μέσα στο Μοντέλο ως ένα συγκεκριμένο σύστημα, αντικείμενο ή ομάδα με ακριβή ποσότητα, μέγεθος, σχήμα και προσανατολισμό. Μη γραφικές πληροφορίες μπορούν ακόμη να επισυνάπτονται στο Στοιχείο του Μοντέλου. Στο επίπεδο αυτό η μορφή μπορεί να έχει σημαντικές αποκλίσεις όμως τα χαρακτηριστικά δίνονται με συγκεκριμένα όρια σε σχετικές προδιαγραφές, έτσι ώστε να επιλεγεί κατά τη δημοπράτηση ή σε στάδιο κατασκευής ο κατάλληλος προμηθευτής.
- *Επίπεδο LOD 350:* Το Στοιχείο αναπαρίσταται μέσα στο Μοντέλο ως ένα συγκεκριμένο σύστημα, αντικείμενο ή ομάδα με ακριβή ποσότητα, μέγεθος, σχήμα και προσανατολισμό, και συνδέεται με άλλα συστήματα της κατασκευής. Μη γραφικές πληροφορίες μπορούν ακόμη να συνάπτονται στο Στοιχείο του Μοντέλου.
- *Επίπεδο LOD 400:* Το Στοιχείο αναπαρίσταται γραφικά μέσα στο Μοντέλο ως ένα συγκεκριμένο σύστημα, αντικείμενο ή ομάδα με ακριβή ποσότητα, μέγεθος, σχήμα και προσανατολισμό, με λεπτομέρειες, και πληροφορίες για την κατασκευή,

συναρμολόγηση και εγκατάσταση. Μη γραφικές πληροφορίες μπορούν ακόμη να συνάπτονται στο Στοιχείο του Μοντέλου. Το επίπεδο αυτό αφορά την επιλογή που έχει γίνει για την κατασκευή.

- *Επίπεδο LOD 500*: Το Στοιχείο είναι μία αναπαράσταση του πραγματικού στοιχείου έτσι όπως έχει κατασκευαστεί ακριβής σε μέγεθος, σχήμα, τοποθεσία, ποσότητα, και προσανατολισμό. Μη γραφικές πληροφορίες μπορούν ακόμη να συνάπτονται στο Στοιχείο του Μοντέλου. Το επίπεδο αυτό αφορά το τελικώς εγκατεστημένο στοιχείο «όπως κατασκευάστηκε» (as built) και έχει χρήση στη διαχείριση και λειτουργία του έργου

Στην Εικόνα 2-1 απεικονίζεται ένα αντικείμενο BIM στα 5 Επίπεδα Ανάπτυξης Πληροφορίας



Εικόνα 2-1 Επίπεδα Ανάπτυξης Πληροφορίας (Levels of Development) (LOD Specification 2013)

### ***Επίπεδα Ανάπτυξης και Επίπεδα Λεπτομέρειας (Levels Of Development vs. Levels Of Detail)***

Το ακρωνύμιο LOD πολύ συχνά μεταφράζεται ως Level Of Detail (Επίπεδο Λεπτομέρειας) αντί για Level Of Development (Επίπεδο Ανάπτυξης). Υπάρχουν σημαντικές διαφορές. Το Επίπεδο Λεπτομέρειας είναι ουσιαστικά πόση λεπτομέρεια περιλαμβάνεται στο μοντελοποιημένο στοιχείο. Το Επίπεδο Ανάπτυξης είναι ο βαθμός στον οποίο η διαδικασία σχεδιασμού της γεωμετρίας του στοιχείου και της επισυναπτόμενης πληροφορίας έχει προχωρήσει, ο βαθμός στον οποίο οι συντελεστές του έργου μπορούν να βασιστούν στην πληροφορία που υπάρχει στο μοντέλο. (Level of Development Specification 2013)

### 2.1.3 Επίπεδα Διαστάσεων (BIM Dimension Levels)

Ένας ακόμη τρόπος καταμερισμού της τεχνολογίας Π.Μ.Ε.. σχετίζεται με τις διαστάσεις των μοντέλων που αναπτύσσονται. Συναντώνται τα εξής επίπεδα:

- *BIM 3D*: Ο κάθε μελετητής συντάσσει ξεχωριστό 3D μοντέλο (αρχιτεκτονικό, στατικό, ηλεκτρολογικό κλπ) στη λογική του αντικειμενοστραφούς σχεδιασμού. Τα μοντέλα αυτά εξάγονται σε διαλειτουργική μορφή (πχ IFC) και ενσωματώνονται σε πλατφόρμα κοινής διαχείρισης. Η δημιουργία Πληροφοριακού Μοντέλου Έργου προσφέρει τα προνόμια της εύρεσης ασυμβατοτήτων εγκαίρως και της οπτικοποίησης του έργου.  
Η εύρεση ασυμβατοτήτων (clash detection) είναι η σύγκριση των διαφορετικών μελετών (αρχιτεκτονική, στατική, ηλεκτρολογική κλπ) για τον εντοπισμό λαθών που προκύπτουν από την επαλληλία και πιθανή εμπλοκή των διαφορετικών μοντέλων σε πολύ πρώιμο στάδιο του έργου, όταν το κόστος της διόρθωσης είναι ακόμη πολύ μικρό.
- *BIM 4D*: Ορίζεται προσθέτοντας την έννοια του χρόνου στο στοιχείο του μοντέλου. Στο σχεδιασμό με μεθοδολογία BIM 4D ξεκινάμε από το 3D BIM μοντέλο και αντιστοιχίζουμε με ένα χρονοδιάγραμμα κατασκευής. Εφόσον στο Π.Μ.Ε.. είναι δυνατό να απεικονιστούν και προσωρινά στοιχεία όπως ξυλότυποι και δίνεται η δυνατότητα να πραγματοποιηθεί σχεδιασμός και διαχείριση κατασκευής (site logistics construction planning and management). Είναι εφικτό να δημιουργηθούν και να απεικονιστούν σενάρια κατασκευής προσομοιώνοντας τη διαδικασία της κατασκευής και προσφέροντας καλύτερη αντίληψη της κατασκευής στο χώρο.
- *BIM 5D*: Η πέμπτη διάσταση της μεθοδολογίας BIM είναι το κόστος. Κάθε στοιχείο του μοντέλου συνδέεται με το κόστος του και έτσι, έχοντας κατασκευάσει και το χρονοδιάγραμμα της κατασκευής, μπορούν να εντοπιστούν χρονικά τα σημεία της κατασκευής όπου προκύπτουν μεγάλα κόστη.
- *BIM 6D*: Η έκτη διάσταση του BIM θεωρείται η παράδοση στον ιδιοκτήτη ή διαχειριστή, κατά το πέρας του έργου, του μοντέλου εμπλουτισμένου με στοιχεία για το πως υλοποιήθηκε η κατασκευή (as built), εγχειρίδια χρήσης και άλλα λειτουργικά στοιχεία απαραίτητα για τη διαχείριση του έργου μετά την κατασκευή. Έτσι γίνεται η διαχείριση του «κύκλου ζωής» του έργου.

## **2.2 Η ζωή πριν και μετά το BIM**

Το BIM είναι μία από τις περισσότερα υποσχόμενες εξελίξεις στον κατασκευαστικό κλάδο. Επιφέρει επαναστατικές αλλαγές στον τρόπο σχεδιασμού, υλοποίησης, και διαχείρισης ενός έργου.

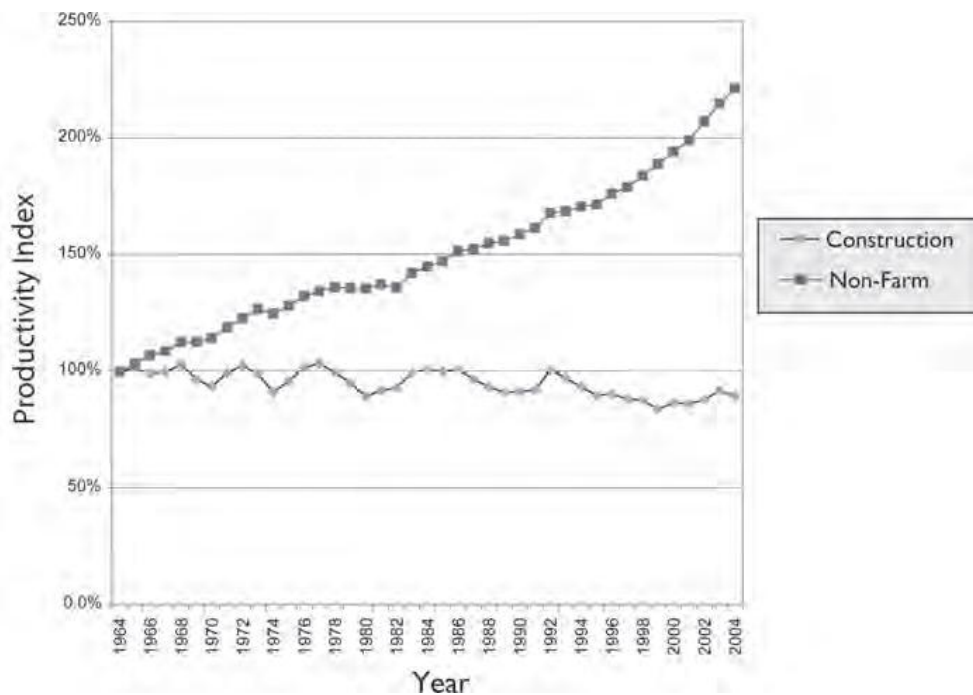
### **2.2.1 Ο αρχιτεκτονικός, μηχανικός, κατασκευαστικός κλάδος μέχρι σήμερα.**

Μέχρι σήμερα, παρά τις φιλόδοξες προσπάθειες ανάπτυξης τεχνολογιών BIM από κάποιους ιδιωτικούς και κρατικούς φορείς, η διαδικασία υλοποίησης ενός έργου παραμένει κατακερματισμένη και η επικοινωνία ανάμεσα στους συντελεστές βασίζεται στο χαρτί. Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι όπως περιγράφονται από τους Eastman et al. 2008, είναι η μέθοδος Σχεδιασμός-Δημοπράτηση-Κατασκευή (Design-Bid-Build, DBB) και η μέθοδος Σχεδιασμός-Κατασκευή (Design-Build, DB).

Στη μέθοδο DBB ο κύριος του έργου, ο μελετητής και ο κατασκευαστής είναι οι τρεις βασικοί συντελεστές στην κατασκευή. Ξεχωριστές συμφωνίες συνάπτονται ανάμεσα στον κύριο του έργου και τον μελετητή, και ανάμεσα στον κύριο του έργου και τον κατασκευαστή. Το βασικό πλεονέκτημα της μεθοδολογίας είναι ότι προάγει τον ανταγωνισμό καταλήγοντας στην χαμηλότερη δυνατή τιμή. Στη μέθοδο DB ο Κύριος του Έργου (ΚτΕ) προσλαμβάνει έναν μελετητή- κατασκευαστή.

Με τις μεθόδους αυτές καταγράφηκαν διεθνώς στον κατασκευαστικό κλάδο σημαντικά προβλήματα όπως καθυστερήσεις, αλλαγές στο σχεδιασμό με συνέπεια σημαντικές υπερβάσεις κόστους, απώλεια πληροφοριών, κακή ποιότητα κατασκευής και άλλα.

Στο Διάγραμμα 2-2 φαίνονται τα αποτελέσματα της έρευνας που πραγματοποιήθηκε από το Center For Integrated Facility Engineering (CIFE) του Stanford University το 2007. Σε μία περίοδο 40 χρόνων, από το 1964 έως το 2004, η αποδοτικότητα της εργασίας σε όλους τους βιομηχανικούς τομείς (συμπεριλαμβανομένου του κατασκευαστικού κλάδου) αυξάνεται σταθερά. Στην ίδια περίοδο όμως, η αποδοτικότητα που αφορά τον κατασκευαστικό κλάδο μόνο δεν ακολουθεί την ίδια ανοδική πορεία, και μάλιστα φαίνεται να έχει μειωθεί κατά 10% από το 1964 στο 2004.



**Διάγραμμα 2-2 Η αποδοτικότητα της εργασίας στον κατασκευαστικό κλάδο δεν ακολουθεί την ανοδική πορεία της αποδοτικότητας στους υπόλοιπους κλάδους. (Eastman et al. 2008)**

### 2.2.2 BIM και Διαδικασία Ολοκληρωμένου Σχεδιασμού (IPD).

Η Διαδικασία Ολοκληρωμένου Σχεδιασμού (ΔΟΣ) (Integrated Project Delivery) είναι η μέθοδος που έρχεται να αντιμετωπίσει τα προβλήματα του κατασκευαστικού κλάδου που περιγράφηκαν παραπάνω. Είναι αυτή που οδήγησε στην ανάπτυξη του BIM, το οποίο αποτελεί στην ουσία εργαλείο για την υλοποίηση της ΔΟΣ.

*“Integrated practice is a holistic approach to building in which all project stakeholders and participants work in highly collaborative relationships throughout the complete facility life cycle to achieve effective and efficient buildings.”*

«Η ολοκληρωμένη πρακτική είναι μία ολιστική προσέγγιση στην κατασκευή στην οποία όλοι οι συντελεστές στο έργο δουλεύουν σε καθεστώς πλήρους συνεργασίας κατά τη διάρκεια ολόκληρου του κύκλου ζωής της εγκατάστασης με στόχο να πετύχουν μία αποδοτική και αποτελεσματική διαδικασία κατασκευής.»

*George Elvin, AIA “Integrated Practice in Architecture”*

Το American Institute of Architects (AIA) ορίζει το IPD ως «μία προσέγγιση στην υλοποίηση του έργου που ενσωματώνει άτομα, συστήματα, επιχειρήσεις, και πρακτικές σε μία

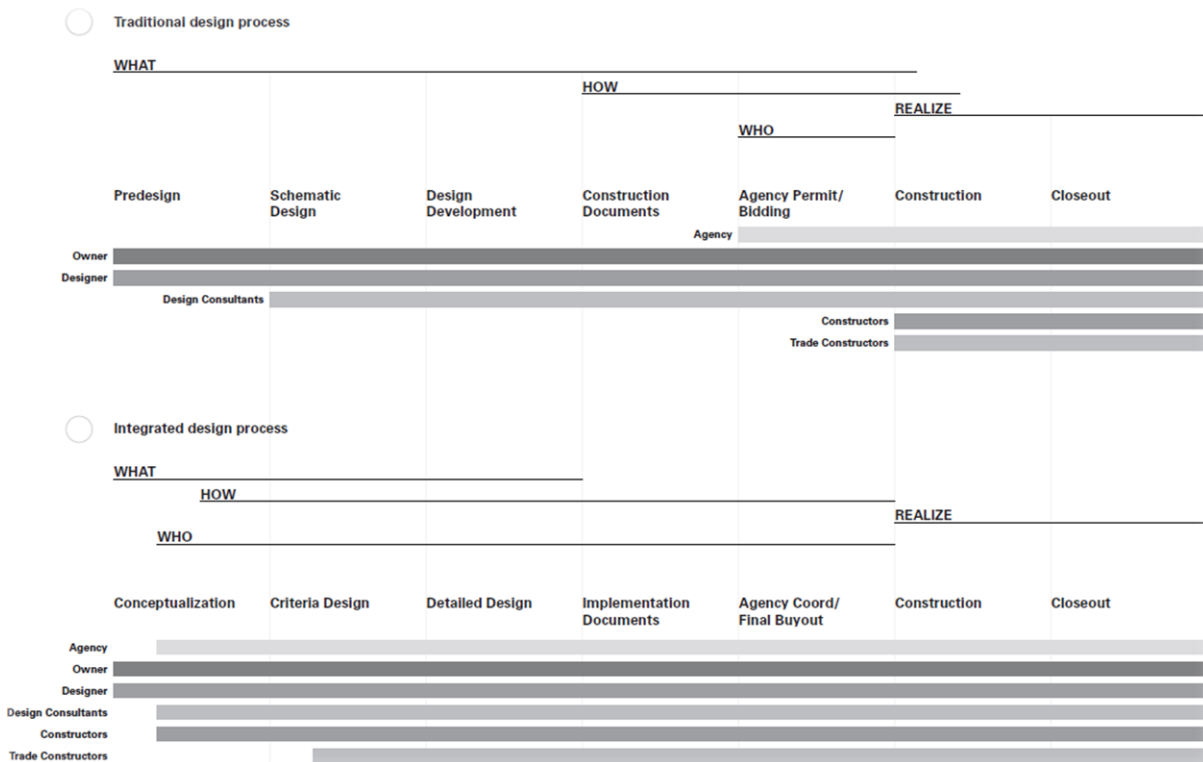
διαδικασία που συλλογικά αξιοποιεί στο έπακρο τα ταλέντα και τις γνώσεις όλων των συντελεστών με στόχο να βελτιστοποιήσει τα αποτελέσματα της εργασίας των, να αυξήσει την αξία του έργου, να μειώσει τη σπατάλη σε χρήματα και χρόνο εργασίας, και να μεγιστοποιήσει την αποδοτικότητα σε όλες τις φάσεις του σχεδιασμού και υλοποίησης.

Σύμφωνα με το " Integrated Project Delivery: A Guide" (AIA) τα βασικά χαρακτηριστικά της ΔΟΣ είναι τα εξής:

- Πλήρως συνεργατικές διαδικασίες που γεφυρώνουν το σχεδιασμό και την κατασκευή
- Αξιοποίηση στο έπακρο και σε αρχικό στάδιο του έργου της προσωπικής συνεισφοράς και εμπειρίας του κάθε συντελεστή.
- Ελεύθερος διαμοιρασμός όλης της πληροφορίας ανάμεσα σε όλους τους ενδιαφερόμενους.
- Η επιτυχία της ομάδας που αναλαμβάνει το έργο είναι άμεσα συνδεδεμένη με την επιτυχία της κατασκευής. Το ρίσκο και οι αμοιβές αναλαμβάνονται από κοινού.
- Αποφάσεις με βάση την αξία (και όχι το κόστος)
- Χρησιμοποίηση στο έπακρο όλων των τεχνολογιών που καθιστούν δυνατή και ευκολότερη την εφαρμογή της ΔΟΣ.

Το ουσιαστικά επαναστατικό χαρακτηριστικό της ΔΟΣ σε σχέση με τους παραδοσιακούς τρόπους σχεδιασμού και κατασκευής έγκειται στην δημιουργία μιας ομάδας που εμπλέκεται από την αρχή σε ολόκληρη διαδικασία από την υλοποίηση μέχρι την κατασκευή και έπειτα. Αντίθετα, στις παραδοσιακές μορφές, η επικοινωνία είναι πολύ περιορισμένη, ενώ η ευθύνη και τα ρίσκα αναλαμβάνονται από διαφορετικούς συντελεστές για διαφορετικά τμήματα του έργου. Αυτό δημιουργεί ανεπάρκειες σε σημεία που η ευθύνη αλλάζει χέρια. Το Διάγραμμα 2-3 συγκρίνει τις παραδοσιακές μεθόδους υλοποίησης ενός τεχνικού έργου με την ΔΟΣ, εστιάζοντας στο χρόνο κατά τον οποίο εισέρχονται στο έργο οι διάφοροι συντελεστές και στο πότε επιλύονται τα διάφορα προβλήματα που αφορούν το σχεδιασμό και την υλοποίηση.





**Διάγραμμα 2-3 Σύγκριση ΔΟΣ (IPD) με παραδοσιακές μεθόδους. (AIA, 2007)**

Τα κίνητρα που οδηγούν στην ανάπτυξη και την εφαρμογή της Διαδικασίας Ολοκληρωμένου Σχεδιασμού στα τεχνικά έργα, και κατ' επέκταση του BIM, όπως αναφέρονται στο White paper της εταιρείας Autodesk σχετικά με την IPD έχουν να κάνουν με τις συνθήκες που επικρατούν και ορίζουν τις διαδικασίες εργασίας στην κατασκευή σήμερα. Συγκεκριμένα, η αυξανόμενη διεθνοποίηση του κατασκευαστικού κλάδου, η ανάγκη για βιώσιμο σχεδιασμό, μεγαλύτερη αποδοτικότητα, καλύτερη ποιότητα, καθώς και η αυξανόμενη πολυπλοκότητα των ίδιων των κατασκευών.

Η Διαδικασία Ολοκληρωμένου Σχεδιασμού (ΔΟΣ) είναι διαφορετική έννοια από το Πληροφοριακό Μοντέλο Έργου (BIM)- η πρώτη είναι μέθοδος και διαδικασία, ενώ η δεύτερη είναι εργαλείο. Βεβαίως έργα που ανταποκρίνονται στα κριτήρια της ΔΟΣ έχουν υλοποιηθεί χωρίς το BIM, και έργα που υλοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας BIM δεν ανταποκρίνονται στην ΔΟΣ. Ωστόσο, τα πλήρη οφέλη αμφότερων των ΔΟΣ και BIM μπορούν να επιτευχθούν μόνο όταν η εφαρμογή τους γίνεται συνδυαστικά.

Η Διαδικασία Ολοκληρωμένου Σχεδιασμού (IDP), είναι ένας όρος που δε συνδέεται κατ' ανάγκη μόνο με το σχεδιασμό οικοδομικών έργων υψηλής ποιοτικής στάθμης. Πρόκειται

για μια ευέλικτη προσέγγιση που μπορεί να εφαρμοστεί σχεδόν σε οποιοδήποτε τύπο έργου και η οποία επιταχύνει τη διαδικασία λήψης αποφάσεων. (Γωνιανάκης 2015)

### **2.2.3 Διαχείριση Εγκαταστάσεων σε επίπεδο Κύκλου Ζωής Έργου (Facility Lifecycle Management)**

Κάθε έργο, ανεξάρτητα από το μέγεθος και το είδος του ακολουθεί τις ίδιες φάσεις κατά τη διάρκεια της ζωής του. Η διαφορά ανάμεσα στα διάφορα έργα βρίσκεται στην προσπάθεια που απαιτείται σε κάθε φάση και στη χρονική της διάρκεια. Οι φάσεις από τις οποίες περνάει ένα έργο, είναι οι εξής: (Παντουβάκης 2012)

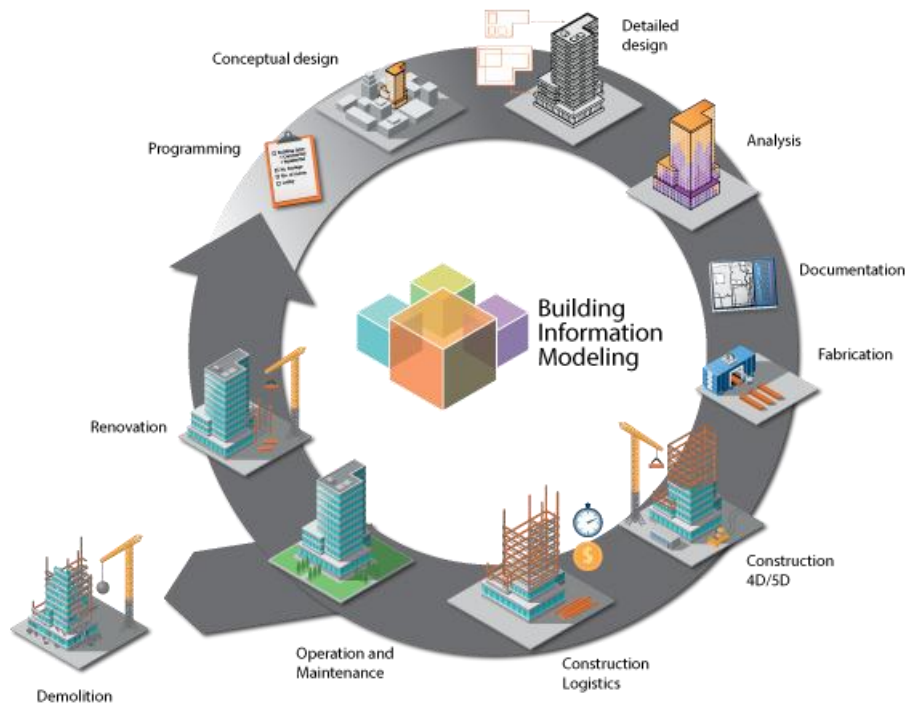
- Σύλληψη του έργου: Καθορισμός της δυνητικής ευκαιρίας ή του προβλήματος που καταδεικνύει την ανάγκη για υλοποίηση ενός έργου, καθορισμός του σκοπού, των κριτηρίων επιτυχίας, και περιγραφή του έργου.
- Εκπόνηση του σχεδίου υλοποίησης του έργου: Καθορισμός και περιγραφή των δραστηριοτήτων που απαιτούνται, εκτίμηση μέσων παραγωγής, κόστους και χρονικής διάρκειας.
- Υλοποίηση του έργου:
  - Παρακολούθηση και έλεγχος του έργου: Μέτρηση κάποιων μεγεθών και σύγκριση με τον σχεδιασμό. Διοίκηση – Διαχείριση αλλαγής που οδηγεί σε κύκλο ανάδρασης με τα προηγούμενα στάδια.
  - Ολοκλήρωση του έργου: Πιστοποίηση ολοκλήρωσης του έργου από τον πελάτη, αρχειοθέτηση του έργου.

Η περιγραφή αυτή του Κύκλου Ζωής ενός τεχνικού έργου, με μικρές διαφορές αλλά σε γενικές γραμμές αυτούσια, κυριαρχεί στη διεθνή βιβλιογραφία που αφορά τη Διαχείριση Τεχνικών Έργων που αφορά τον παραδοσιακό τρόπο σχεδιασμού και κατασκευής. Η ερμηνεία αυτή θέλει τον κύκλο ζωής του έργου να τελειώνει μαζί με το πέρας των εργασιών για την κατασκευή του, και αυτό συμβαίνει επειδή απευθύνεται μόνο στους συντελεστές του έργου που εμπλέκονται στον σχεδιασμό, τη δημοπράτηση και την κατασκευή του. Άλλωστε, αυτή την αντίληψη επιβάλλει ο διαδεδομένος παραδοσιακός τρόπος υλοποίησης τεχνικών έργων Σχεδιασμός-Δημοπράτηση-Κατασκευή (Design-Bid-Build).

Ωστόσο το BIM είναι, όπως έχει ήδη αναφερθεί, ένα εργαλείο που αποσκοπεί στην εφαρμογή Ολοκληρωμένων Λύσεων (Integrated Solutions). Το BIM δηλαδή αντιλαμβάνεται ολόκληρη την ομάδα συντελεστών του έργου, ακόμα και τους συντελεστές εκείνους που αναλαμβάνουν τη λειτουργία, τη συντήρηση, και ακόμη την καθαίρεση του έργου, ως μία ολότητα. Έτσι, η έννοια του Κύκλου Ζωής ενός έργου, στη φιλοσοφία του BIM τροποποιείται, για να περιλάβει περισσότερα στάδια όπως τη Λειτουργία και Συντήρηση, την Ανακαίνιση, τη Καθαίρεση (βλ Εικόνα 2-2). Οι τεχνολογίες BIM αφορούν όλα αυτά τα στάδια του Κύκλου Ζωής του Έργου. Στο Πληροφοριακό Μοντέλο Έργου που κατασκευάζεται, αποθηκεύονται πληροφορίες που χρησιμεύουν σε όλα τα στάδια, ενώ ο χρήστης που φιλοδοξεί να εφαρμόσει BIM καλείται να ανανεώνει και να συμπληρώνει το Π.Μ.Ε.. καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του έργου. Έτσι υλοποιείται η Διαχείριση Εγκατάστασης σε επίπεδο Κύκλου Ζωής, ή αλλιώς Facility Lifecycle Management.

Η υλοποίηση Πληροφοριακού Μοντέλου Έργου που περιέχει πληροφορίες που αφορούν τα στάδια μετά την κατασκευή, και το μοντέλο του έργου «Όπως Κατασκευάστηκε» (“As Built”) κωδικοποιείται ως υλοποίηση BIM 6D (βλ. Παράγραφο 2.1.3).

Αξίζει να αναφερθεί πως στα πλαίσια της διαχείρισης πληροφορίας που αφορά τα στάδια Λειτουργίας και Συντήρησης της Εγκατάστασης, έχει αναπτυχθεί, και χρησιμοποιείται ευρέως, μία Φόρμα Δεδομένων που αφορά αυτές ακριβώς τις πληροφορίες και λέγεται COBie (Construction Operations Building information exchange). Αυτή η φόρμα δεδομένων διευκολύνει την μεταβίβαση πληροφοριών μετά την κατασκευή του έργου στον ΚΤΕ ή τον υπεύθυνο για τη λειτουργία και διαχείριση του έργου. Περισσότερες πληροφορίες για το COBie δίνονται στην παράγραφο 3.1.6.



Εικόνα 2-2 Διαχείριση Εγκατάστασης σε επίπεδο Κύκλου Ζωής (Facility Lifecycle Management)

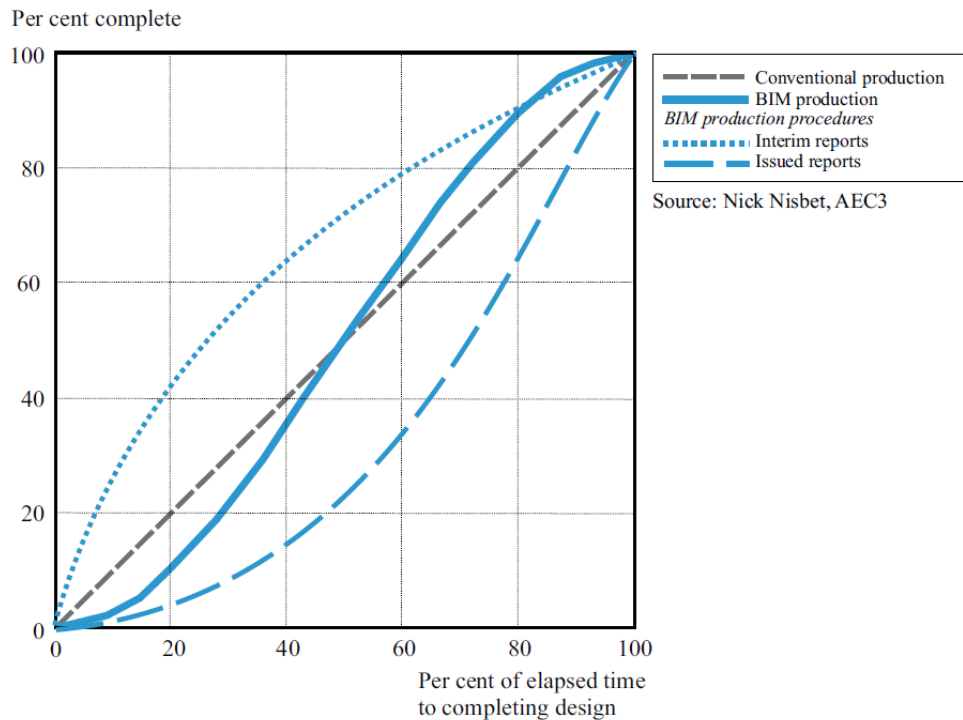
## 2.3 Τα οφέλη του BIM

### 2.3.1 Αύξηση Παραγωγικότητας:

Η αύξηση της παραγωγικότητας με την εφαρμογή τεχνολογιών BIM σε ένα τεχνικό έργο προκύπτει τόσο από την βελτίωση της ποιότητας της παραγόμενης πληροφορίας όσο και από την διευκόλυνση της διάχυσής της στους συντελεστές. Έχει αποδειχθεί ότι ένα μεγάλο μέρος των δαπανών ενός έργου προκύπτουν εξαιτίας της κακής επικοινωνίας, της έλλειψης συντονισμού, της κακής διαχείρισης υλικών και πόρων. Το BIM με τα εργαλεία και τις πρακτικές που προσφέρει έρχεται για να συμβάλει στην εξάλειψη των παραπάνω μη αποδοτικών πρακτικών και να προσφέρει αξία στον κύκλο ζωής ενός έργου. (Στρατήγη 2013)

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα της μεθοδολογίας, είναι ότι καθιστά εφικτή την παραγωγή πληροφοριών νωρίτερα στη διάρκεια του έργου. Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 2-4, καθυστερώντας στο κρίσιμο σημείο λόγω έλλειψης πληροφοριών, η συμβατική μέθοδος σχεδιασμού παρέχει πληροφορίες μόνο προς το τέλος της κάθε φάσης του έργου, ενώ η πληροφορία που παράγεται αρχικά καταστρέφεται και αναδημιουργείται αργότερα.

Ωστόσο η μεθοδολογία Π.Μ.Ε.. (BIM) ευνοεί την «αποθήκευση» της αξίας που δημιουργείται σε κάθε στάδιο ώστε να γίνει αξιοποίησή της στα επόμενα. Επιπλέον με τη χρήση του BIM οι πληροφορίες που αφορούν εννοιολογικές εκτιμήσεις γίνονται διαθέσιμες νωρίτερα. Δίνεται η δυνατότητα να γίνονται ενδιάμεσοι έλεγχοι πιο συχνά, και να υπάρχει αυτοματοποιημένη και γρήγορη ανατροφοδότηση σχετικά με διάφορα σενάρια σχεδιασμού.



**Διάγραμμα 2-4 Παραγωγή πληροφοριών σε αρχικότερο στάδιο του έργου με την μεθοδολογία BIM (British Standards Institution & BuildingSMART UK 2010)**

Χρήσιμα μέτρα για την αξία του BIM είναι η μείωση του αριθμού των αιτήσεων για πληροφορίες (RFIs, Requests for Information), και η μείωση των μεταβολών των εργολαβικών εργασιών (change orders). Ο αριθμός των RFIs σε ένα έργο είναι γενικώς ενδεικτικός της σαφήνειας του σχεδιασμού του έργου (Chelson 2010). Η μείωση των RFIs μεταφράζεται σε μείωση χαμένου χρόνου σε μη παραγωγική εργασία και συνεπάγεται μείωση της σύγχυσης των συντελεστών σχετικά με το σχεδιασμό του έργου. Έτσι ο μειωμένος αριθμός RFI που σημειώνεται στα έργα BIM μπορεί να ερμηνευτεί ως αύξηση της αποδοτικότητας.

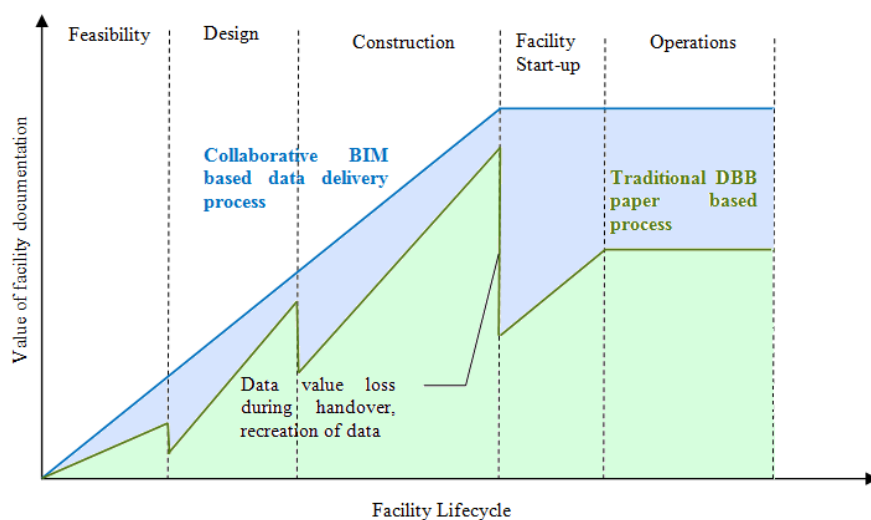
Οι μεταβολές εργολαβικών εργασιών αποτελούν παραδοσιακά για τα έργα έναν από τους σημαντικότερους κινδύνους για εκτροχιασμό του κόστους.

### 2.3.2 Δομημένη Πληροφορία

Η διαδικασία κατασκευής ενός έργου απαιτεί την παραγωγή μεγάλου όγκου πληροφορίας. Η πληροφορία αυτή αφορά διαφορετικά κομμάτια του έργου και παράγεται από πολλούς διαφορετικούς συντελεστές, με αποτέλεσμα να βρίσκεται κατακερματισμένη. Ο δε διαμοιρασμός της πληροφορίας, κατά την συμβατική μέθοδο που εφαρμόζεται στον κατασκευαστικό κλάδο, γίνεται σε χαρτί. Αυτά έχουν ως αποτέλεσμα η πληροφορία να χάνει την αξία της καθώς βρίσκεται σε μορφή που εμποδίζει τη βέλτιστη χρήση της. Η μεθοδολογία Π.Ο.Κ (BIM) επιτυγχάνει καλύτερη δόμηση της παραγόμενης πληροφορίας αυξάνοντας την αξία της.

#### *Ελαχιστοποίηση της απώλειας πληροφορίας*

Από το σχεδιασμό, στην κατασκευή και έπειτα στην λειτουργία ενός έργου οι συντελεστές και οι διαχειριστές ενός έργου αλλάζουν διαρκώς. Και έτσι η πληροφορία που αφορά το έργο είναι εύκολο να χαθεί ή να γίνει αναξιόπιστη λόγω έλλειψης ενημέρωσης με το πέρασμα των χρόνων (βλ. Διάγραμμα 2-5). Η μεθοδολογία Π.Μ.Ε., ωστόσο, προσφέρει τη δυνατότητα να αποθηκεύονται όλα τα δεδομένα που αφορούν το έργο σε μία συνολική κεντρική και προσβάσιμη από όλους τους συντελεστές ψηφιακή βάση, που διευκολύνει την αναβάθμιση και ενημέρωση. Έτσι διευκολύνεται η διαχείριση, ανακαίνιση και επισκευή του έργου και η καταγραφή κάθε πληροφορίας που παράγεται σε όλη τη διάρκεια της ζωής του στο «ζωντανό» αυτό ψηφιακό μοντέλο της κατασκευής.



**Διάγραμμα 2-5** Αξία των δεδομένων του έργου στην διάρκεια της ζωής του από τη σύλληψη στη λειτουργία. Φαίνεται η απώλεια δεδομένων στη μετάβαση από στάδιο σε στάδιο. (Panaitescu 2015)

### ***Τα έξυπνα αντικείμενα του BIM***

Η μεθοδολογία BIM υποστηρίζεται από λογισμικά που εξυπηρετούν τη ανάπτυξη αντικειμενοστραφών μοντέλων. Το χαρακτηριστικό αυτό είναι επαναστατικό και ορίζει μία σημαντική εξέλιξη στο σχεδιασμό τεχνικών έργων. Τα λογισμικά CAD (Computer Aided Design) που χρησιμοποιούνται παραδοσιακά στον κατασκευαστικό κλάδο, έχουν δυνατότητες απλής γραφικής αναπαράστασης γραμμών που συμβολίζουν τα αντικείμενα. Αποσκοπούν δηλαδή στην δημιουργία ενός ψηφιακού μοντέλου τεχνικού σχεδίου. Αντίθετα, τα λογισμικά BIM αναπαριστούν τα ίδια τα αντικείμενα έτσι ώστε να «αντιλαμβάνονται» την ταυτότητά τους, τη λειτουργία τους, τη θέση τους στο χώρο και πολλές άλλες πληροφορίες, ενώ αποσκοπούν στην ψηφιακή προσομοίωση του έργου, και όχι του σχεδίου.

Στα αντικείμενα του BIM αποθηκεύονται όλες οι πληροφορίες που ενδιαφέρουν όλους τους συντελεστές στην υλοποίηση της κατασκευής, μελετητές, κατασκευαστές, προμηθευτές κλπ. Πρόκειται για σύνθετα, μεγάλα και δυναμικά αντικείμενα που έτσι ώστε να περιλαμβάνουν όλες τις διεπιστημονικές και αλληλένδετες πληροφορίες που διαμορφώνονται κατά την μελέτη και υλοποίηση του έργου, και να παρέχουν τη δυνατότητα να αλλάζουν όταν χρειάζεται.

Το πιο σημαντικό και επαναστατικό χαρακτηριστικό των αντικειμένων του BIM είναι η παραμετρική τεχνολογία τους. Η καθοριστική διαφορά με στον παραδοσιακό CAD σχεδιασμό έχει να κάνει με την παραμετρική λειτουργία. Τα έξυπνα αντικείμενα εμπεριέχουν εκτός των άλλων και πληροφορίες που αφορούν τη σχέση τους με τα υπόλοιπα αντικείμενα του μοντέλου. Διαμορφώνονται σχέσεις που καθορίζουν τις δυναμικές ιδιότητες και χαρακτηριστικά κάθε αντικειμένου. Έτσι, διευκολύνεται η αναθεώρηση των σχεδίων ανά πάσα στιγμή με ελάχιστο κόστος. Τα κύρια χαρακτηριστικά ενός παραμετρικού σχεδίου είναι τα εξής σύμφωνα με τους Eastman et al. (2011):

- α) Περιλαμβάνει γεωμετρικό προσδιορισμό και σχετικά δεδομένα και κανόνες.
- β) Η ενσωμάτωση της γεωμετρίας είναι άρτια και δεν επιτρέπει ασυνέπειες.
- γ) Οι παραμετρικοί κανόνες καθορίζουν αυτόματες τροποποιήσεις συνδεδεμένων γεωμετριών, όταν γίνονται αλλαγές σε συνδεδεμένα αντικείμενα.

δ) Τα αντικείμενα ορίζονται σε διαφορετικά επίπεδα συνάθροισης. Κάθε αλλαγή σε ένα υπό-στοιχείο καθορίζει μία αλλαγή και στα ανώτερα ιεραρχικά επίπεδα.

ε) Οι κανόνες των αντικειμένων αναγνωρίζουν μία αλλαγή που καθιστά κάποιο αντικείμενο μη εφικτό (προκύπτει αδύνατο σχήμα κλπ)

στ) Τα αντικείμενα έχουν την ικανότητα να συνδεθούν και να εισάγουν ή εξάγουν ομάδες χαρακτηριστικών προς άλλες εφαρμογές και μοντέλα (δομικά υλικά, ενεργειακά δεδομένα, κλπ)

Τελικά τα βασικά δεδομένα που ένα αντικείμενο BIM μπορεί να ενσωματώσει είναι τα εξής:

α) Γεωμετρία

β) Υλικά (χρώμα υφή όνομα κλπ)

γ) Παραμετρική γεωμετρία, αν όχι σταθερή

δ) Τοποθεσία συνδέσεων και απαιτήσεις σε: στατικά, ηλεκτρικά, υδραυλικά, τηλεπικοινωνιακά και συστήματα εξαερισμού.

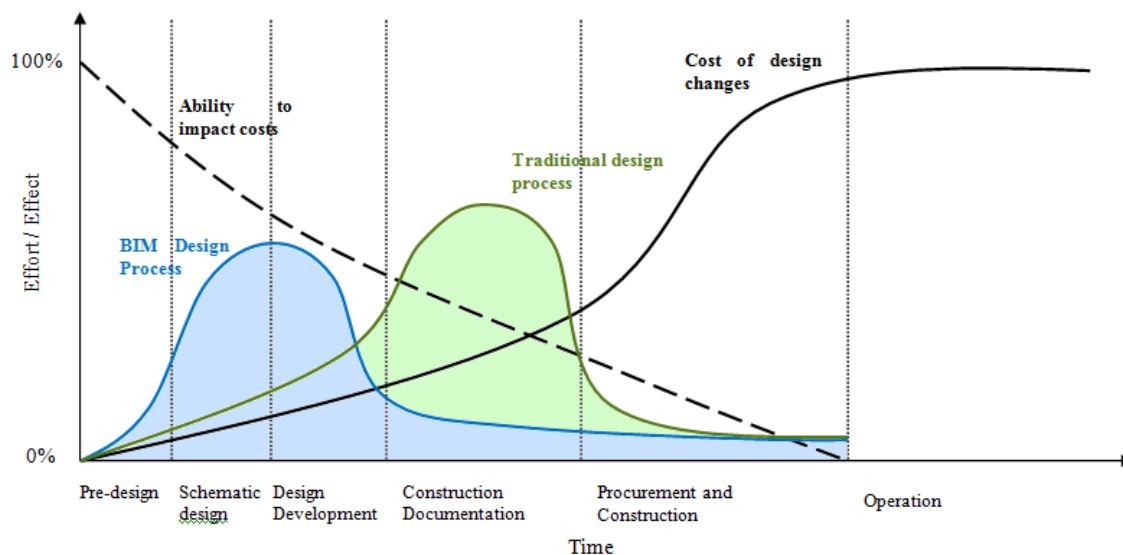
ε) Προδιαγραφές απόδοσης, χρόνος λειτουργίας, κύκλος συντήρησης και άλλες προδιαγραφές.

### **2.3.3 Εκτίμηση Κόστους**

Το Π.Μ.Ε.. παρέχει δυνατότητα ακριβούς εκτίμησης του κόστους. Τα περισσότερα έργα αντιμετωπίζουν δυσκολίες σ' αυτόν τον τομέα. Το κόστος υπερβαίνει κατά πολύ την αρχική εκτίμηση. Το BIM παρέχει εργαλεία για να γίνεται πολύ ακριβέστερη εκτίμηση του κόστους, αφού όλες οι πληροφορίες που χρησιμεύουν στην εκτίμηση κόστους είναι προσαρτημένες στα αντικείμενα του μοντέλου, και ενημερώνονται εύκολα. Ο υπολογισμός των ποσοτήτων γίνεται αυτόματα με ακρίβεια που καθορίζεται από το επίπεδο ανάπτυξης και το επίπεδο λεπτομέρειας που έχει το μοντέλο. Έτσι υπερβαίνεται η πιθανότητα ανθρώπινου λάθους.

Επιπλέον, η μεθοδολογία BIM συνεπάγεται τον προϋπολογισμό του κόστους σε πολύ αρχικό στάδιο στο σχεδιασμό του έργου, όπου είναι και πιο χρήσιμος στη λήψη αποφάσεων, διότι όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 2-6, σ' αυτό το στάδιο είναι ευκολότερο να γίνουν αλλαγές με σημαντική επίδραση στα κόστη. Ο προληπτικός τρόπος με τον οποίο μπορεί να ελεγχθεί η κατασκευή ενός έργου αν είναι διαθέσιμο κατάλληλο πληροφοριακό μοντέλο, επιτρέπει την εκ των προτέρων αποφυγή λαθών και προσαρμογών, κάτι που από μόνο του περιορίζει σημαντικά το κόστος.





**Διάγραμμα 2-6 Καμπύλη McLeamy.** Φαίνεται η δυνατότητα αλλαγής στο κόστος ως προς το χρόνο. Στα αρχικά στάδια του σχεδιασμού το κόστος μπορεί να αλλάξει εύκολα ενώ στα επόμενα στάδια η δυνατότητα αυτή μειώνεται. (Panaitescu 2015)

### 2.3.4 Συνεργασία και διαλειτουργικότητα (interoperability)

**Table 1-1** Additional costs of inadequate interoperability in the construction industry, 2002 (in \$millions).

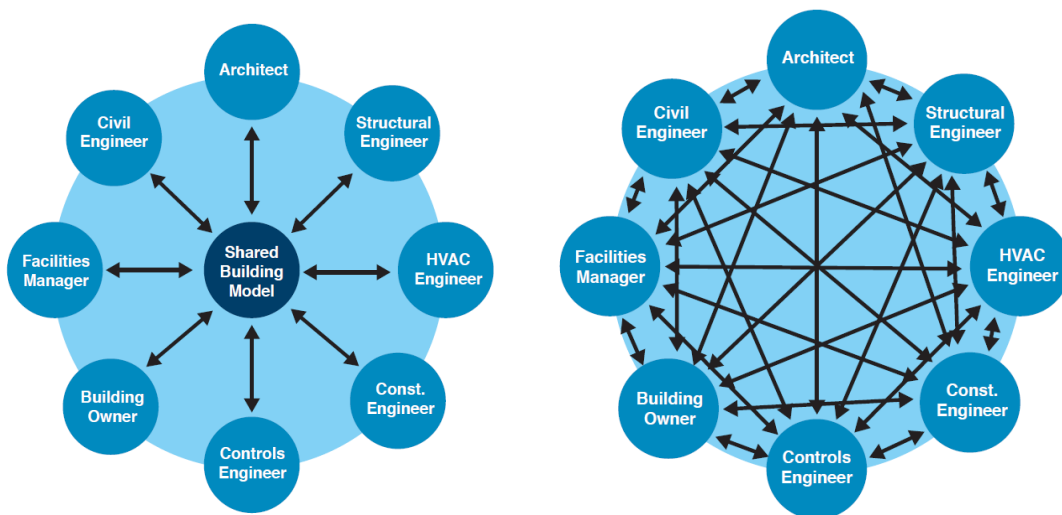
Stakeholder Group	Planning, Engineering, Design Phase	Construction Phase	O&M Phase	Total Added Cost
Architects and Engineers	\$1,007.2	\$147.0	\$15.7	\$1,169.8
General Contractors	\$485.9	\$1,265.3	\$50.4	\$1,801.6
Special Contractors and Suppliers	\$442.4	\$1,762.2		\$2,204.6
Owners and Operators	\$722.8	\$898.0	\$9,027.2	\$1,0648.0
<b>Total</b>	<b>\$2,658.3</b>	<b>\$4,072.4</b>	<b>\$9,093.3</b>	<b>\$15,824.0</b>
Applicable sf in 2002	1.1 billion	1.1 billion	39 billion	n/a
Added cost/sf	\$2.42/sf	\$3.70/sf	\$0.23/sf	n/a

**Πίνακας 2-1 Πρόσθετα κόστη που αφορούν τον κατασκευαστικό κλάδο και οφείλονται στην έλλειψη διαλειτουργικότητας.** (Eastman et al. 2008)

εμπορικά, βιομηχανικά και διοικητικά κτήρια και εστιάζει σε καινούριες κατασκευές που έλαβαν χώρα κατά το 2002. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως η ανεπαρκής διαλειτουργικότητα ευθύνεται για μία αύξηση του κόστους κατασκευής κατά 6,12\$ για κάθε τετραγωνικό μέτρο καινούριας κατασκευής και 0,32 \$ για κάθε τετραγωνικό μέτρο σε εργασίες λειτουργίας και συντήρησης (operation and maintenance, O&M). Ο Πίνακας 3-1 περιέχει αναλυτικά τα πρόσθετα κόστη σύμφωνα με την έρευνα, και τον συντελεστή που επιβαρύνουν.

Μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις που αντιμετωπίζει ο κατασκευαστικός κλάδος αφορά τη συνεργασία μεταξύ των συντελεστών του έργου. Σύμφωνα με μελέτη που πραγματοποιήθηκε από το National Institute of Standards and Technology (NIST) το επιπλέον κόστος που οφείλεται στην έλλειψη επικοινωνίας και συνεργασίας όσον αφορά τα τεχνικά έργα είναι πολύ σημαντικό. Η έρευνα του NIST περιλαμβάνει

Οι περισσότερες κατασκευές είναι σύνθετα έργα που απαιτούν διεπιστημονική μελέτη. Έτσι για την υλοποίηση για παράδειγμα ενός κτιρίου απαιτείται εργασία από πολιτικούς μηχανικούς, αρχιτέκτονες, μηχανολόγους μηχανικούς, εκτιμητές κόστους και άλλες ειδικότητες. Για να μοιραστεί η πληροφορία που παράγεται απαιτείται επικοινωνία ανάμεσα στα μέρη που κατά τον παραδοσιακό τρόπο σχεδιασμού γίνεται συνήθως μέσω διμερούς επαφής ανάμεσα στους συντελεστές. Η μεθοδολογία BIM καθιστά την συνεργασία ανάμεσα στους συντελεστές πιο άμεση εύκολη και αποτελεσματική. Όλες οι πληροφορίες αποθηκεύονται σε κεντρική πλατφόρμα στην οποία απευθύνονται οι ενδιαφερόμενοι (βλ Εικόνα 2-3).



**Εικόνα 2-3** Αριστερά: Ανταλλαγή πληροφοριών με στην κατασκευή με μεθοδολογία BIM  
Δεξιά: Ανταλλαγή πληροφοριών στην κατασκευή με παραδοσιακές μεθόδους.

Επιπλέον, για να είναι εφικτή η ανταλλαγή πληροφορίας που δημιουργείται από διαφορετικά γραφεία, με λογισμικά διαφορετικών κατασκευαστών, υιοθετήθηκε ένα διεθνές πρότυπο γνωστό ως IFC (ISO PAS 16739:2005, Industry Foundation Classes), το οποίο καθορίζει τον τρόπο κωδικοποίησης όλων των πληροφοριών που αποθηκεύονται σε ένα αντικείμενο BIM.

Με αυτό τον τρόπο, οι διάφοροι συντελεστές ενός έργου, εφόσον χρησιμοποιούν ένα λογισμικό συμβατό με το πρότυπο IFC ( όπως τα λογισμικά Revit και Navisworks που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία), έχουν πρόσβαση σε όλες τις πληροφορίες του

έργου, τις οποίες μπορούν να χρησιμοποιούν άμεσα, χωρίς επαν-εισαγωγή στοιχείων και χωρίς απώλειες στην ακρίβεια ή σε άλλα στοιχεία του σχεδιασμού.(Περισσότερες πληροφορίες για τα πρότυπα IFC παρατίθενται στην παράγραφο 2.5.6)

## **2.4 Η μεθοδολογία BIM στα έργα υποδομής**

Η μεθοδολογία BIM έχει τεθεί σε εφαρμογή σε αρκετές χώρες διεθνώς, με διάφορα επίπεδα θεσμικής ενσωμάτωσης και διαφορετικές μεθοδολογίες. Ωστόσο η υιοθέτηση της τεχνολογίας BIM αφορά κυρίως κτιριακά έργα. Η χρήση της μεθοδολογίας σε κτίρια αποκαλείται και “vertical BIM” δηλαδή BIM που αφορά κατασκευές που ξεκινούν από το έδαφος και κατασκευάζονται κατακόρυφα. Η σημαντική ανάπτυξη της τεχνολογίας που υποστηρίζει Πληροφοριακά Μοντέλα Κτιρίων είναι προφανής από τα λογισμικά. Για παράδειγμα στο Autodesk Revit η κατασκευή συνήθων δομικών και άλλων στοιχείων κτιρίων διευκολύνεται σημαντικά. Υπάρχουν ειδικά εργαλεία για την μοντελοποίηση αντικειμένων όπως τοίχοι, παράθυρα, πόρτες, κολώνες, σωλήνες κλπ.

Ωστόσο, τα προτερήματα της μεθοδολογίας αφορούν κάθε είδος έργου. Όροι όπως “horizontal BIM”, “heavy BIM”, “Civil Information Modeling (CIM)”, περιγράφουν τη μεθοδολογία εφαρμοσμένη σε έργα υποδομής και μεγάλα έργα πολιτικού μηχανικού όπως δρόμοι, αεροδρόμια, σήραγγες, έργα επεξεργασίας νερού και λυμάτων, φράγματα και άλλα. Βέβαια στους τομείς αυτούς, η εξέλιξη της τεχνολογίας BIM είναι αρκετά καθυστερημένη σε σχέση με την κατασκευή κτιρίων, και έχει εφαρμοστεί σε πολύ μικρότερο βαθμό. Παρόλα αυτά το BIM για έργα υποδομής κερδίζει έδαφος διαρκώς και τα οφέλη της είναι εμφανή.

## 2.4.1 Η χρήση του BIM στις κατασκευές υποδομής

Source: McGraw-Hill Construction, 2012



**Διάγραμμα 2-7 Χρόνος χρήσης του BIM στα έργα υποδομής και σε όλους τους τύπους έργου (Mc Graw-Hill 2012)**

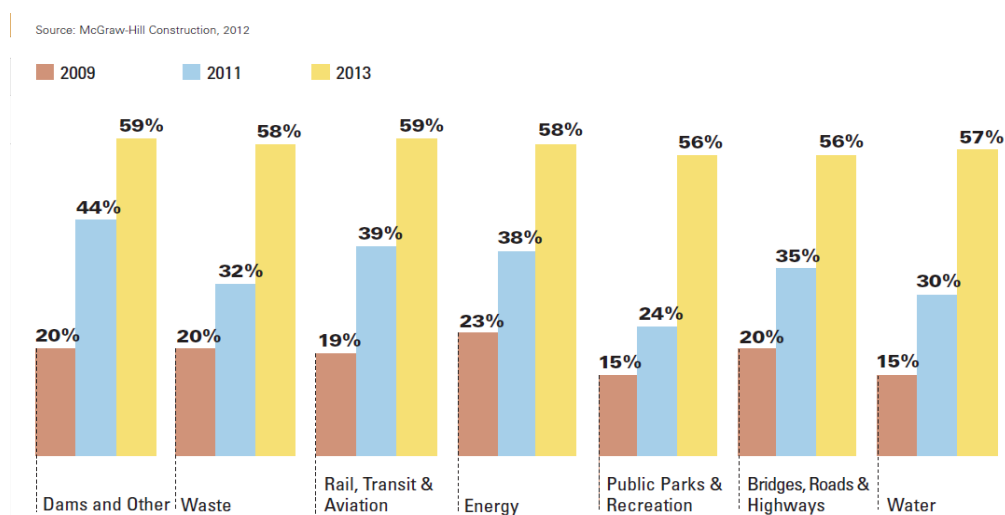
BIM” όταν εκείνο είχε πρωτοεμφανιστεί.

Σύμφωνα με έρευνα που πραγματοποιήθηκε το 2012 από τον οργανισμό Mc Graw-Hill Construction, το BIM για έργα υποδομής είναι 3 με 4 χρόνια πίσω από το BIM για κτίρια από άποψης εφαρμογής και τεχνολογίας (βλ. Διάγραμμα 2-7)

Ένα από τα πιο σημαντικά ευρήματα της έρευνας είναι το συμπέρασμα πως η εκτεταμένη χρήση της μεθοδολογίας στην κατασκευή κτιρίων επηρεάζει, διευκολύνει και αυξάνει την πιθανότητα να χρησιμοποιηθεί και το BIM σε έργα υποδομής. Το συμπέρασμα αυτό είναι σημαντικό γιατί ενδεχομένως σημαίνει πως η υιοθέτηση του BIM για έργα υποδομής από τις εταιρείες θα γίνει σε γρηγορότερους ρυθμούς από την υιοθέτηση του “vertical

BIM” όταν εκείνο είχε πρωτοεμφανιστεί.

Το ποσοστό συντελεστών έργων υποδομής που χρησιμοποιούν μεθοδολογία διαφέρει ελαφρώς στα διαφορετικά είδη έργων. Στο Διάγραμμα 2-8, φαίνονται τα ποσοστά χρήσης του BIM ανά τύπο έργου, όπως μετρήθηκαν το 2009, το 2011 και το 2013. Όπως φαίνεται τα ποσοστά που αφορούν τα φράγματα είναι σχετικά υψηλά.



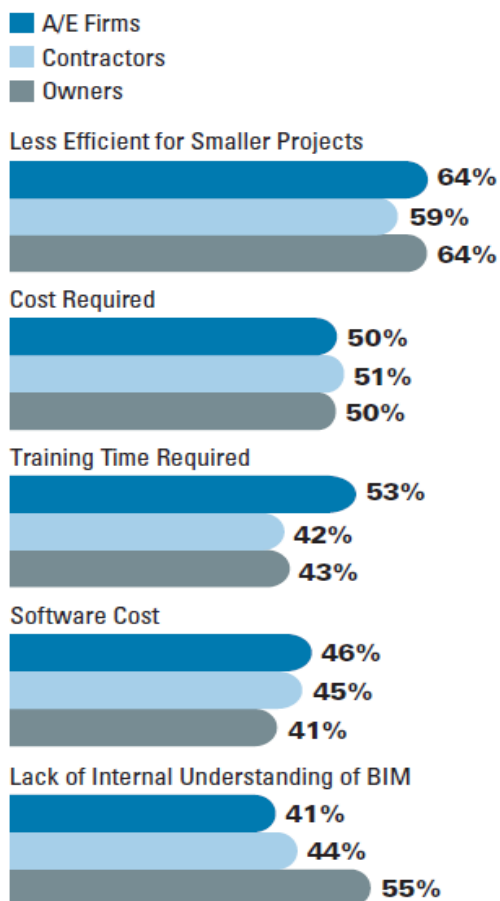
**Διάγραμμα 2-8 Χρήση BIM ανά τύπο έργου. Φράγματα, Λύματα, Σιδηρόδρομοι Μεταφορές και Αεροδρόμια, Ενέργεια, Πάρκα, Επεξεργασία Νερού. (Mc Graw-Hill 2012)**

## 2.4.2 Γιατί το BIM δεν έχει αφομοιωθεί πλήρως στην κατασκευή έργων υποδομής

Όπως έχει αναφερθεί η εφαρμογή του BIM στο σχεδιασμό, υλοποίηση και διαχείριση έργων υποδομής δεν έχει αφομοιωθεί και αναπτυχθεί στο βαθμό που έχει αναπτυχθεί το BIM για κτιριακά έργα. Οι αιτίες αυτού, έχουν να κάνουν με την ιδιαίτερη φύση των έργων υποδομής και διαφέρουν για τις διαφορετικές ομάδες συντελεστών στα τεχνικά έργα. Ο οργανισμός Mc Graw-Hill Construction στη μελέτη που έχει προαναφερθεί, κατέληξε στο παρακάτω διάγραμμα (βλ. Διάγραμμα 2-9) που δείχνει τις βασικές αιτίες της καθυστέρησης εφαρμογής του BIM στα έργα υποδομής όπως αυτές αναδείχθηκαν από τεχνικές εταιρείες, εργολάβους και ιδιοκτήτες τέτοιων έργων.

Ο σημαντικότερος λόγος φαίνεται να έχει να κάνει με την αντίληψη που θέλει το BIM να

Source: McGraw-Hill Construction, 2012



Διάγραμμα 2-9 Λόγοι μη εφαρμογής BIM στα έργα υποδομής(Mc Graw-Hill 2012)

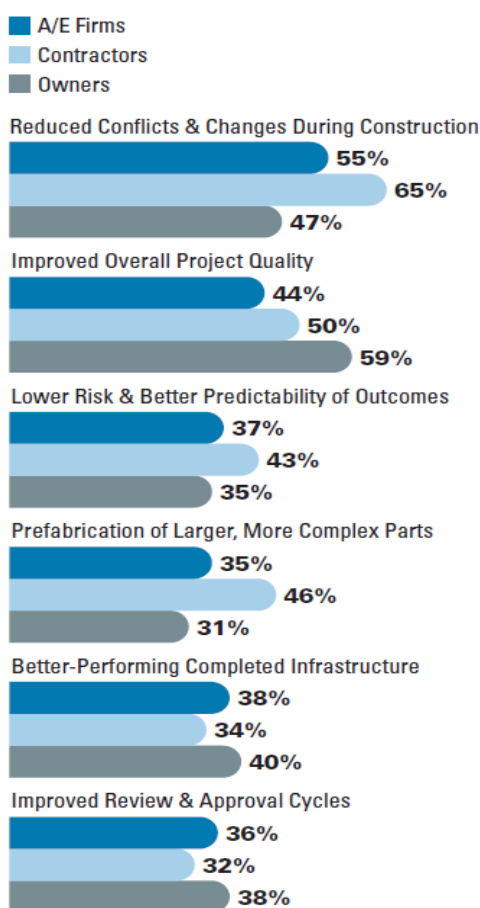
είναι λιγότερο αποδοτικό στα έργα υποδομής μικρού μεγέθους. Αυτή η πεποίθηση είναι εμφανής και στα δεδομένα που προκύπτουν από την έρευνα για το ποιες εταιρείες κατασκευής έργων υποδομής έχουν εφαρμόσει BIM. Οι μικρές και μεσαίες εταιρείες φαίνεται να έχουν μικρότερο βαθμό εφαρμογής σε σχέση με τις μεγαλύτερες.

Άλλοι λόγοι που αποτρέπουν τους συντελεστές των έργων υποδομής να εφαρμόσουν τη μεθοδολογία είναι η εκτίμηση πως τα κόστη της εφαρμογής είναι πολύ μεγάλα, ο χρόνος εκπαίδευσης που απαιτείται την καθιστά ασύμφορη, το λογισμικό είναι ακριβό, και πως δεν υπάρχει κατανόηση της μεθοδολογίας του BIM. Η σημασία που αποδίδεται στον κάθε παράγοντα διαφέρει για τις τεχνικές εταιρείες, τους εκάστοτε Κυρίους του Έργου (ΚΤΕ) και τους

κατασκευαστές.

Όσον αφορά τους παράγοντες που ενθάρρυναν τις εταιρείες που ήδη εφαρμόζουν τη μεθοδολογία, πέρα από τα γενικότερα ωφέλη που προσφέρει έχουν να κάνουν κυρίως με έξωθεν πιέσεις. Οι ιδιοκτήτες πολλών από τα έργα υποδομής είναι κρατικοί και δημόσιοι φορείς που σε πολλές περιπτώσεις απαιτούν το σχεδιασμό των έργων με BIM εξαρχής. Άλλες εταιρείες ξεκινούν τη χρήση του BIM αφού την έχουν εφαρμόσει ήδη σε κτιριακά έργα και ανακαλύπτουν χαρακτηριστικά και εργαλεία χρήσιμα σε έργα υποδομής.

### 2.4.3 Τα οφέλη του BIM στα έργα υποδομής



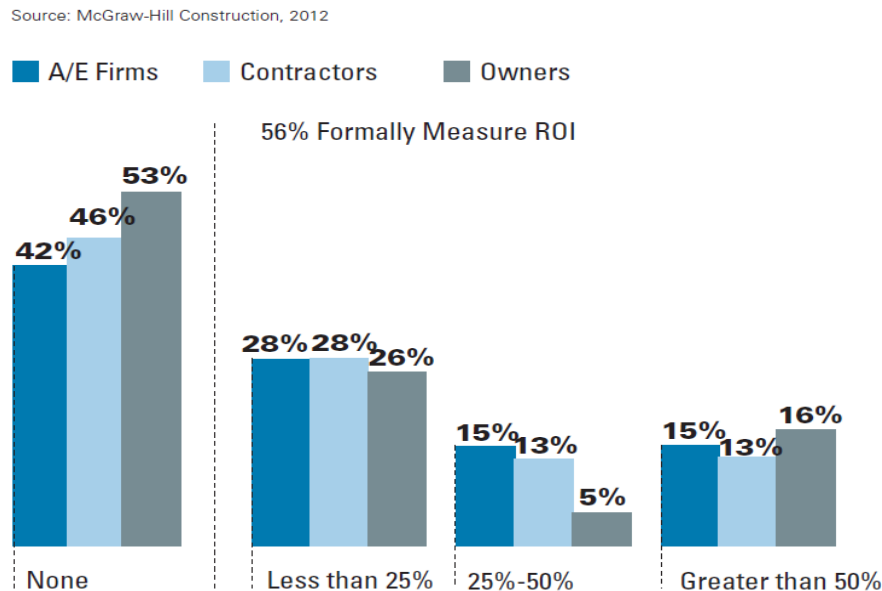
**Διάγραμμα 2-10 Τα οφέλη του BIM για Τεχνικές Εταιρείες, Εργολάβους, Ιδιοκτήτες (Mc Graw-Hill 2012)**

Τα οφέλη του BIM έχουν περιγραφεί αναλυτικά σε προηγούμενο κεφάλαιο. Όλες οι αρχές και τα χαρακτηριστικά της μεθοδολογίας παραμένουν ίδια και τα οφέλη που αφορούν τα κτιριακά έργα αφορούν και όλους τους τύπους του έργου. Τα κυριότερα έχουν να κάνουν με τη βελτίωση της συνεργασίας, τη βελτίωση του τρόπου ανταλλαγής πληροφοριών, τη βελτίωση του τρόπου αποθήκευσης δεδομένων, την εύρεση σφαλμάτων στο σχεδιασμό σε αρχικό στάδιο όπου η διόρθωση είναι εύκολη, την εικονική κατασκευή του έργου πριν την πραγματική κατασκευή για λόγους οπτικοποίησης και παρουσίασης αλλά και για τον εντοπισμό πιθανών προβλημάτων.

Σύμφωνα με την έρευνα του οργανισμού Mc Graw-Hill Construction, κατά την οποία διερωτήθηκαν χρήστες του BIM σε έργα υποδομής τα οφέλη που φαίνεται να αντλούνται είναι η μείωση των αλλαγών και των διαφωνιών κατά την κατασκευή, η αύξηση της ποιότητας του έργου γενικά, η μείωση του ρίσκου, η εικονική προκατασκευή, η καλύτερη

λειτουργία του έργου μετά την ολοκλήρωσή του και η καλύτερη συνολική εποπτεία του έργου (βλ. Διάγραμμα 2-10). Βέβαια και εδώ διαφορετικά οφέλη αφορούν περισσότερο διαφορετικούς συντελεστές του έργου.

Πρέπει εδώ να αναφερθεί πως η επίσημη μέτρηση του κέρδους που προκύπτει από την υιοθέτηση τεχνολογίας BIM φαίνεται στο Διάγραμμα 2-10.



**Διάγραμμα 2-11 Κέρδος από την εφαρμογή του BIM (Return On Investment) (Mc Graw-Hill 2012)**

Σύμφωνα με την ίδια μελέτη τα κέρδη φαίνεται να αυξάνονται με το βαθμό εκπαίδευσης του προσωπικού στην τεχνολογία BIM και την εμπειρία του κάθε χρήστη, ενώ για την συντριπτική πλειονότητα των αρχάριων σημειώνεται ζημία.

#### **2.4.4 Ενσωμάτωση γεωχωρικής πληροφορίας στο Πληροφοριακό Μοντέλο Έργου (BIM και GIS)**

Τα έργα υποδομής είναι στενά συνδεδεμένα με το περιβάλλον στο οποίο κατασκευάζονται. Το BIM προσφέρει τη δυνατότητα να συλλεχθούν, να αναλυθούν και να αποθηκευτούν μεγάλες ποσότητες δεδομένων απαραίτητων για να συνδέονται τα σχέδια με το γύρω περιβάλλον. Οι εξελίξεις στο τρόπο δημιουργίας μοντέλων έργων υποδομής αξιοποιούν τεράστιες ποσότητες πληροφοριών που σχετίζονται με το περιβάλλον του έργου και τους περιορισμούς του. Το BIM χρησιμοποιεί παραμετρικούς μηχανισμούς για να δημιουργήσει τους συνδέσμους μεταξύ των σχεδίων και της πραγματικότητας με τον αντικειμενοστραφή και βασισμένο σε κανόνες σχεδιασμό του.

Τα δεδομένα GIS είναι μεγάλης σημασίας για να υλοποιηθεί αυτή μοντέλο-κεντρική προσέγγιση, αλλά τα δεδομένα GIS μόνα τους δεν προσθέτουν πληροφορία καθοριστική στη λήψη αποφάσεων και στην επικοινωνία. Πλέον, με την ενσωμάτωση στο BIM γίνεται δυνατό να ξεκλειδωθεί αυτή η πληροφορία για χρήση σε πραγματικό χρόνο, καθώς και να μπορεί ο χρήστης να αποκτά και να διαχειρίζεται δεδομένα που έχουν χωρική αναφορά. Οι πολιτικοί μηχανικοί, σχεδιαστές εργολάβοι και ιδιοκτήτες έχουν άμεση πρόσβαση σε γεωχωρικά δεδομένα κατευθείαν από το περιβάλλον του μοντέλου της κατασκευής. Το GIS – ένα σύστημα που αποθηκεύει και αναλύει γεωγραφική πληροφορία- γίνεται απλούστατα ένα από τα συστατικά στοιχεία της διαδικασίας BIM.



## **Κεφάλαιο 3. Η μεθοδολογία BIM στην πράξη.**

### **3.1 Εφαρμογή της μεθοδολογίας BIM ανά τον κόσμο – Κρατικές και Διεθνείς Πρωτοβουλίες.**

Η μεθοδολογία BIM έχει εφαρμοστεί σε πολλές χώρες από την αρχή της προηγούμενης δεκαετίας, και πολλοί ερευνητές και οργανισμοί έχουν έκτοτε επιχειρήσει να μετρήσουν το βαθμό στον οποίο έχει διαδοθεί και εμπεδωθεί η εφαρμογή της μεθοδολογίας. Πολλές έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί για να μετρήσουν το επίπεδο ενσωμάτωσης και αποδοχής του BIM σε κάποια συγκεκριμένη χώρα, ή σε διαφορετικές χώρες (Jung et al. 2015). Αξίζει να αναφερθούν οι δύο πιο σημαντικές προσπάθειες καταγραφής του επιπέδου χρήσης του BIM, το SmartMarket Report (2013) που συνέκρινε τη χρήση σε δέκα διαφορετικές χώρες τεσσάρων ηπείρων, και το NBS International BIM Report (2013) οποία συνέκρινε τέσσερις χώρες τριών ηπείρων.

Η αφομοίωση της τεχνολογίας BIM στον κατασκευαστικό κλάδο έχει αρχίσει εδώ και πάνω από δέκα χρόνια, ωστόσο πραγματοποιήθηκε με σχετικά αργούς ρυθμούς. Παρόλα αυτά τα τελευταία χρόνια φαίνεται να κερδίζει διαρκώς έδαφος καθώς δημόσιοι και ιδιωτικοί φορείς πρωτοστατούν στην προσπάθεια διάδοσής της. Παράλληλα ενώ η εφαρμογή του BIM είναι διαδεδομένη σε χώρες όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Γερμανία, ο Καναδάς και η Γαλλία, χώρες που υιοθέτησαν αργότερα την τεχνολογία όπως η Αυστραλία, η Βραζιλία, η Ιαπωνία, η Νότια Κορέα και η Νέα Ζηλανδία φαίνεται να αποκτούν γρήγορα δυναμική, σε βαθμό να ξεπερνούν σε κάποιους τομείς τις παραδοσιακές χώρες-χρήστες του BIM. «Η χρήση του BIM επιταχύνεται δυναμικά, οδηγούμενη από μεγάλους δημόσιους και ιδιωτικούς ιδιοκτήτες, που επιθυμούν να θεσμοθετήσουν τα προνόμιά του όσον αφορά τη γρηγορότερη και πιο σίγουρη παράδοση του έργου καθώς και το πιο αξιόπιστο κόστος και ποιότητα. Η απαίτηση της χρήσης BIM κάποιων κυβερνήσεων όπως των Η.Π.Α., του Ηνωμένου Βασιλείου και άλλων, αποδεικνύει πως κάποιοι πρωτοπόροι φορείς (συνήθως φορείς που έχουν ρόλο ΚτΕ) μπορούν να θέσουν συγκεκριμένους στόχους και να ωθήσουν τις εταιρείες του κατασκευαστικού κλάδου να αξιοποιήσουν τις τεχνολογίες BIM, να επιτύχουν και να ξεπεράσουν αυτούς τους στόχους, εξελίσσοντάς έτσι το BIM στο ευρύτερο οικοσύστημα των κατασκευαστικών έργων κατά τη διαδικασία» (McGraw Hill 2013)

### **3.1.1 Ο ρόλος του δημόσιου και του ιδιωτικού τομέα στην διάδοση της μεθοδολογίας BIM**

Η παρακολούθηση του επιπέδου χρήσης του BIM σε διαφορετικές χώρες δείχνει πως ο πιο κρίσιμος παράγοντας για την επιτυχή εφαρμογή της τεχνολογίας είναι ο κρατικός συντονισμός της προσπάθειας διάδοσής της. Αποφεύγονται έτσι τα σφάλματα και τα εμπόδια που οφείλονται σε ετερόκλητες προσεγγίσεις και κατακερματισμένες προσπάθειες. Η πρωτοπορία της απόπειρας εφαρμογής BIM θα πρέπει να έχει δημόσιο χαρακτήρα, καθώς όμως και την υποστήριξη των πιο μεγάλων και σημαντικών ιδιωτικών εταιρειών που δραστηριοποιούνται στην εκάστοτε χώρα. Επιπλέον, λόγω της διεθνούς φύσης του κατασκευαστικού τομέα, θα πρέπει να λαμβάνονται αντίστοιχες πρωτοβουλίες και σε παγκόσμιο επίπεδο.

Οι κυβερνητικές εντολές και συστάσεις φαίνεται να έχουν την πιο θετική επίδραση στην διάδοση του BIM. Απαιτήσεις που αφορούν το BIM όπως αυτές που επιβάλλονται από διάφορες κυβερνήσεις όπως των Ηνωμένων Πολιτειών, του Ηνωμένου Βασιλείου και της Σιγκαπούρης απεδείχθησαν ιδιαίτερα επιτυχή και αποτέλεσαν τον καταλύτη για τον προσανατολισμό του κατασκευαστικού κλάδου στην BIM λογική. Οι εταιρείες έρχονται αντιμέτωπες με το γεγονός πως αν δεν υιοθετήσουν τις τεχνολογίες BIM, δεν θα μπορούν στο μέλλον να εξασφαλίσουν συμμετοχή σε δημόσια έργα. (Smith 2014)

Από την άλλη, η εφαρμογή του BIM χωρίς την ισχυρή στήριξη του ιδιωτικού τομέα είναι πολύ δύσκολη. Μπορεί οι ιδιωτικές εταιρείες να αποτυγχάνουν να συντονίσουν μόνες τους την διαδικασία διάδοσης της μεθοδολογίας, ωστόσο η ενδο-εταιρική συνεργασία, και ο ανταγωνισμός είναι απαραίτητα στοιχεία για την υιοθέτηση των νέων τεχνολογιών αλλά και για την έρευνα που αφορά το BIM, και για την εκπαίδευση νέων χρηστών.

Ακολουθεί αναφορά σε κάποια από τα σημαντικότερα προγράμματα και εγχειρήματα εφαρμογής της μεθοδολογίας BIM από το δημόσιο ή ιδιωτικό τομέα σε διάφορες χώρες.

### **3.1.2 Ηνωμένες Πολιτείες**

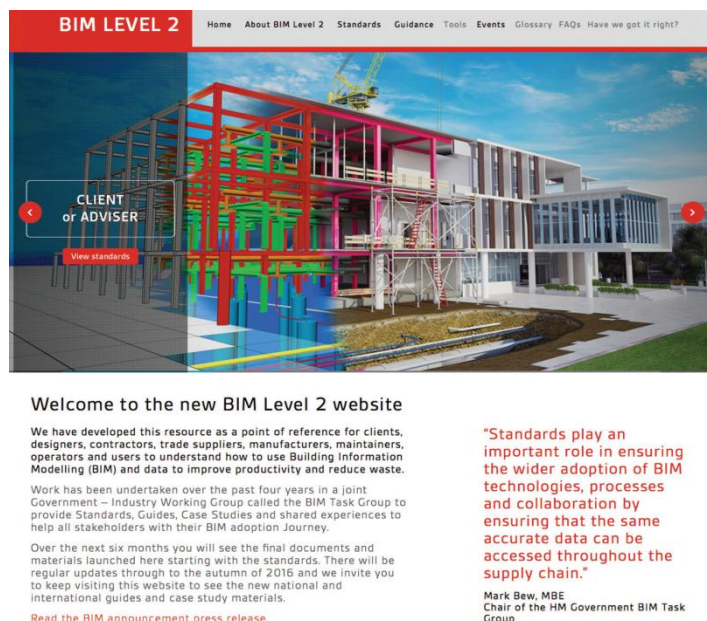
Οι Ηνωμένες πολιτείες ανέκαθεν υπήρξαν πρωτοπόρες σε παγκόσμιο επίπεδο στην ανάπτυξη του BIM στον κατασκευαστικό κλάδο. Στις Ηνωμένες Πολιτείες ο υπεύθυνος φορέας για την κατασκευή και την λειτουργία όλων των ομοσπονδιακών εγκαταστάσεων

λέγεται U.S General Services Administration (GSA), και ήταν αυτός που πρωτοστάτησε στην εφαρμογή του BIM στην κατασκευή δημοσίων έργων. Ήδη από το 2003 εισήγαγε ένα εθνικό πρόγραμμα 3D-4D BIM, ενώ το 2007 απαίτησε τη χρήση του BIM σε κάθε του έργο. Και άλλοι κρατικοί και δημόσιοι φορείς έχουν αρχίσει να εφαρμόζουν BIM στις Ηνωμένες Πολιτείες όπως οι US Army Corps of Engineers, Air Force και Coast Guard. (Smith 2014)

Πάντως, σύμφωνα με τους Wong et. al 2011, σε μία χώρα τόσο μεγάλη όσο οι Η.Π.Α. η διάδοση του BIM από δημόσιες αρχές δεν θα ήταν εφικτή χωρίς την απόλυτη στήριξη του ιδιωτικού τομέα. Υπάρχουν πολλοί μη κυβερνητικοί φορείς και οργανώσεις που συντονίζουν την εφαρμογή του BIM στη χώρα.

### 3.1.3 Ηνωμένο Βασίλειο

Στο Ηνωμένο Βασίλειο η κυβέρνηση έχει εισάγει μία στρατηγική για την εφαρμογή του BIM στον εγχώριο κατασκευαστικό κλάδο που από πολλούς θεωρείται το πιο φιλόδοξο κυβερνητικό πρόγραμμα εφαρμογής BIM στον κόσμο. Τον Μάιο του 2011 η κυβέρνηση δημοσίευσε την Στρατηγική για τον Κατασκευαστικό κλάδο με στόχο να μειωθεί το κόστος στις κατασκευές του δημόσιου τομέα κατά 20% μέχρι το 2016. Για την επίτευξη αυτού του στόχου η κυβέρνηση ζήτησε τη συμμόρφωση όλων των εταιρειών που εμπλέκονται στην κατασκευή δημοσίων έργων με το BIM επιπέδου ωριμότητας 2. Ως ελάχιστο, απαιτείται η δημιουργία πλήρως διαλειτουργικού μοντέλου 3D με όλες τις πληροφορίες και τα δεδομένα που αφορούν το έργο σε ψηφιακή μορφή.



**BIM LEVEL 2** Home About BIM Level 2 Standards Guidance Tools Events Glossary FAQs Have we got it right?

CLIENT or ADVISER  
View standards

Welcome to the new BIM Level 2 website

We have developed this resource as a point of reference for clients, designers, contractors, trade suppliers, manufacturers, maintainers, operators and users to understand how to use Building Information Modelling (BIM) and data to improve productivity and reduce waste.

Work has been undertaken over the past four years in a joint Government – Industry Working Group called the BIM Task Group to provide Standards, Guides, Case Studies and shared experiences to help all stakeholders with their BIM adoption Journey.

Over the next six months you will see the final documents and materials launched here starting with the standards. There will be regular updates through to the autumn of 2016 and we invite you to keep visiting this website to see the new national and international guides and case study materials.

[Read the BIM announcement press release.](#)

**“Standards play an important role in ensuring the wider adoption of BIM technologies, processes and collaboration by ensuring that the same accurate data can be accessed throughout the supply chain.”**

Mark Bew, MBE  
Chair of the HM Government BIM Task Group

Εικόνα 3-1 Στιγμιότυπο οθόνης από την αρχική σελίδα της ιστοσελίδας Level2BIM.org

Τα αποτελέσματα αυτού του 5-ετούς πλάνου ήταν εντυπωσιακά για τον ιδιωτικό τομέα καθώς οι εταιρείες ήρθαν αντιμέτωπες με την αναγκαιότητα να αναπτύξουν τις απαραίτητες τεχνολογίες για να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις του δημοσίου.

Η κυβέρνηση ίδρυσε έναν φορέα υπεύθυνο για την υλοποίηση του πλάνου, το BIM Task Group. Η ημερομηνία που ορίστηκε ως προθεσμία για τις εταιρείες ήταν 4 Απριλίου 2016. Επίσης δημιουργήθηκε η ιστοσελίδα Level2BIM.org (βλ. Εικόνα 3-1) στην οποία μπορεί οποιοσδήποτε (σχεδιαστές, μηχανικοί, κατασκευαστές, προμηθευτές, ιδιοκτήτες) να απευθυνθεί για οδηγίες ως προς την υλοποίηση του BIM, και να κατεβάσει τα δωρεάν πρότυπα και προδιαγραφές που αφορούν το BIM.

Αξίζει εδώ να αναφερθεί πως στα πλαίσια αυτής της προσπάθειας, έχει δημιουργηθεί μία από τις μεγαλύτερες βιβλιοθήκες αντικειμένων BIM, η εθνική βιβλιοθήκη BIM του Ηνωμένου Βασιλείου (National BIM Library). Πρόσφατα η κυβέρνηση ανακοίνωσε τη παροχή ελεύθερης πρόσβασης παγκοσμίως στην βιβλιοθήκη, γεγονός που ενισχύει πολύ τη διεθνή προσπάθεια για διάδοση του BIM και θεωρείται από πολλούς θετική πρωτοβουλία και ορθή πρακτική που εναρμονίζεται με τη λογική και της αρχές της μεθόδου.

### **3.1.4 Σκανδιναβικές χώρες**

Η Σκανδιναβία είναι επίσης μία από τις χώρες που ηγήθηκαν δυναμικά της διάδοσης του BIM. Η Νορβηγία, η Δανία και η Φινλανδία άρχισαν πολύ νωρίς να χρησιμοποιούν το λογισμικό ArchiCAD και σχεδιασμό με μοντελοποίηση του έργου, καθώς και να υποστηρίζουν την αναγκαιότητα για συνεργασία, διαλειτουργικότητα και ανοιχτά πρότυπα, ενώ συνεισέφεραν καταλυτικά στην ανάπτυξη των Industry Foundation Classes (IFC). Οι διάφορες κυβερνήσεις αυτών των χωρών παρέχουν σημαντική βοήθεια στις εταιρείες που επιχειρούν το πέρασμα στο BIM. (Smith 2014)

Στη Φινλανδία, ο κυβερνητικός φορέας στον οποίο ανήκουν όλα τα τρέχοντα πιλοτικά έργα που χρησιμοποιούν BIM και IFC λέγεται Senate Properties. Ήδη από την 1<sup>η</sup> Οκτωβρίου του 2007, η Senate Properties ξεκίνησε να απαιτεί μοντέλα που ανταποκρίνονται στο πρότυπο IFC. Έχει επίσης καθορίσει λεπτομερείς κατευθυντήριες γραμμές για τις απαιτήσεις που αφορούν τα δεδομένα που περιέχονται στα μοντέλα για τους συμμετέχοντες σε κάθε στάδιο της κατασκευής ενός έργου. Όσον αφορά τον ιδιωτικό τομέα κάποιες μεγάλες

(Skanska Oy, Tekes) εταιρείες χρησιμοποιούν και στηρίζουν την ανάπτυξη των τεχνολογιών BIM. Τέλος η έρευνα και η εκπαίδευση πάνω στο BIM υλοποιείται σε σημαντικό βαθμό στη Φινλανδία από διάφορους οργανισμούς αλλά και από τα πανεπιστήμια όπως το Helsinki University of Technology.

Η Δανική Κυβέρνηση είναι επίσης ισχυρός υποστηρικτής του BIM και επενδύει σημαντικά στην έρευνα και στην ανάπτυξη της τεχνολογίας. Και οι τρεις ιδιοκτήτες δημοσίων έργων (Palaces & Properties Agency, Danish University Property Agency, Defence Construction Service) απαιτούν τη χρήση τεχνολογιών BIM στις κατασκευές.

Τέλος στην Νορβηγία, η εταιρεία Statsbygg ηγείται της εφαρμογής του BIM στην κατασκευή. Η εταιρεία αυτή είναι υπεύθυνη για την κατασκευή, τη λειτουργία και τη διαχείριση των δημοσίων έργων. Χρησιμοποιούν BIM στα έργα από το 2007 και απαιτούν την συμμόρφωση με τα πρότυπα IFC από το 2010.

Άλλες χώρες που πρωτοστατούν στην ανάπτυξη τεχνολογιών BIM είναι η Σιγκαπούρη, η Αυστραλία, η Γερμανία, η Γαλλία και άλλες Ευρωπαϊκές χώρες, ενώ στα αρχικά στάδια της εφαρμογής είναι η Βραζιλία η Κίνα και η Ινδία

### **3.1.5 Πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Ένωσης**

Στα πλαίσια της Ευρωπαϊκής Ένωσης, το εγχείρημα για ανάπτυξη τεχνολογιών BIM και διάδοση στις χώρες-Μέλη συντονίζεται από την πρωτοβουλία EU BIM Task Group. Πρόκειται για μία πρωτοβουλία συνεργασίας όπου συμμετέχουν 15 χώρες μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, Συγκεκριμένα το Ηνωμένο Βασίλειο, η Ισλανδία, η Δανία, η Σουηδία, η Φινλανδία, η Εσθονία, η Σλοβακία, η Αυστρία, η Γερμανία, η Ολλανδία, η Γαλλία και η Ιρλανδία παρακολούθησαν το ιδρυτικό συνέδριο του BIM Task Group.

Η πρωτοβουλία αυτή χρηματοδοτείται εν μέρει από την Ευρωπαϊκή Ένωση καθώς και από χορηγίες των χωρών που συμμετέχουν. Ο βασικός συντονιστής του εγχειρήματος είναι το Department for Business, Innovation & Skills (BIS) της Βρετανικής Κυβέρνησης, ωστόσο πρόκειται καθαρά για μία παν-Ευρωπαϊκή συλλογική προσπάθεια. (eubim.eu)

Η πρωτοβουλία έχει εξασφαλίσει από την Ευρωπαϊκή Ένωση χρηματοδότηση για τα επόμενα δύο χρόνια (2016-2017) με στόχο να συντονίσει και να ευθυγραμμίσει τη χρήση του BIM στα δημόσια έργα. Τα πρώτα βήματα που πρόκειται να κάνει το BIM Task Group

είναι να αναπτύξει ένα εγχειρίδιο που θα περιέχει τις βασικές αρχές του σχεδιασμού με BIM. Το εγχειρίδιο θα περιέχει μέτρα για τις δημόσιες συμβάσεις, τεχνικές μελέτες, θα καταγράφει τα οφέλη του «περάσματος» στο BIM για τους δημόσιους πελάτες και για εκείνους που χαράζουν την πολιτική των εταιρειών που εμπλέκονται σε δημόσια έργα.

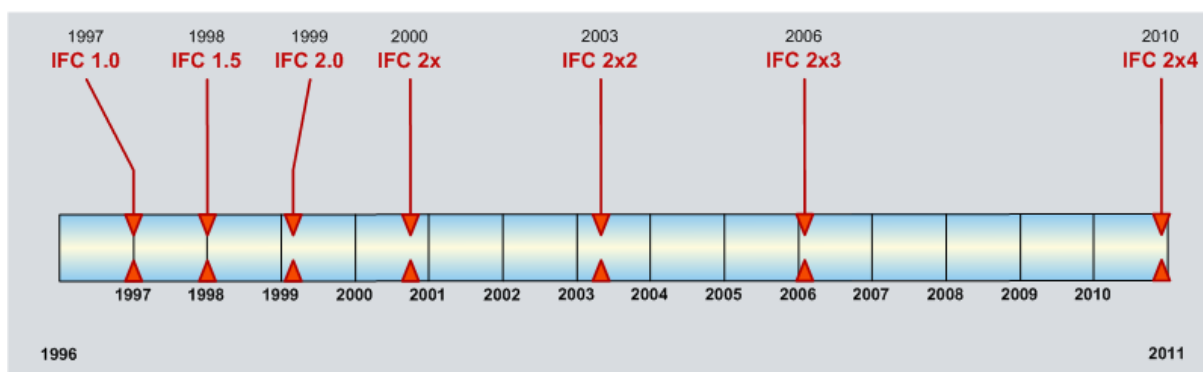
### 3.1.6 Το BuildingSMART και η ανάπτυξη των προτύπων IFC και COBie.

Ο οργανισμός BuildingSMART είναι ο μεγαλύτερος διεθνής οργανισμός που προάγει την διαλειτουργικότητα στα τεχνικά έργα, και τη χρήση και ανάπτυξη των προτύπων διαλειτουργικότητας Industry Foundation Classes (IFC).

Το BuildingSMART ξεκίνησε ως συνεταιρισμός μεγάλων επιχειρήσεων των Ηνωμένων Πολιτειών που ασχολούνται με τεχνικά έργα με το όνομα Industry Alliance for Interoperability. Η δημιουργία του οργανισμού έγινε μετά από έκκληση της Autodesk, με σκοπό την διευκόλυνση της συνεργασίας μεταξύ λογισμικών που χρησιμοποιούνται από τεχνικές εταιρείες. Αργότερα καθώς αποφασίστηκε πως τα πρότυπα διαλειτουργικότητας IFC είναι σκόπιμο να μην είναι ιδιόκτητα, ο οργανισμός έγινε μη κερδοσκοπικός και μετονομάστηκε σε buildingSMART με βασικό στόχο την ανάπτυξη και έκδοση των προτύπων IFC και τη διάδοση της εφαρμογής τους σε διεθνές επίπεδο.

Τα πρότυπα Industry Foundation Classes είναι τα μόνα κατανοητά, ανοιχτά και πραγματικά διεθνή πρότυπα που περιγράφουν όλα τα σημαντικά στοιχεία της κατασκευαστικής πληροφορίας. Η ανάπτυξή τους ξεκίνησε το 1996 με την δημοσίευση του IFC 1.0

Στην Εικόνα 3-2 φαίνεται η εξέλιξη των προτύπων IFC με όλες τις δημοσιεύσεις προτύπων μέχρι σήμερα. (Πηγή: buildingsmart.org)



Εικόνα 3-2 Η ιστορία των προτύπων IFC από την πρώτη δημοσίευση το 1997 μέχρι την τελευταία το 2010. (buildingsmart.org)

Η τρέχουσα έκδοση είναι η έκδοση IFC 2x4 ενώ έχουν δημοσιευτεί και δύο προσαρτήματα, το τελευταίο εκ των οποίων (IFC4 Add2) δημοσιεύτηκε μόλις τον Ιούλιο του 2016. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά του τελευταίου προτύπου IFC4 που αποτελούν τομές σε σχέση με τα προηγούμενα είναι πως ενεργοποιούν πολλές καινούριες δραστηριότητες BIM όπως 4D και 5D ανταλλαγές μοντελοποιημένης πληροφορίας, βιβλιοθήκες προϊόντων BIM, διαλειτουργικότητα του BIM με το GIS, αναβαθμισμένες θερμικές προσομοιώσεις και αξιολόγηση βιωσιμότητας. Επιπλέον διευκολύνουν την επέκταση των IFC στα έργα υποδομής και άλλους τομείς του κατασκευαστικού περιβάλλοντος.

Τα πρότυπα IFC είναι στην ουσία μοντέλα δεδομένων για κάθε είδος πληροφορίας που αφορά ένα έργο, από απτά αντικείμενα όπως τοίχοι, πόρτες, δοκοί μέχρι αφηρημένες έννοιες όπως ο χώρος, η γεωμετρία και το υλικό. Περιλαμβάνουν επίσης κόστη, προγράμματα και οργανισμούς.

Μία άλλη Φόρμα Δεδομένων που είναι ευρέως διαδεδομένη στους χρήστες τεχνολογιών BIM είναι το ανοιχτό πρότυπο COBie (Construction-Operations Building information exchange). Αρχικά αναπτύχθηκε από το Σώμα Μηχανικών του Στρατού των Η.Π.Α., ενώ αργότερα εγκρίθηκε από το National Institute of Building Sciences. Το BuildingSMAT είχε παράλληλα ξεκινήσει να μελετά τον τρόπο μεταβίβασης πληροφοριών που αφορούν τη Διαχείριση Εγκαταστάσεων (Facility Management). Οι προσπάθειες αυτές δόμησης πληροφορίας Διαχείρισης Εγκαταστάσεων τελικά ενσωματώθηκαν, και το COBie αποτελεί πλέον την εγκεκριμένη φόρμα ανταλλαγής πληροφοριών Εθνικού Προτύπου BIM των Η.Π.Α. (National BIM Standard- U.S.).

Το COBie αφορά υποσύνολο των πληροφοριών που περιλαμβάνονται στο πρότυπο IFC, και μπορεί να συμπεριλάβει και συμπληρωματική πληροφορία. Δεν αφορά δηλαδή γεωμετρική πληροφορία, ενώ οργανώνεται σε μορφή υπολογιστικών φύλλων (spreadsheet). (βλ. Εικόνα 3-3)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	Name	CreatedBy	CreatedOn	TypeName	Space	Description	ExtObject	ExtIdentifier	
2	Bath/Shower-1	marialogica.carras	2011-09-27T16	Bath/Shower	B204	M_Bath Tub:1525 mmx760 mm - Private:1525 mmx760 mm - Private:582931	A IfcFlowTerminal	2h405XijT83A5Bx7w5ki4b	
3	Bath/Shower-2	marialogica.carras	2011-09-27T16	Bath/Shower	A204	M_Bath Tub:1525 mmx760 mm - Private:1525 mmx760 mm - Private:582924	A IfcFlowTerminal	1VLp0i73z0fvdanmaXQreg	
4	Boiler-1	marialogica.carras	2011-09-27T16	Boiler	B205	M_Hot Water Boiler - 59-440 kW:147 kW:147 kW:557516	A IfcEnergyConversionDevice	1Qu9wkd0lWnuem13Ff5i	
5	Boiler-2	marialogica.carras	2011-09-27T16	Boiler	A205	M_Hot Water Boiler - 59-440 kW:147 kW:147 kW:530072	A IfcEnergyConversionDevice	1ZpBelQPb2z91uXp6Q1drg	
6	Cabinet Type A-1	marialogica.carras	2011-09-27T16	Cabinet Type A	B103	M_Base Cabinet-Double Door & 2 Drawer:1000mm:1000mm:159159	A IfcFurnishingElement	DwkEu1wr1kOyafL4yvyM	
7	Cabinet Type A-10	marialogica.carras	2011-09-27T16	Cabinet Type A	A103	M_Base Cabinet-Double Door & 2 Drawer:1000mm:1000mm:162487	A IfcFurnishingElement	20Brcmyk58NupXoVOHUV	
8	Cabinet Type A-11	marialogica.carras	2011-09-27T16	Cabinet Type A	A103	M_Base Cabinet-Double Door & 2 Drawer:1000mm:1000mm:162488	A IfcFurnishingElement	20Brcmyk58NupXoVOHUV	
9	Cabinet Type A-12	marialogica.carras	2011-09-27T16	Cabinet Type A	A103	M_Base Cabinet-Double Door & 2 Drawer:1000mm:1000mm:162489	A IfcFurnishingElement	20Brcmyk58NupXoVOHUV	
10	Cabinet Type A-13	marialogica.carras	2011-09-27T16	Cabinet Type A	A103	M_Base Cabinet-Double Door & 2 Drawer:1000mm:1000mm:162493	A IfcFurnishingElement	20Brcmyk58NupXoVOHUV	
11	Cabinet Type A-14	marialogica.carras	2011-09-27T16	Cabinet Type A	A103	M_Base Cabinet-Double Door & 2 Drawer:1000mm:1000mm:162495	A IfcFurnishingElement	20Brcmyk58NupXoVOHUV	
12	Cabinet Type A-15	marialogica.carras	2011-09-27T16	Cabinet Type A	A103	M_Base Cabinet-Double Door & 2 Drawer:1000mm:1000mm:162496	A IfcFurnishingElement	20Brcmyk58NupXoVOHUV	
13	Cabinet Type A-16	marialogica.carras	2011-09-27T16	Cabinet Type A	A103	M_Base Cabinet-Double Door & 2 Drawer:1000mm:1000mm:162497	A IfcFurnishingElement	20Brcmyk58NupXoVOHUV	
14	Cabinet Type A-2	marialogica.carras	2011-09-27T16	Cabinet Type A	B103	M_Base Cabinet-Double Door & 2 Drawer:1000mm:1000mm:159262	A IfcFurnishingElement	DwkEu1wr1kOyafL4yvyM	
15	Cabinet Type A-3	marialogica.carras	2011-09-27T16	Cabinet Type A	B103	M_Base Cabinet-Double Door & 2 Drawer:1000mm:1000mm:160671	A IfcFurnishingElement	20Brcmyk58NupXoVOHUV	
16	Cabinet Type A-4	marialogica.carras	2011-09-27T16	Cabinet Type A	B103	M_Base Cabinet-Double Door & 2 Drawer:1000mm:1000mm:160717	A IfcFurnishingElement	20Brcmyk58NupXoVOHUV	
17	Cabinet Type A-5	marialogica.carras	2011-09-27T16	Cabinet Type A	B103	M_Base Cabinet-Double Door & 2 Drawer:1000mm:1000mm:162230	A IfcFurnishingElement	20Brcmyk58NupXoVOHUV	
18	Cabinet Type A-6	marialogica.carras	2011-09-27T16	Cabinet Type A	B103	M_Base Cabinet-Double Door & 2 Drawer:1000mm:1000mm:162311	A IfcFurnishingElement	20Brcmyk58NupXoVOHUV	
19	Cabinet Type A-7	marialogica.carras	2011-09-27T16	Cabinet Type A	B103	M_Base Cabinet-Double Door & 2 Drawer:1000mm:1000mm:162357	A IfcFurnishingElement	20Brcmyk58NupXoVOHUV	
20	Cabinet Type A-8	marialogica.carras	2011-09-27T16	Cabinet Type A	B103	M_Base Cabinet-Double Door & 2 Drawer:1000mm:1000mm:162383	A IfcFurnishingElement	20Brcmyk58NupXoVOHUV	
21	Cabinet Type A-9	marialogica.carras	2011-09-27T16	Cabinet Type A	A103	M_Base Cabinet-Double Door & 2 Drawer:1000mm:1000mm:162486	A IfcFurnishingElement	20Brcmyk58NupXoVOHUV	

Εικόνα 3-3 Υπολογιστικό Φύλλο COBie

Το βασικό πλεονέκτημα της Φόρμας Δεδομένων COBie είναι πως δημιουργεί «ελαφριά» και εύχρηστα αρχεία. Έτσι οι συντελεστές που χρησιμοποιούν μόνο πληροφορίες Διαχείρισης Εγκαταστάσεων και δεν χρειάζονται το σύνολο των BIM πληροφοριών ενός έργου, μπορούν να χρησιμοποιούν τα αρχεία αυτά που περιέχουν ακριβώς την ποσότητα πληροφορίας που είναι απαραίτητη, δομημένη και οργανωμένη με λειτουργικό τρόπο.

### 3.1.7 Η κατάσταση στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα δεν έχουν εισαχθεί τεχνολογίες BIM στον σχεδιασμό και την κατασκευή τεχνικών έργων. Με βάση τα επίπεδα ωριμότητας του BIM (BIM Maturity Levels) ο εγχώριος κατασκευαστικός κλάδος βρίσκεται στο Επίπεδο 0. Ο σχεδιασμός γίνεται σε δύο διαστάσεις, με χρήση λογισμικών CAD (Computer Aided Design). Η παράδοση όλων των σχεδίων και των συναφών εγγράφων γίνεται σε χαρτί, και δεν υφίσταται διασυνδεσιμότητα μεταξύ αρχείων που αφορούν τον σχεδιασμό, τη διαχείριση και την κατασκευή τεχνικών έργων. Γενικά το μοντέλο που ακολουθείται είναι Σχεδιασμός-Δημοπράτηση- Κατασκευή (DBB) (βλ. Παράγραφο 2.2.1).

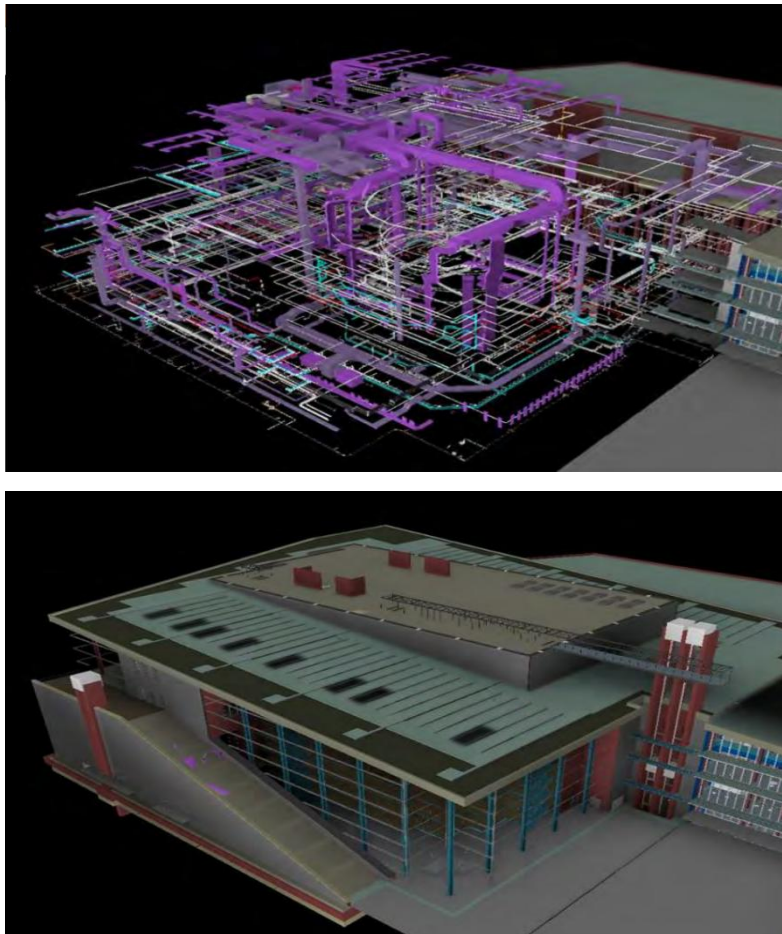
Σε γενικές γραμμές ο κατασκευαστικός κλάδος δεν ούτε σημαντικές γνώσεις πάνω στις τεχνολογίες BIM ούτε πλήρη επίγνωση της ανάπτυξης της τεχνολογίας διεθνώς. Ωστόσο υπάρχουν μεμονωμένες περιπτώσεις έργων όπου έχουν χρησιμοποιηθεί τεχνολογίες BIM σε κάποιο επίπεδο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η κατασκευή του Κέντρου Πολιτισμού Ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος. Πρόκειται για ένα μεγάλο έργο που περιλαμβάνει μεταξύ άλλων τις νέες κτιριακές εγκαταστάσεις για την Εθνική Βιβλιοθήκη της Ελλάδος



(ΕΒΕ) και την Εθνική Λυρική Σκηνή (ΕΛΣ), καθώς και τη δημιουργία του Πάρκου Σταύρος Νιάρχος, συνολικής έκτασης 170.000 m<sup>2</sup>. Η κατασκευή του ΚΠΙΣΝ ανατέθηκε από κοινού στην ιταλική εταιρεία Salini Impregilo και την ελληνική εταιρεία TERNA.

Για τις ανάγκες της κατασκευής του έργου χρησιμοποιήθηκαν ήδη από τα αρχικά στάδια εκπόνησης των μελετών τεχνολογίες BIM και δημιουργήθηκε ένα Πληροφοριακό Μοντέλο Έργου. Τα τελικά «όπως κατασκευαστήκαν» (As Built) σχέδια που θα δημιουργηθούν με την τεχνολογία BIM θα αποτυπώνουν την ακριβή και λεπτομερή τελική εικόνα του έργου και θα προσφέρουν ένα πολύ χρήσιμο υπόβαθρο για το επόμενο στάδιο, το οποίο είναι η διαχείριση των εγκαταστάσεων, δηλαδή η λειτουργία και η συντήρηση του έργου.

Στην Εικόνα 3-4 φαίνεται τμήμα του Πληροφοριακού Μοντέλου του κτιρίου της Εθνικής Λυρικής Σκηνής στο Κέντρο Πολιτισμού Ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος.



**Εικόνα 3-4 Το Πληροφοριακό Μοντέλο Έργου του Πολιτιστικού Κέντρου Ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος**

## 3.2 Συστήματα Ταξινόμησης

Τα ταξινομικά συστήματα τεχνικών έργων αποσκοπούν στο να τυποποιήσουν την ορολογία και τη σημασιολογία για όλους τους τομείς των τεχνικών έργων. Η τυποποίηση αυτή, βοηθά στο να ανακεφαλαιώνεται και να οργανώνεται η υπάρχουσα γνώση με δομημένο τρόπο. Στον κατασκευαστικό κλάδο η χρήση ταξινομικών συστημάτων είναι πολύ σημαντική, ιδίως όταν έχουμε να κάνουμε με πρότυπα, οργάνωση αρχείων, υπολογισμό κόστους και ανταλλαγή πληροφοριών (Afsari & Eastman, 2016). Η ταξινόμηση των στοιχείων που απαρτίζουν ένα τεχνικό έργο με τυποποιημένο τρόπο αποτελεί απαραίτητο βήμα για την υλοποίηση της μεθοδολογίας BIM. Δίνοντας κωδικό ταξινόμησης σε κάθε αντικείμενο του μοντέλου, ενεργοποιούμε δυνατότητες του BIM όπως η οργάνωση της πληροφορίας της κατασκευής και η εκτίμηση κόστους στα πλαίσια του μοντέλου. Επίσης γίνεται πολύ ευκολότερη η ταξινόμηση του αντικειμένου σε βιβλιοθήκες προϊόντων με προδιαγραφές BIM.

Τα τελευταία 50 χρόνια έχουν αναπτυχθεί πολλά συστήματα ταξινόμησης κατασκευής σε διαφορετικές χώρες. Τα πιο σημαντικά είναι τα OmniClass και MasterFormat στη Βόρεια Αμερική (Η.Π.Α. και Καναδάς) και το UniClass στο Ηνωμένο Βασίλειο. Ωστόσο έχουν αναπτυχθεί και άλλα σημαντικά συστήματα όπως το BSAB στη Σουηδία, το Building 90 στη Φινλανδία, το DBK στη Δανία και το UniFormat στη Βόρεια Αμερική.

Τα συστήματα ταξινόμησης αυτά διαφέρουν ως προς το σκοπό τους και ως προς το πλαίσιο στο οποίο βασίστηκαν κατά τη δημιουργία τους. Χρησιμοποιούν διαφορετικά κριτήρια ταξινόμησης και διαφορετικές αρχές ταξινόμησης. Σε πολλές περιπτώσεις είναι εύκολη η αντιστοίχιση της ταξινόμησης από ένα σύστημα σε ένα άλλο, ενώ σε άλλες η αντιστοίχιση δεν μπορεί να είναι ακριβής. Σε κάθε περίπτωση, τα συστήματα ταξινόμησης, που αφορούν όλες τις όψεις και τα τμήματα μίας κατασκευής, από τη μορφή ή τη λειτουργία μιας κατασκευής, μέχρι τα υλικά και τα εργαλεία που αντιστοιχούν στις εργασίες, αποτελούν βασικό συστατικό για την υλοποίηση μίας λύσης Ολοκληρωμένου Σχεδιασμού (Integrated Solution).

Ο

Πίνακας 3-1 καταγράφει τα χαρακτηριστικά τεσσάρων από τα σημαντικότερα ταξινομικά συστήματα, τα OmniClass, MasterFormat, UniFormat και Uniclass.

Οι φορείς δημιουργίας των συστημάτων ταξινόμησης είναι οι Construction Specifications Institute (CSI) και Construction Specifications Canada (CSC) για τη Βόρεια Αμερική, Construction Project Information Committee (CPIc), και National Building Specification (NBS) για το Ηνωμένο Βασίλειο.

<b>Σύστημα Ταξινόμησης</b>	<b>OmniClass</b>	<b>MasterFormat</b>	<b>UniFormat</b>	<b>Uniclass</b>
<b>Χώρα προέλευσης</b>	Νότια Αμερική	Νότια Αμερική	Νότια Αμερική	Ηνωμένο Βασίλειο
<b>Δημιουργήθηκε από</b>	CSI και CSC	CSI και CSC	CSI και CSC	CPIc και NBS
<b>Σκοπός και Ιδιότητες</b>	Οργάνωση, ταξινόμηση και ανάκτηση πληροφοριών για όλα τα αντικείμενα στο κατασκευαστικό περιβάλλον και για όλη τη διάρκεια ζωής του έργου	Μία βασική λίστα για την οργάνωση των αποτελεσμάτων της κατασκευαστικής εργασίας, των απαιτήσεων και των δραστηριοτήτων. Χρησιμοποιείται κυρίως στη δημοπράτηση και στις προδιαγραφές.	Οργάνωση πληροφορίας κατασκευής, οργάνωση των φυσικών τμημάτων της κατασκευής κυρίως με όρους λειτουργίας του στοιχείου. Χρησιμοποιείται κυρίως για εκτίμηση κόστους	Αφορά όλες τις πτυχές της διαδικασίας σχεδιασμού και κατασκευής. Για την οργάνωση βιβλιοθηκών υλικών, δομικών στοιχείων και πληροφορίας κατασκευής.
<b>Αρχή Ταξινόμησης</b>	Πολύπλευρη ταξινόμηση	Ιεραρχική Ταξινόμηση	Ιεραρχική Ταξινόμηση	Πολύπλευρη Ταξινόμηση
<b>Οργάνωση και Ταξινόμηση</b>	15 αλληλο - συσχετιζόμενοι πίνακες κατηγοριοποιημένοι κατά ονομασία και αριθμό. Ο συνδυασμός των πινάκων 21, 22 και 23 επιτρέπει την ακριβή ταξινόμηση ενός αντικειμένου	Ένας πίνακας με μία σειρά από εξαψήφιους αριθμούς και ονόματα. Το επίπεδο 1 έχει 5 υποδιαιρέσεις εκ των οποίων η καθεμία αποτελείται από αριθμούς και τίτλους επιπέδου 2, 3 και πολλές φορές 4 για μεγαλύτερη ακρίβεια	Ένας πίνακας με αλφαριθμητικούς προσδιορισμούς και τίτλους σε 5 επίπεδα. Το επίπεδο 1 αποτελείται από 9 κατηγορίες που χωρίζονται με βάση το είδος λειτουργίας του στοιχείου. Τα επόμενα επίπεδα αποτελούν υποδιαιρέσεις	Η διαίρεση ανάμεσα στις διαφορετικές πλευρές ταξινόμησης γίνεται με αλφαβητικά σύμβολα σε 11 πίνακες. Κάθε ένας, με μία δεκαδική κλίμακα που φτάνει τα 6 ψηφία διαιρείται σε υποκατηγορίες.

### 3.2.1 Το σύστημα ταξινόμησης OmniClass

Ίσως το πιο διαδεδομένο ταξινομικό σύστημα που χρησιμοποιείται στις Ηνωμένες Πολιτείες και τον Καναδά, είναι το σύστημα OmniClass. Το OmniClass χαρακτηρίζεται ως «στρατηγική ταξινόμησης του κατασκευαστικού περιβάλλοντος», και χρησιμεύει σε πολλές από τις εφαρμογές οργάνωσης πληροφορίας. Είναι αξιοσημείωτη η αυξανόμενη αξία του στα πλαίσια του National BIM Standard - United States. Το OmniClass ενσωματώνει σαν βάση για τους πίνακές του άλλα υπάρχοντα ταξινομικά συστήματα που περιγράφουν το κατασκευαστικό περιβάλλον και συναφείς διαδικασίες. Ο σκοπός της δημιουργίας του OmniClass είναι ο συνδυασμός πολλών υπάρχοντων ταξινομικών συστημάτων σε ένα ενοποιητικό σύστημα.

Το OmniClass συνδυάζει πολλά θετικά χαρακτηριστικά προηγούμενων συστημάτων που ενσωματώνει όπως το MasterFormat, το UniFormat και το Epic, τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί για πολλά χρόνια στη Βόρεια Αμερική. Η αρχή ταξινόμησης που χρησιμοποιεί το OmniClass είναι πολύπλευρη. Η ταξινόμηση δηλαδή, γίνεται από πολλές διαφορετικές απόψεις. Αποτελείται από 15 διαφορετικούς Πίνακες, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν αυτόνομα ή να συνδυαστούν. Οι πίνακες χρησιμοποιούν διαφορετικά κριτήρια ταξινόμησης:

- Πίνακας 11: Κατασκευαστικές μονάδες κατά είδος λειτουργίας (Construction Entities by Function). Παραδείγματα: οικία, αεροδρόμιο
- Πίνακας 12: Κατασκευαστικές μονάδες κατά μορφή (Construction Entities by Form) Παραδείγματα: Κρεμαστή γέφυρα, Δεξαμενή, Οριζόντια Σήραγγα
- Πίνακας 13: Χώροι κατά είδος λειτουργίας (Spaces by Function). Παραδείγματα: Κουζίνα, καμπίνα ανελκυστήρα.
- Πίνακας 14: Χώροι κατά μορφή (Spaces by Form): Δωμάτιο, Οικοδομικό Τετράγωνο.
- Πίνακας 21: Στοιχεία (Elements). Παραδείγματα: Εξωτερικοί τοίχοι, πατώματα, σκάλες. Ο Πίνακας 21 είναι βασισμένος σε μεγάλο ποσοστό στην έκδοση 2010 του συστήματος UniFormat.

- Πίνακας 22: Αποτελέσματα εργασίας (Work Results) Παραδείγματα: Εσωτερικός Φωτισμός, Κιγκλιδώματα. Ο Πίνακας 22 του συστήματος είναι σχεδόν εξολοκλήρου βασισμένος στο σύστημα MasterFormat.
- Πίνακας 23: Προϊόντα (Products): Παραδείγματα: Σκυρόδεμα, πόρτα, τούβλο, μεταλλικό παράθυρο.
- Πίνακας 31: Φάσεις (Phases) Παραδείγματα: Αρχική Σύλληψη, Σχεδιασμός, Υλοποίηση.
- Πίνακας 32: Υπηρεσίες (Services): Παραδείγματα: Προγραμματισμός, Δημοπράτηση, Επίβλεψη.
- Πίνακας 33: Κλάδοι (Disciplines) Παραδείγματα: Αρχιτεκτονική, Εσωτερικός Σχεδιασμός, Μηχανολογικά.
- Πίνακας 34: Οργανωτικοί Ρόλοι (Organizational Roles): Παραδείγματα: Επιβλέπων Μηχανικός, Ιδιοκτήτης, Εκτιμητής Κόστους.
- Πίνακας 35: Εργαλεία (Tools). Παραδείγματα: Γερανός, φορτηγό, λογισμικό CAD.
- Πίνακας 36: Πληροφορίες (Information). Παραδείγματα: Προδιαγραφές, κώδικες πρότυπα.
- Πίνακας 41: Υλικά (Material). Παραδείγματα: Αλουμίνιο, ξύλο, γυαλί.
- Πίνακας 49: Ιδιότητες (Properties). Παραδείγματα: Χρώμα, πάχος, θλιπτική αντοχή.

Το ταξινομικό σύστημα OmniClass παρέχει τη δυνατότητα για ταξινόμηση με πολλά διαφορετικά κριτήρια, γεγονός που δίνει μεγάλη ευελιξία στον τρόπο χρήσης του συστήματος. Διαφορετικά κριτήρια ταξινόμησης μπορεί να είναι απαραίτητα σε διαφορετικούς συντελεστές του έργου, σε διαφορετικά στάδια του έργου, ή για διαφορετικούς σκοπούς. Για παράδειγμα ο Πίνακας 23 είναι απαραίτητος σε προμηθευτές ή κατασκευαστές προϊόντων και πωλητές ενώ οι πίνακες 31, 32 και 33 είναι κυρίως χρήσιμοι για τους υπεύθυνους διαχείρισης έργου και τους εκτιμητές κόστους. Ο πίνακας 21 είναι συνήθως απαραίτητος σε πολύ αρχικό στάδιο του έργου και χρησιμεύει στη συνόψιση της πληροφορίας και τη λήψη αποφάσεων. Ο πίνακας 22 χρησιμεύει στον ακριβή υπολογισμό των απαιτήσεων του έργου, ενώ ο πίνακας 32 χρησιμεύει κυρίως στο χρονικό προγραμματισμό και ο πίνακας 49 στην οργάνωση βιβλιοθηκών αντικειμένων.

## **Κεφάλαιο 4. Παρουσίαση τεχνολογικών εργαλείων και λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε (Autodesk Revit και Navisworks)**

### **4.1 Εισαγωγή**

Η υλοποίηση του BIM προϋποθέτει τη χρήση σύγχρονων και εξειδικευμένων τεχνολογικών εργαλείων, που έχουν κατασκευαστεί σύμφωνα με αρχές και απαιτήσεις πολύ διαφορετικές από αυτές των προγραμμάτων CAD (Computer Aided Design) που παραδοσιακά χρησιμοποιούνται από τους συντελεστές τεχνικών έργων που δεν έχουν εισάγει τεχνολογίες BIM.

Καταρχήν τα προγράμματα BIM δεν χρησιμοποιούνται μόνο για το σχεδιασμό, αλλά για τη μελέτη κατασκευή και διαχείριση όλων των πτυχών ενός έργου και αφορούν όλα τα στάδια ζωής του έργου. Υπάρχουν προγράμματα εξειδικευμένα για τις διαφορετικές μελέτες και άλλες ανάγκες ενός τεχνικού έργου. Αναφέρονται οι τομείς για τους οποίους έχουν αναπτυχθεί εργαλεία BIM:

- Αρχιτεκτονικός Σχεδιασμός
- Βιώσιμος Σχεδιασμός
- Στατική Μελέτη
- Μηχανολογική – Ηλεκτρολογική Μελέτη
- Κατασκευή (Προσομοίωση, Εκτίμηση και Παρακολούθηση Κόστους, Χρονικός Προγραμματισμός)
- Διαχείριση Εγκαταστάσεων

Υπάρχουν ωστόσο και προγράμματα που χρησιμεύουν για το σύνολο αυτών των εργασιών . Σε αντίθεση με τον παραδοσιακό τρόπο σχεδιασμού, και τα προγράμματα που τον υποστηρίζουν (CAD), τα BIM προγράμματα έχουν αναπτυχθεί σύμφωνα με τις αρχές των Ολοκληρωμένων Λύσεων (Integrated Solutions). Δηλαδή υποστηρίζουν προηγμένες τεχνολογίες συνεργασίας και διαλειτουργικότητας, έτσι ώστε να μπορούν όλοι οι συντελεστές του έργου να έχουν πρόσβαση στην πληροφορία που αφορά το έργο. Σκοπός είναι να δημιουργηθεί μία κοινή κεντρική βάση δεδομένων που να περιέχει όλες τις πληροφορίες.

Επιπλέον, το λογισμικό BIM δεν στοχεύει στην απλή αποτύπωση της πληροφορίας αλλά στην προσομοίωση του έργου. Τα προγράμματα CAD έχουν τη δυνατότητα να συμβολίζουν απλά τον σχεδιασμό. Να αποτυπώνουν πληροφορία δηλαδή που έχει παραχθεί από τους συντελεστές, με τη βοήθεια άλλων εργαλείων. Αντιθέτως τα προγράμματα BIM ενσωματώνουν το σχεδιασμό (σύλληψη, υπολογισμούς, μελέτες) με την αποτύπωση (τεχνικά σχέδια, βάσεις δεδομένων της κατασκευής). Δίνουν δε τη δυνατότητα της ουσιαστικής σύνδεσης του σχεδιασμού με την αποτύπωση μέσω της ανάπτυξης ενός «έξυπνου» τρισδιάστατου μοντέλου προσομοίωσης.

Στα υποκεφάλαια που ακολουθούν αναλύεται τρόπος λειτουργίας δύο δημοφιλών προγραμμάτων BIM, τα Autodesk Revit και Navisworks.

## **4.2 Autodesk Revit**

Το Autodesk Revit είναι ένα πρόγραμμα που υποστηρίζει τη μεθοδολογία BIM (Building Information Modeling) και χρησιμοποιείται από αρχιτέκτονες, μηχανικούς σχεδιαστές και κατασκευαστές. Προσφέρει τη δυνατότητα στους χρήστες να σχεδιάζουν κτίρια ή άλλες κατασκευές και να διαχειρίζονται τη δομή και τα συστατικά τους στοιχεία σε τρισδιάστατο χώρο, καθώς και να προσθέτουν δισδιάστατα στοιχεία στο μοντέλο που χρησιμεύουν στην σήμανση και διαστασιολόγηση του μοντέλου, και να έχουν πρόσβαση της πληροφορίας που αφορούν την κατασκευή μέσω της κοινόχρηστης βάσης δεδομένων που δημιουργείται.

Το Revit αποτελεί μία 3D λύση με εργαλεία για το σχεδιασμό και τη διαχείριση διαφόρων σταδίων του κύκλου ζωής του έργου, από τη σύλληψή του, στην υλοποίηση και ενδεχομένως έπειτα στην καθαίρεσή του. Επιπλέον το Revit, όπως όλα τα λογισμικά που υποστηρίζουν την μεθοδολογία BIM, έχει τη δυνατότητα να συνδεθεί με εξωτερικές εφαρμογές ώστε να μπορεί να υποστηρίξει όλα τα στάδια του σχεδιασμού ενός έργου.

Στο Revit μία κατασκευή σχεδιάζεται με τη χρήση 3D αντικειμένων για την δημιουργία όλων των στοιχείων της. Τα στοιχεία αυτά έχουν διαφορετικές λειτουργίες και ταυτότητες. Μοντελοποιούνται αντικείμενα κάθε είδους όπως τοίχοι, οροφές, πόρτες, αεραγωγοί, σωληνώσεις, ηλεκτρικά συστήματα και αντικείμενα τοπογραφίας. Αυτά τα τρισδιάστατα παραμετρικά αντικείμενα (3D building objects) αλλά και τα δισδιάστατα αντικείμενα σχεδίασης (2D drafting objects) ονομάζονται οικογένειες (families), αποθηκεύονται σε μορφή .rfa και εισάγονται σε βάση δεδομένων RVT.

#### **4.2.1 Αυτοματοποίηση των αλλαγών (Bidirectional Associativity)**

Ένα Revit μοντέλο αποτελεί μία βάση δεδομένων που μπορεί να παρουσιαστεί και να χρησιμοποιηθεί ποικίλους τρόπους. Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, προϋπόθεση της υλοποίησης υψηλού επιπέδου ωριμότητας BIM, είναι η δυνατότητα εξαγωγής όλων των σχεδίων από το τρισδιάστατο κοινόχρηστο ενιαίο μοντέλο που δημιουργείται. Έτσι, στο Revit υπάρχουν διάφορα μέσα αναπαράστασης (views) που παρέχουν τη δυνατότητα να δημιουργηθεί οποιαδήποτε κάτοψη, όψη, άνοψη, τομή ή προοπτική όψη χρειάζεται, για διαφορετικά στιγμιότυπα του κύκλου ζωής του έργου, και με διαφορετικούς τρόπους παρουσίασης. Οι αλλαγές σε οποιαδήποτε αναπαράσταση του μοντέλου περνούν αυτομάτως και σε όλες τις υπόλοιπες αναπαραστάσεις. Έτσι το μοντέλο είναι διαρκώς ενημερωμένο. Όταν αλλάζει η κάτοψη για παράδειγμα, αλλάζει αυτομάτως και η τομή. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι ιδιαίτερα ελκυστικό για τον χρήστη καθώς εξοικονομεί πολύτιμο χρόνο, και καθιστά την αλλαγή και τη δοκιμή διαφορετικών σεναρίων πολύ πιο εύκολη διαδικασία σε σχέση με τον παραδοσιακό 2D σχεδιασμό.

#### **4.2.2 Κοινόχρηστη βάση δεδομένων-συνδεδεμένα υπό-μοντέλα (Worksharing)**

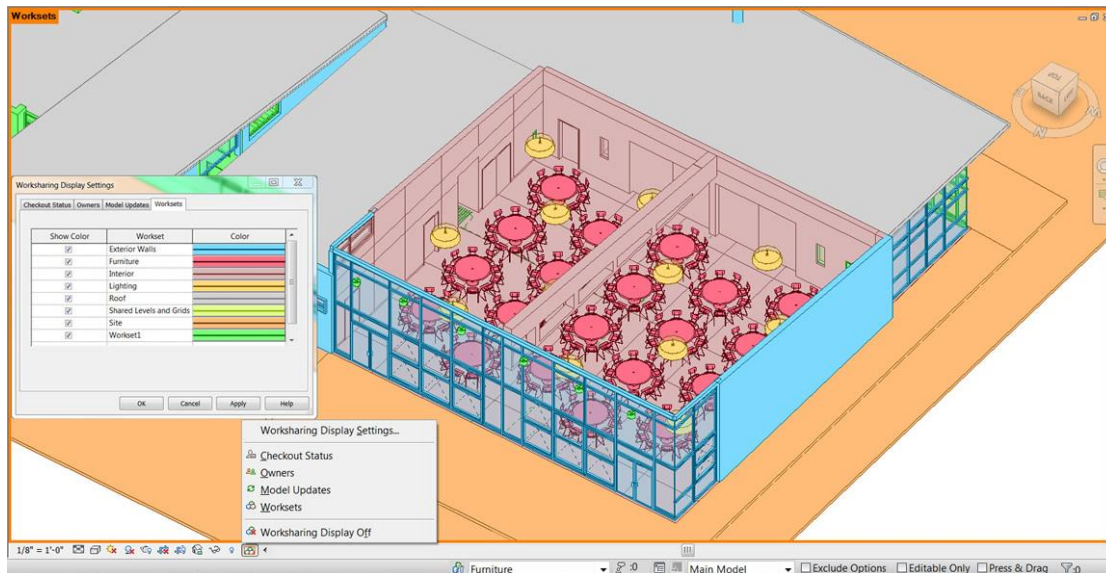
Στα μεγάλα έργα ασχολούνται συνήθως μεγάλες ομάδες χρηστών με ένα μοντέλο και επεμβαίνουν σε αυτό προκαλώντας διαρκώς τροποποιήσεις. Το Revit παρέχει τη δυνατότητα να μπορεί ο κάθε χρήστης να δουλεύει στο δικό του υπό-μοντέλο, αντίγραφο του βασικού κεντρικού μοντέλου, το οποίο αποθηκεύει στον προσωπικό του υπολογιστή. Ανά πάσα στιγμή ο χρήστης μπορεί να συνδέσει το προσωπικό του αντίγραφο με την κεντρική βάση δεδομένων και να μοιραστεί την εργασία του και τις αλλαγές που έχει κάνει με την υπόλοιπη ομάδα. Ταυτόχρονα ο χρήστης ενημερώνεται για τις αλλαγές που η υπόλοιπη ομάδα έχει επιφέρει στο μοντέλο.

Πρέπει εδώ να αναφερθεί, ένα από τα πιο σημαντικά εργαλεία του Revit που καθιστά αυτή την λειτουργία του, το Worksharing εύκολη και μειώνει δραστικά τις παραλείψεις και τα λάθη στο σχεδιασμό, εξοικονομώντας χρόνο και χρήματα. Παρέχεται η δυνατότητα να εντοπίζονται αυτόματα τα σημεία του μοντέλου όπου διαφορετικά αντικείμενα του κτηρίου καταλαμβάνουν τον ίδιο φυσικό χώρο (*clash detection*), λάθος αρκετά συνηθισμένο στις



περιπτώσεις που πολλοί συντελεστές δουλεύουν στο ίδιο έργο. Αυτή η λειτουργία υποστηρίζεται επίσης και από το Navisworks που περιγράφεται παρακάτω.

Στην Εικόνα 4-1 φαίνεται στιγμιότυπο οθόνης από τη λειτουργία Worksharing του Revit.



Εικόνα 4-1 Worksharing (Πηγή: Autodesk official site)

### 4.2.3 Διασυνδεσιμότητα (Interoperability)

Διευκολύνεται η συνεργασία με κάθε μέλος της ομάδας του έργου καθώς το Revit υποστηρίζει τη συνεργασία με πολλές δημοφιλείς μορφές αρχείων, όπως DWG, DFX, DGN και IFC. Το Revit όπως και πολλά άλλα BIM προγράμματα υποστηρίζει το διεθνές πρότυπο open XML-based IFC (Industry Foundation Classes).standard, που έχει αναπτυχθεί από την οργάνωση buildingSMART.

### 4.2.4 Παραμετρική Μοντελοποίηση

Ο όρος παραμετρικό (μοντέλο) αναφέρεται στις σχέσεις ανάμεσα σε όλα τα στοιχεία του μοντέλου που ενεργοποιεί τον συντονισμό και τη διαχείριση των αλλαγών που παρέχονται από το Revit. Αυτές οι σχέσεις δημιουργούνται είτε αυτομάτως από το λογισμικό είτε από τον χρήστη καθώς εργάζεται.

Οι αριθμοί και τα χαρακτηριστικά που ορίζουν αυτά τα είδη των σχέσεων αποκαλούνται παράμετροι. Επομένως, η λειτουργία του λογισμικού είναι παραμετρική. Αυτή η δυνατότητα παρέχει τα θεμελιώδη οφέλη του Revit. Είναι εφικτή η αλλαγή σε οτιδήποτε, οποιαδήποτε στιγμή, οπουδήποτε στο έργο, και αμέσως το Revit συντονίζει αυτή την αλλαγή σε ολόκληρο το μοντέλο.

Τα παρακάτω είναι παραδείγματα τέτοιων παραμετρικών σχέσεων:

- Το εξωτερικό ενός πλαισίου πόρτας ορίζεται από μία σταθερή διάσταση από ένα κατακόρυφο χώρισμα, στην πλευρά του μεντεσέ. Αν μετακινήσω το χώρισμα, η πόρτα διατηρεί τη σχέση αυτή με το χώρισμα.
- Παράθυρα ή κολώνες τοποθετούνται σε ίση απόσταση κατά μήκος ενός υψώματος. Εάν το μήκος του υψώματος αυτού αλλάξει, η σχέση που ορίζει ότι η απόσταση ανάμεσα στα παράθυρα ή τις κολώνες είναι ίση παραμένει. Σε αυτή την περίπτωση η παράμετρος δεν είναι αριθμός αλλά αναλογικό χαρακτηριστικό.
- Η άκρη ενός πατώματος ή μίας στέγης σχετίζεται με τον εξωτερικό τοίχο με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε αν ο εξωτερικός τοίχος μετακινηθεί το πάτωμα ή στέγη παραμένουν ενωμένα. Σε αυτή την περίπτωση, η παράμετρος δεν είναι μία συσχέτιση ή ένωση.

Οι παράμετροι αποθηκεύουν και μεταφέρουν πληροφορία σχετικά με όλα τα στοιχεία σε ένα μοντέλο. Χρησιμοποιούνται για να προσδιορίσουν και να μετατρέψουν τα αντικείμενα, καθώς και να μεταφέρουν πληροφορία που αφορά το μοντέλο σε λίστες και προγράμματα (schedules). Υπάρχουν διαφορετικά είδη παραμέτρων:

- **Παράμετροι έργου (Project Parameters):** Οι παράμετροι έργου ορίζονται μόνο για ένα συγκεκριμένο αρχείο project. Η πληροφορία που αποθηκεύεται στις παραμέτρους έργου δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί από άλλα έργα. Οι παράμετροι έργου χρησιμοποιούνται από διάφορα εργαλεία και λειτουργίες του Revit όπως τα scheduling, shorting και filtering, τα οποία έχουν να κάνουν περισσότερο με τη διαχείριση των στοιχείων του μοντέλου παρά με την ίδια την μοντελοποίηση.
- **Παράμετροι οικογένειας (Family Parameters) :** Οι παράμετροι οικογένειας αποθηκεύουν τις τιμές διαφόρων μεταβλητών μίας οικογένειας όπως διαστάσεις ή

υλικά. Ορίζονται στα πλαίσια μόνο μίας συγκεκριμένης οικογένειας. Οι παράμετροι οικογένειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν από άλλες οικογένειες μόνο όταν πρόκειται για *nested families*, δηλαδή όταν η πρώτη οικογένεια «φορτώνεται» σε μία δεύτερη και εμπεριέχεται σ' αυτή. Μία παράμετρος της πρώτης οικογένειας μπορεί να συσχετιστεί με μία παράμετρο της δεύτερης οικογένειας (ξενιστής) και έτσι η αρχική παράμετρος να ελέγχει τιμές της καινούριας οικογένειας.

- **Διαμοιραζόμενες παράμετροι (Shared Parameters):** Είναι παραμετρικοί ορισμοί που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από πολλαπλές οικογένειες ή έργα. Αφού προστεθεί σε μία οικογένεια ή σε ένα έργο ο ορισμός μίας διαμοιραζόμενης παραμέτρου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτή με τον τρόπο που χρησιμοποιείται μία παράμετρος έργου ή οικογένειας. Επειδή όμως ο ορισμός της διαμοιραζόμενης παραμέτρου είναι αποθηκευμένος σε ξεχωριστό αρχείο (εκτός του περιβάλλοντος της οικογένειας ή του έργου), προστατεύεται από τις αλλαγές. Γι' αυτό το λόγο οι διαμοιραζόμενες οικογένειες μπορούν να χρησιμοποιηθούν από λειτουργίες διαχείρισης και προγραμματισμού εντός του Revit όπως tagging και scheduling.

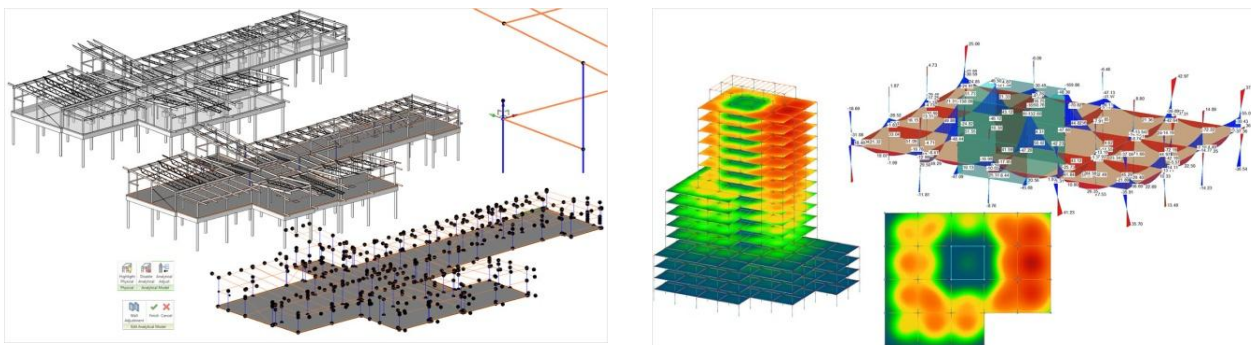
#### 4.2.5 Κλάδοι του Revit (Revit Architecture, Structure, MEP)

Το Revit παρέχει τη δυνατότητα να μοντελοποιούνται κάθε τύπου εργασίες. Οι εφαρμογές Revit Architecture, Revit Structure και Revit MEP, διευκολύνουν το σχεδιασμό των διαφορετικών τμημάτων μιας κατασκευής, παρέχοντας εξειδικευμένα εργαλεία για το σχεδιασμό κάθε κλάδου.

Τα αντικείμενα που παράγονται είναι «έξυπνα», με την έννοια ότι εμπεριέχουν πληροφορίες για την ταυτότητα και τη λειτουργία τους. Επιπλέον, το Revit παρέχει πολλά εργαλεία, όχι μόνο για την αποθήκευση και δόμηση της πληροφορίας, αλλά και για την ίδια την παραγωγή της πληροφορίας που αφορά το σχεδιασμό.

##### ***Revit Structure***

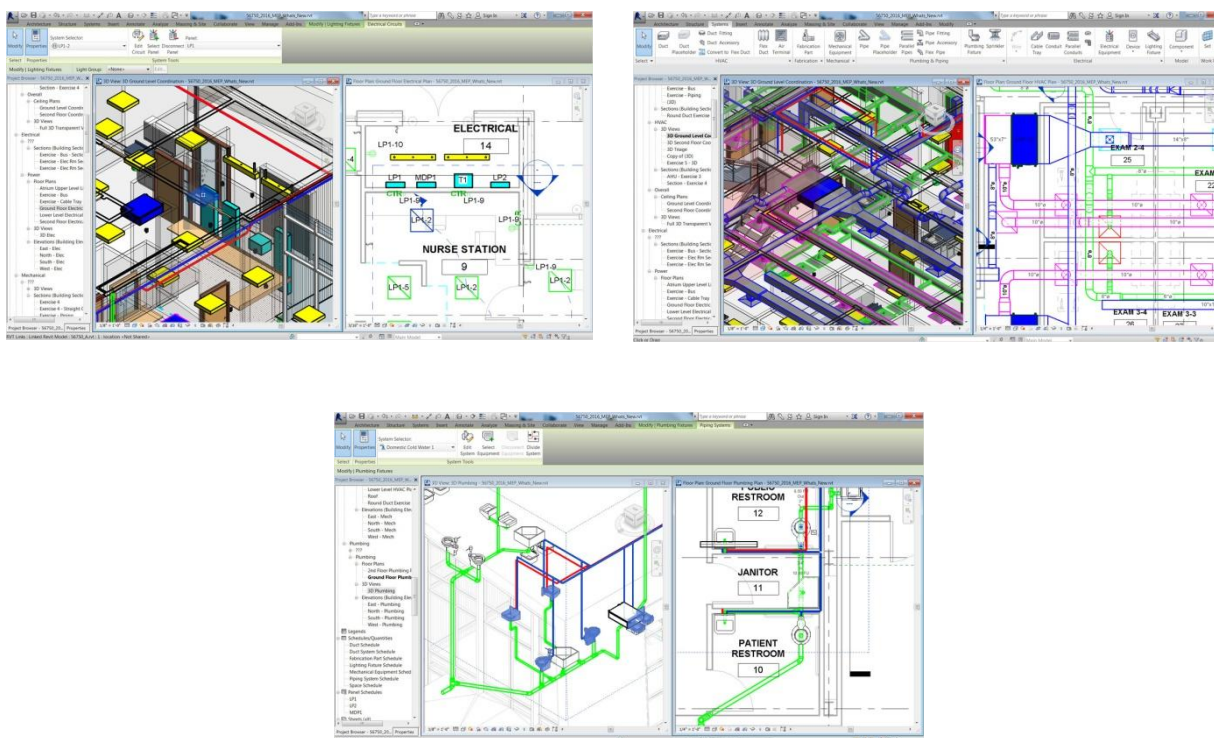
Η εφαρμογή Revit Structural, παρέχει εργαλεία για την δημιουργία αναλυτικού στατικού μοντέλου και το στατικό σχεδιασμό (βλ Εικόνα 4-2). Ο χρήστης μπορεί να υπολογίσει φορτία και να διεξάγει στατική ανάλυση στα πλαίσια της εφαρμογής.



Εικόνα 4-2 Στατική Ανάλυση και Στατικό Μοντέλο στο Revit Structure (Autodesk official site)

### Revit MEP

Παρέχεται η δυνατότητα σχεδιασμού της θέρμανσης, εξαερισμού, κλιματισμού με περιεχόμενο μηχανολογικού σχεδιασμού. Επίσης διατίθενται εργαλεία σχεδιασμού των ηλεκτρολογικών συστημάτων και υδραυλικών εγκαταστάσεων. Τα συστήματα και αντικείμενα που προκύπτουν περιλαμβάνουν ηλεκτρολογική και μηχανολογική πληροφορία. Στην Εικόνα 4-3 φαίνονται στιγμιότυπα οθόνης από το Revit ME.



Εικόνα 4-3 Ηλεκτρολογικός, Μηχανολογικός, Υδραυλικός Σχεδιασμός στο Revit MEP (Autodesk official website)

## 4.2.6 Βασική Ορολογία

Ακολουθεί μία σύντομη περιγραφή και επεξήγηση των βασικών όρων και εργαλείων του Revit, για την καλύτερη κατανόηση της σχεδιαστικής διαδικασίας και του τρόπου που μπορεί να στηθεί ένα μοντέλο.

- Project - Έργο

Είναι η μοναδική βάση όλων των δεδομένων και των πληροφοριών για το μοντέλο (the building information model). Το αρχείο του έργου περιλαμβάνει όλες τις πληροφορίες για το σχεδιασμό του κτιρίου, από τη γεωμετρία έως τα δεδομένα της κατασκευής. Αυτή η πληροφορία συμπεριλαμβάνει τα αντικείμενα που έχουν χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό του μοντέλου, σχέδια και οπτικές της σύνθεσης του έργου. Με τη χρήση ενός και μοναδικού αρχείου το Revit διευκολύνει το χρήστη να κάνει αλλαγές στο σχεδιασμό, οι οποίες θα ενημερωθούν αυτόματα σε όλα τα συσχετιζόμενα σχέδια (κατόψεις, όψεις, τομές, προγράμματα κλπ), διευκολύνοντας έτσι και το συντονισμό του έργου.

- Category-Κατηγορία

Οι κατηγορίες προσδιορίζουν ομάδες αντικειμένων (ομοειδών οικοδομικών στοιχείων) που χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση και την καταγραφή ενός κτιριακού έργου. Για παράδειγμα, τέτοιες κατηγορίες αποτελούν οι τοίχοι, τα παράθυρα, οι κολώνες και τα δοκάρια. Διακριτή κατηγορία αποτελούν τα αντικείμενα σχολιασμού (*annotation elements*), τα οποία περιλαμβάνουν διαστάσεις, ετικέτες, και σημειώσεις κειμένων. Οι κατηγορίες οργανώνονται σε οικογένειες αντικειμένων με παρόμοια χαρακτηριστικά και λειτουργία, όπως εξηγείται παρακάτω.

- Family-Οικογένεια

Πρόκειται για ένα υποσύνολο αντικειμένων μέσα σε μια κατηγορία, στο οποία ομαδοποιούνται τα αντικείμενα που έχουν κοινές ιδιότητες, παρόμοια χρήση, και παρόμοια γραφική αναπαράσταση. Διαφορετικά αντικείμενα σε μια οικογένεια μπορεί να έχουν διαφορετικές τιμές για κάποιες ή για όλες τις ιδιότητες, αλλά έχουν τις ίδιες ιδιότητες (ονομασία, λειτουργία). Για παράδειγμα, μια οικογένεια από στρογγυλές κολώνες από σκυρόδεμα αποτελείται από κολώνες οι οποίες είναι όλες στρογγυλές και από σκυρόδεμα, αλλά ενδέχεται να έχουν διαφορετικά μεγέθη.

Κάθε μέγεθος κολώνας είναι ένας τύπος μέσα στην οικογένεια των Στρογγυλών Κολώνων από Σκυρόδεμα. Αξίζει να αναφερθεί ο διαχωρισμός ανάμεσα στις loadable και τις system families, τις οικογένειες αντικειμένων δηλαδή που μπορούν να φορτωθούν και σε εκείνες που είναι προκαθορισμένες.

- Loadable Families: είναι οικογένειες αντικειμένων που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία των αντικειμένων των κτιρίων όσο και των αντικειμένων σχολιασμού. Οι οικογένειες που μπορούν να φορτωθούν αναπαριστούν τα τμήματα του έργου που συνήθως θα χρειαστεί να αγοραστούν, να παραδοθούν και να εγκατασταθούν μέσα και γύρω από την κατασκευή, όπως κουφώματα, παράθυρα, πόρτες, έπιπλα και άλλα. Επίσης στις οικογένειες αυτές συμπεριλαμβάνονται και κάποια στοιχεία σχολιασμού που συνήθως προσαρμόζονται, όπως σύμβολα και τίτλοι.
- System families: περιλαμβάνουν τύπους οικογενειών που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία βασικών κτηριακών αντικειμένων, όπως οι τοίχοι, τα πατώματα, οι οροφές και οι σκάλες του κτιρίου και περιλαμβάνουν ρυθμίσεις οι οποίες επηρεάζουν το περιβάλλον του έργου. Πρόκειται για προκαθορισμένες ομάδες αντικειμένων του Revit Architecture και σώζονται σε πρότυπα σχεδιασμού (Templates).

Πρέπει να σημειωθεί εδώ, πως η δομή και τα εργαλεία του Revit είναι προσανατολισμένα στη δημιουργία κτιρίων. Τα system families αφορούν κτηριακά στοιχεία και καθώς αυτά έχουν έξυπνη συμπεριφορά διευκολύνουν σημαντικά το σχεδιασμό ενός κτιρίου. Στην παρούσα εργασία τα system families χρησιμοποιήθηκαν σε πολύ περιορισμένα σημεία καθώς το μοντέλο αφορά κατασκευή φράγματος και όλες οι οικογένειες κατασκευάστηκαν εκ νέου ως loadable families.

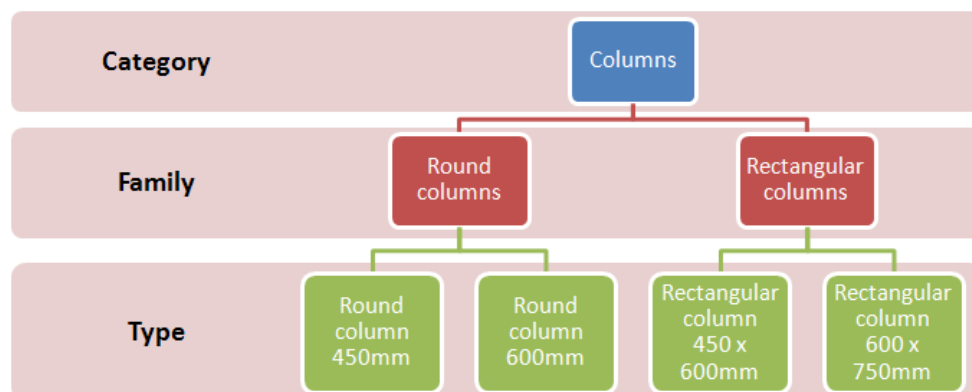
- In-place families: περιλαμβάνουν αντικείμενα που δημιουργούνται από τον χρήστη ξεχωριστά στα πλαίσια του project. Χρησιμοποιούνται για να αναπαραστήσουν αντικείμενα του έργου που έχουν μοναδική γεωμετρία που ο χρήστης δεν σκοπεύει να ξαναχρησιμοποιήσει ή γεωμετρία που πρέπει να διατηρεί μία ή παραπάνω σχέσεις με τη γεωμετρία του υπόλοιπου project.

Επειδή τα in-place αντικείμενα προορίζονται για περιορισμένη χρήση σε ένα μοντέλο, κάθε τέτοιου είδους οικογένεια μπορεί να περιέχει μόνο έναν τύπο. Ο χρήστης μπορεί να δημιουργεί πολλές οικογένειες in-place και να τοποθετεί πολλά ακριβή αντίγραφα του αντικειμένου στο project.

- Type-Τύπος

Πρόκειται για ένα υποσύνολο μέσα σε μία οικογένεια αντικειμένων. Για παράδειγμα η οικογένεια Στρογγυλών Κολώνων από Σκυρόδεμα που αναφέρθηκε παραπάνω, διαχωρίζεται περαιτέρω σε τύπους όπως Στρογγυλή Κολώνα από Σκυρόδεμα διαμέτρου 30εκ, Στρογγυλή Κολώνα από Σκυρόδεμα διαμέτρου 40εκ και Στρογγυλή Κολώνα από Σκυρόδεμα διαμέτρου 50εκ. κοκ.

Στο Διάγραμμα 4-1 απεικονίζεται η ιεράρχηση των στοιχείων που απαρτίζουν ένα έργο στο Revit που αναφέρονται παραπάνω, ενώ στο Διάγραμμα 4-2 φαίνονται όλα τα είδη αντικειμένων που μπορεί να υπάρχουν σε ένα έργο.



**Διάγραμμα 4-1 Δομή και ιεράρχηση των στοιχείων του Revit. (Autodesk official website)**

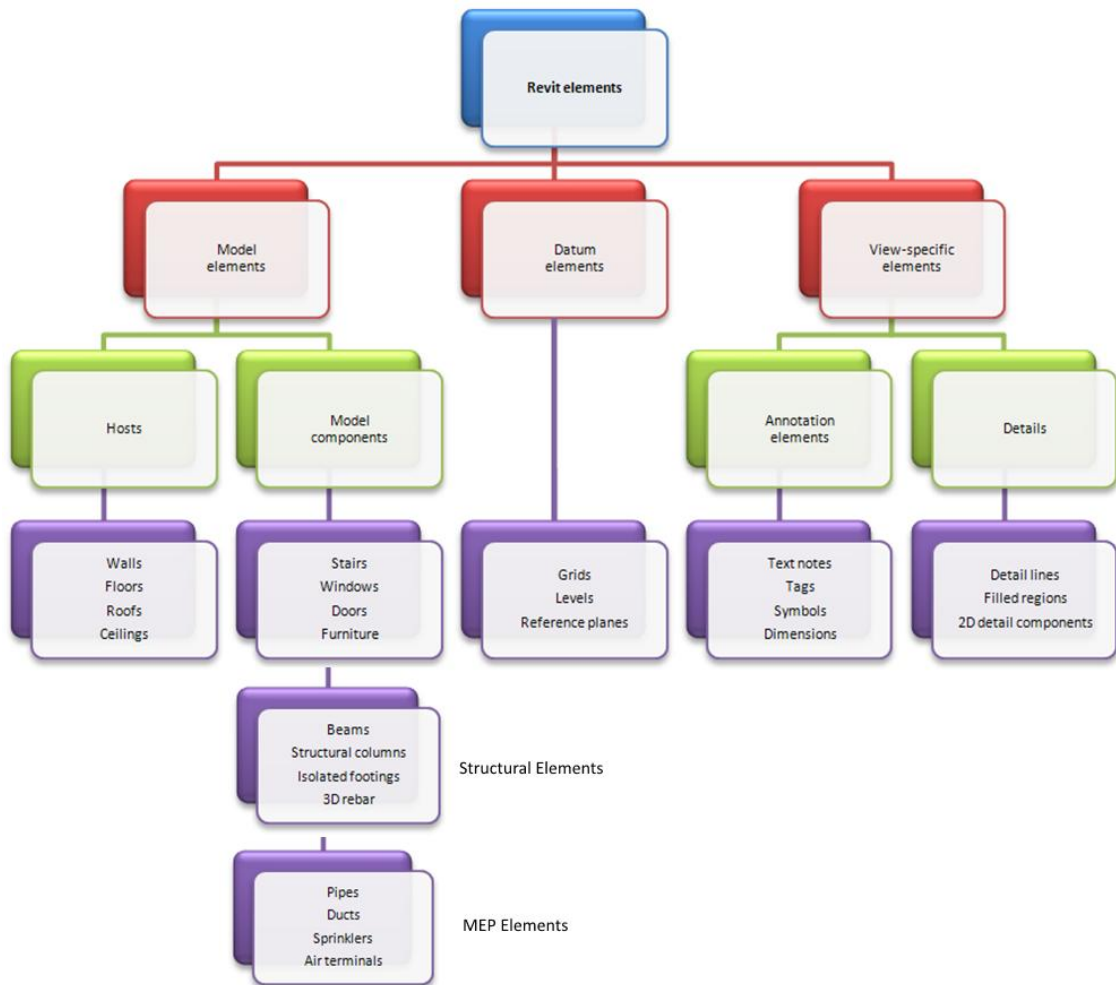
- Αντικείμενα-Elements

Είναι όλα τα στοιχεία από τα οποία αποτελείται ένα project.

Σε ένα έργο το Revit χρησιμοποιεί τρεις τύπους αντικειμένων:

- Model elements - Αντικείμενα μοντελοποίησης, τα οποία αναπαριστούν την πραγματική τρισδιάστατη γεωμετρία των οικοδομικών στοιχείων του κτιρίου (τοιχοί, πόρτες παράθυρα, πλάκες, ράμπες, στέγες κλπ) και απεικονίζονται σε σχετικές οπτικές του μοντέλου.

- Datum elements - Αντικείμενα αναφοράς, που βοηθούν στον προσδιορισμό του περιεχομένου του έργου, όπως για παράδειγμα τα επίπεδα αναφοράς.
- View specific elements - Αντικείμενα εμφάνισης, τα οποία απεικονίζονται μόνο στην οπτική που έχουν δημιουργηθεί και βοηθούν στην περιγραφή και τεκμηρίωση του έργου. Για παράδειγμα, οι διαστάσεις είναι αντικείμενα εμφάνισης



Διάγραμμα 4-2 Είδη αντικειμένων (elements) του Revit (Autodesk official website)

#### 4.2.7 Φάσεις του Έργου - Project Phases

Στο περιβάλλον του Revit, οι φάσεις είναι ξεχωριστές χρονικές περιόδους (βήματα) της ζωής του έργου. Αντιπροσωπεύουν είτε τις χρονικές περιόδους καθαυτές, ή την κατάσταση του έργου σε συγκεκριμένα σημεία στο χρόνο. Σε κάθε project υπάρχει τουλάχιστον μία φάση.

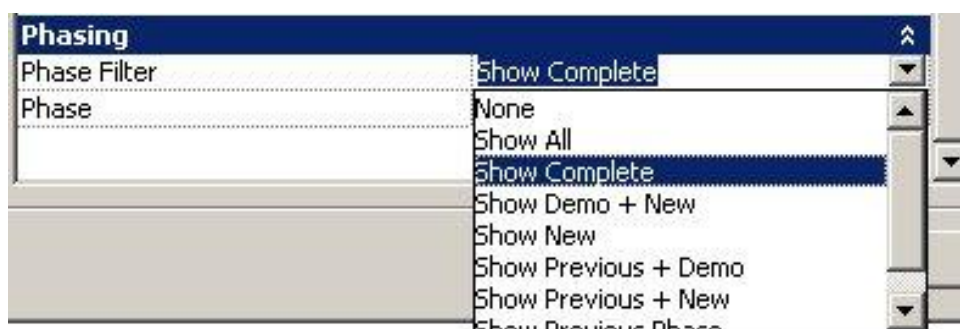


Ως προεπιλογή το Revit δημιουργεί με την έναρξη κάθε project δύο φάσεις που ονομάζονται "Existing" και "New Construction" (Υπάρχον και Νέα Κατασκευή αντίστοιχα). Ο χρήστης μπορεί να αλλάξει τα ονόματα και να προσθέσει όσες άλλες φάσεις επιθυμεί.

Ο καθορισμός φάσεων είναι απαραίτητος όταν:

- Στο έργο υπάρχει ήδη κάποια κατασκευή η οποία πρόκειται να τροποποιηθεί με οποιονδήποτε τρόπο. Συνεπώς πρέπει να δειχθεί το έργο πριν και μετά τις τροποποιήσεις που επιφέρονται.
- Πρέπει να δειχθούν αλλαγές που υλοποιούνται σε φάσεις. Συνεπώς απαιτείται μία σειρά σχεδίων που αναπαριστούν το έργο σε κάθε ξεχωριστή φάση
- Χρησιμοποιείται το Revit για να προβλεφθούν έξοδα ή άλλα στοιχεία που αφορούν μελλοντική περίοδο του κύκλου ζωής του έργου.

Σε κάθε αντικείμενο του project ανατίθεται μία φάση δημιουργίας και ενδεχομένως μία φάση καθαίρεσης ("Phase Created", "Phase Demolished"). Επιπλέον σε κάθε μέσο αναπαράστασης (View) ανατίθεται μία φάση που δηλώνει ποιο σημείο της υλοποίησης του έργου αναπαρίσταται (βλ Εικόνα 4-5). Τέλος ορίζεται ο τρόπος αναπαράστασης των αντικειμένων διαφορετικών φάσεων. Για παράδειγμα σε κάθε view ο χρήστης μπορεί να ορίσει αν θα φαίνονται μόνο τα αντικείμενα της καινούργιας φάσης, ή τα αντικείμενα της προηγούμενης και της καινούργιας φάσης, ή όλα όσα έχουν μοντελοποιηθεί στο έργο, καθώς και ο τρόπος με τον οποίο θα αναπαρίστανται τα αντικείμενα που δημιουργήθηκαν σε διαφορετικές φάσεις.



**Εικόνα 4-5** Επιλογή του τρόπου αναπαράστασης των αντικειμένων με βάση τη φάση κατασκευής τους σε κάποιο phase. (Πηγή: Revit Zone)

## 4.2.8 Συστήματα Ταξινόμησης στο Revit

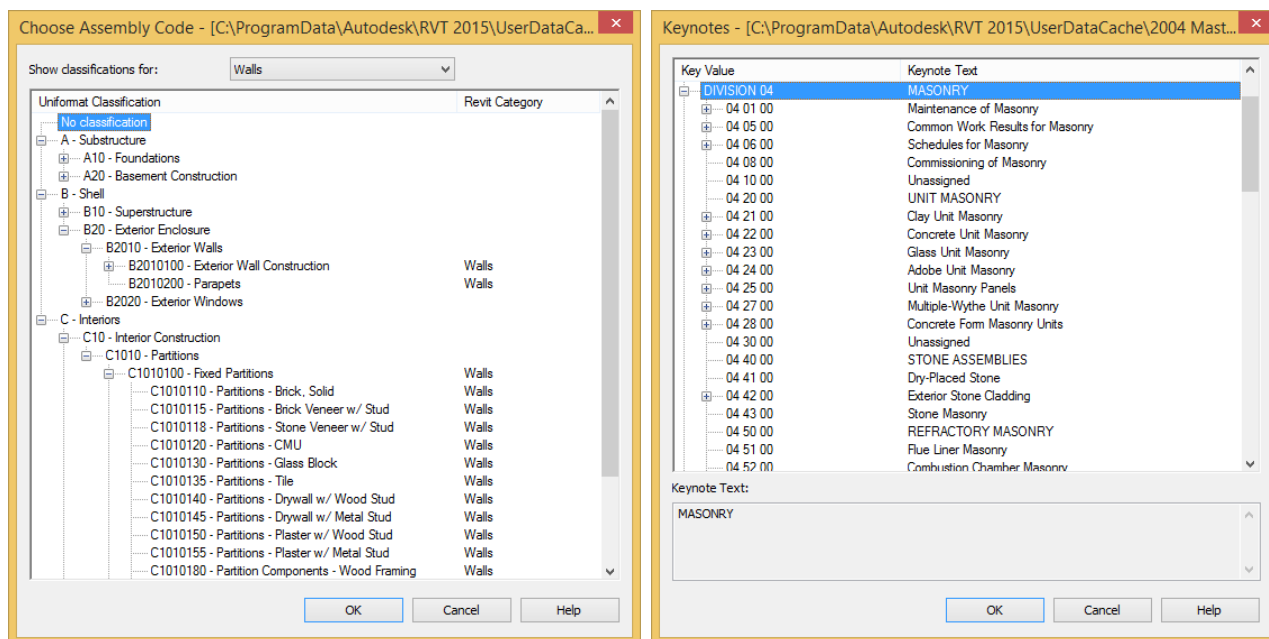
Το Revit έχει ενσωματώσει 3 διαφορετικά συστήματα ταξινόμησης.

Η παράμετρος OmniClass είναι παράμετρος που υπάρχει σε όλες τις οικογένειες (loadable families) αλλά όχι στις οικογένειες συστήματος (system families). Η λίστα που χρησιμοποιείται για ταξινόμηση στο Revit αναφέρεται στον Πίνακα 23-Προϊόντα.

Η παράμετρος Keynote επιτρέπει στο χρήστη να ορίσει έναν αριθμό σε κάθε αντικείμενο του μοντέλου που αντιστοιχείται σε έναν πίνακα (Εικόνα 4-4). Ο πίνακας αυτός είναι ουσιαστικά ο πίνακας του συστήματος MasterFormat. Το MasterFormat όπως και ο Πίνακας 22 του OmniClass αφορά τα «Αποτελέσματα Εργασίας» (Work Results).

Τέλος η παράμετρος Assembly Code είναι άλλη μία παράμετρος ανάθεσης κωδικού ταξινόμησης που αναφέρεται στο σύστημα UniFormat.

Βέβαια η χρήση οποιουδήποτε ταξινομικού συστήματος (όπως το UniClass) είναι δυνατή με την εισαγωγή των πινάκων σε περιβάλλον Revit.



Εικόνα 4-4 Στιγμιότυπο οθόνης Revit. Αριστερά: Assembly Code. Δεξιά: Keynotes

### **4.3 Autodesk Navisworks Manage**

Το Autodesk Navisworks είναι ένα λογισμικό που χρησιμοποιείται για τη συνολική εποπτεία ενός έργου και αποτελεί μία λύση για τη διεξαγωγή αναλύσεων και προσομοιώσεων ενώ εξασφαλίζει σε μεγάλο βαθμό να ανταποκρίνεται η τελική κατασκευή στην αρχική σχεδιαστική πρόθεση.

Όλα τα δεδομένα και οι πληροφορίες ενός έργου που έχουν σχεδιαστεί σε πρόγραμμα που υποστηρίζει τη μεθοδολογία BIM (Building Information Modeling), ψηφιακά πρότυπα και εφαρμογές σχεδιασμού τεχνικών εγκαταστάσεων, συνδυάζονται σε ένα ενιαίο και ολοκληρωμένο μοντέλο. Τα εργαλεία ανίχνευσης σφαλμάτων και συγκρούσεων στο μοντέλο που διαθέτει το πρόγραμμα (clash detection tools), διευκολύνουν τη διαδικασία του σχεδιασμού και της κατασκευής και συμβάλλουν στην αποφυγή πιθανών προβλημάτων πριν την έναρξη των οικοδομικών εργασιών, ελαχιστοποιώντας τις δαπανηρές καθυστερήσεις.

Συνοπτικά, το Navisworks συνδυάζει το χωρικό με το χρονικό συντονισμό ενός έργου για τη δημιουργία 4D προσομοιώσεων και αναλύσεων, δημοσιεύοντας ολόκληρα μοντέλα έργων σε NWD και DWF μορφές αρχείων.

#### **4.3.1 Συνοπτική περιγραφή της λειτουργίας του Navisworks**

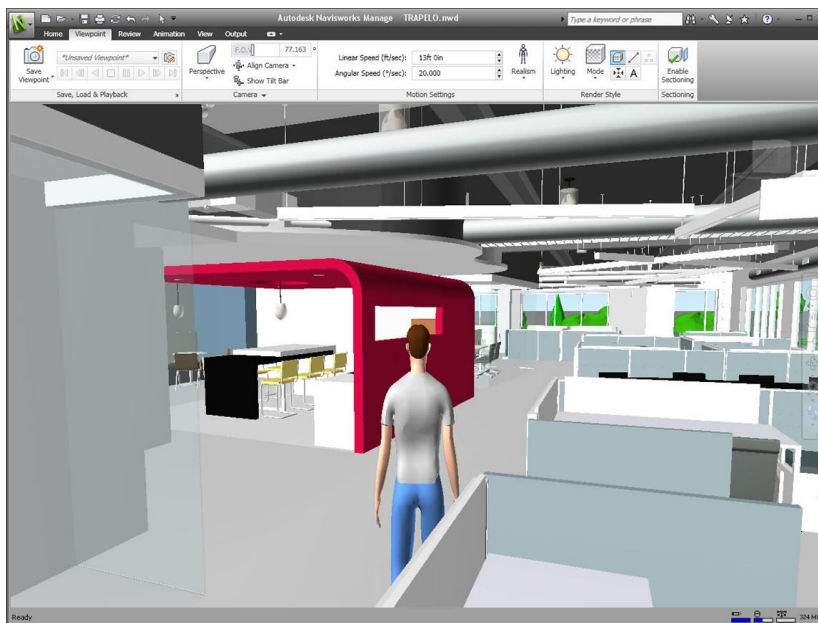
Το Navisworks είναι ένα λογισμικό που σε συνεργασία με άλλα προγράμματα, όπως το Revit υποστηρίζει και ολοκληρώνει τον σχεδιασμό ενός έργου σύμφωνα με τη μεθοδολογία BIM.

Το Navisworks καθιστά δυνατή την σύνδεση όλων των διαφορετικών 3D μοντέλων που έχουν παραχθεί στο Revit σε ένα ενιαίο και κεντρικό. Ένας από τους σκοπούς δημιουργίας του Navisworks είναι η σύνδεση αρχείων που υποστηρίζουν BIM με συνήθη προγράμματα χρονικού προγραμματισμού κατασκευής όπως τα Microsoft Project, Primavera και άλλα. Συνδέοντας έτσι τα αρχεία χρονικού προγραμματισμού με το συνολικό 3D μοντέλο παράγεται ένα νέο μοντέλο 4D, όπου η τέταρτη διάσταση είναι ο χρόνος.

Επιπλέον το Navisworks διαθέτει κι πολλά εργαλεία παρουσίασης, ανάλυσης και συντονισμού τα κυριότερα εκ των οποίων παρουσιάζονται παρακάτω.

### 4.3.2 Φωτορεαλιστική Οπτικοποίηση του έργου και περιήγηση σε πραγματικό χρόνο.

Το Navisworks παρέχει λειτουργίες που ενισχύουν το ρεαλισμό στην εμφάνιση του μοντέλου και αποδίδουν ακρίβεια στην όψη των υλικών που χρησιμοποιούνται, στο φωτισμό, φυσικό background, ενσωματώνοντας ακόμη και πραγματικά τοπία. Μπορεί κανείς να επεξεργαστεί με το Navisworks κάθε στοιχείο του μοντέλου και να δημιουργήσει ένα φωτορεαλιστικό αποτέλεσμα στο οποίο μπορεί να περιηγηθεί εικονικά. Η περιήγηση σε πραγματικό χρόνο (Real time navigation) παρέχει στο χρήστη μία πολύ ρεαλιστική εμπειρία, το έργο παρουσιάζεται ακριβώς όπως θα είναι όταν κατασκευαστεί πριν την κατασκευή του. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 4-5 η λειτουργία Real Time Navigation μπορεί να γίνει και με την προσθήκη ενός avatar, ενός τρίτου προσώπου δηλαδή που περιφέρεται στο έργο δίνοντας ρεαλιστική αίσθηση και αντίληψη στο χρήστη.



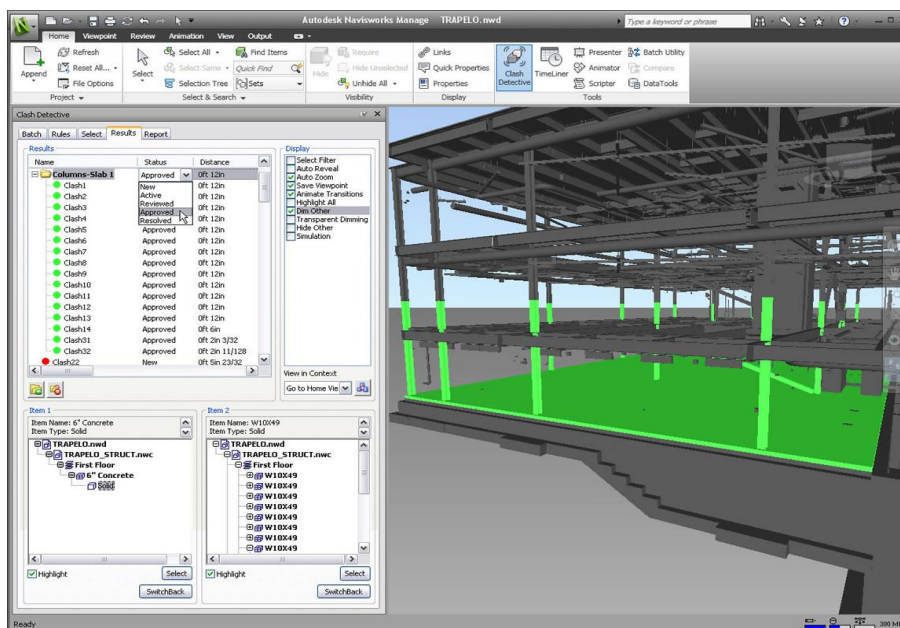
Εικόνα 4-5 Περιήγηση σε πραγματικό χρόνο. . (Autodesk official website)

### 4.3.3 Εντοπισμός και Διαχείριση Παρεμβολών και Συγκρούσεων (Clash Detection and Interference checking and Management)

Πρόκειται για ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία του Navisworks, μία λειτουργία που εντάσσεται στη μεθοδολογία BIM και δίνει στο χρήστη το σημαντικό προνόμιο του να επιλύει προβλήματα στο σχεδιασμό πριν την εμφάνισή τους στην φάση της κατασκευής.

Σε μεγάλα έργα είναι πολύ πιθανό να εμφανιστούν «συγκρούσεις» ανάμεσα σε αντικείμενα των διαφορετικών μελετών. Επειδή οι διαφορετικοί μελετητές δεν μπορούν να έχουν πλήρη εποπτεία ολόκληρου του έργου όταν συντάσσουν τις μελέτες και τα σχέδια (αρχιτεκτονικά, στατικά, ηλεκτρομηχανολογικά κλπ), είναι πολύ συχνό φαινόμενο ο ίδιος χώρος να καταλαμβάνεται από περισσότερα αντικείμενα. Αυτές οι παρεμβολές συνήθως γίνονται αντιληπτές στη φάση κατασκευής προκαλώντας προβλήματα και καθυστερήσεις.

Το Navisworks δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα, αφού τα μοντέλα που αντιστοιχούν στις διαφορετικές μελέτες ενσωματωθούν σε ένα ενιαίο, να πραγματοποιηθεί έλεγχος για εύρεση τέτοιων συγκρούσεων. Υπάρχουν εξειδικευμένα εργαλεία, που μπορούν όχι μόνο να εντοπίσουν την πιθανή παρεμβολή, αλλά και –μέσω της δυναμικής σύνδεσης με το πρόγραμμα κατασκευής του μοντέλου (Revit)- να οδηγήσουν το χρήστη στην επίλυση του προβλήματος, ακόμη και να παρακολουθούν την πορεία της επίλυσης.



Εικόνα 4-6 Στιγμιότυπο οθόνης του Autodesk Navisworks κατά την πραγματοποίηση ελέγχου συγκρούσεων με το Clash Detective Tool. (Autodesk official website)

Πρόκειται για ένα BIM εργαλείο το οποίο επιτρέπει να καθοριστούν οι κανόνες για την ανίχνευση σφαλμάτων, παρέχει τη δυνατότητα προβολής των αποτελεσμάτων, την ταξινόμησή τους, και τη δημιουργία μιας έκθεσης αναφοράς με τη μορφή αρχείου κειμένου ή με τη μορφή HTML ή XML.

Η διαχείριση μίας σειράς από ανιχνεύσεις σφαλμάτων μπορεί να είναι πολύ περίπλοκη, ειδικά αν υπάρχουν πολλές διαφορετικές ενότητες όπου χρειάζεται να γίνει ο έλεγχος ξεχωριστά. Η λειτουργία αυτή στο Navisworks έχει σχεδιαστεί για να βοηθάει το χρήστη να ελέγχει την κατασκευή σε όλη τη διάρκεια ζωής του έργου. Υπάρχει βέβαια αντίστοιχο εργαλείο και στο Revit, που ονομάζεται Interference Checking Tool, οι δυνατότητες του οποίου είναι σχετικά περιορισμένες. Στον παρακάτω πίνακα γίνεται μία σύγκριση των χαρακτηριστικών ανίχνευσης σύγκρουσης στο Navisworks και στο Revit.

<b>ΕΝΤΟΛΕΣ ΠΟΥ ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΟΥΝ</b>	<b>AUTODESK NAVISWORKS</b>	<b>AUTODESK REVIT</b>
ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ-ΣΥΓΚΡΟΥΣΕΩΝ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΙΝΑΚΩΝ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ	ΝΑΙ	ΟΧΙ
ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΘΕΣΗΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ	ΝΑΙ	ΟΧΙ
ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ	ΝΑΙ	ΟΧΙ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ	ΝΑΙ	ΟΧΙ
ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΕΝΤΟΛΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ	ΝΑΙ	ΟΧΙ
ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΟΡΙΣΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΟ ΧΡΗΣΤΗ	ΝΑΙ	ΟΧΙ
ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΕΛΕΓΧΩΝ	ΝΑΙ	ΟΧΙ
ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΧΡΟΝΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ	ΝΑΙ	ΟΧΙ

**Πίνακας 4-1 Σύγκριση των δυνατοτήτων του Autodesk Navisworks και Revit στην Ανίχνευση και Διαχείριση Συγκρούσεων. (Κεφεκέ 2014)**

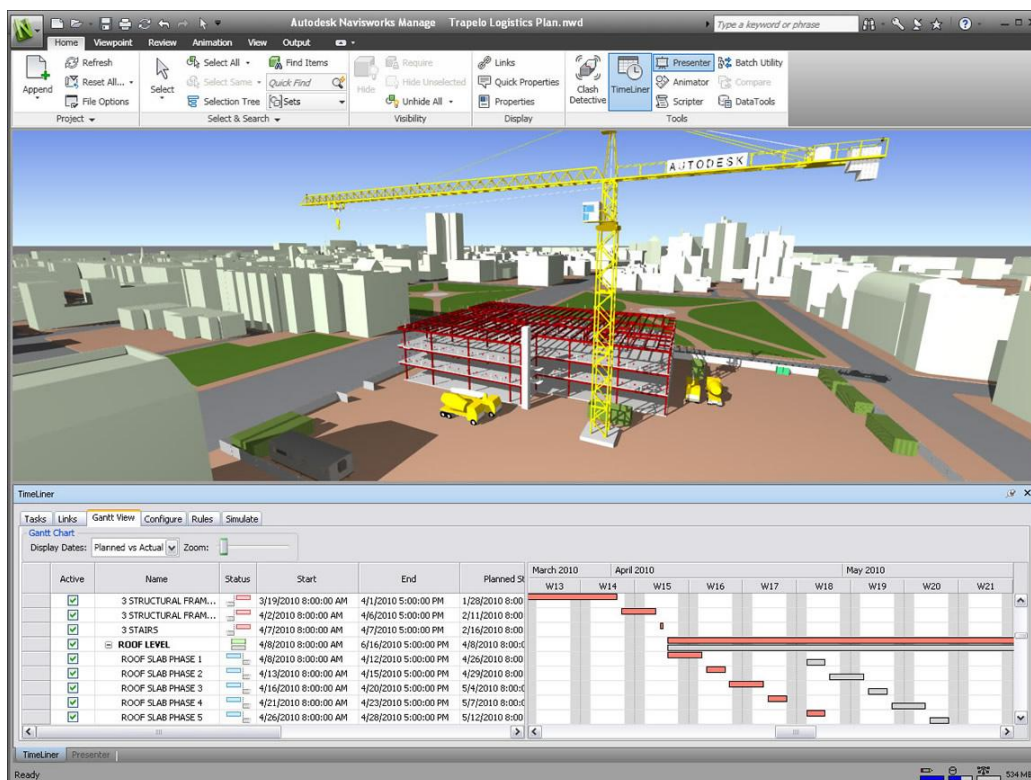
#### **4.3.4 Προσομοίωση Χρονοδιαγράμματος Κατασκευής και 4D**

##### **Modeling**

Μία από τις πιο σημαντικές εφαρμογές του Autodesk Navisworks σχετικά με τη διαχείριση τεχνικών έργων είναι αυτή του χρονικού προγραμματισμού. Στα πλαίσια του λογισμικού αυτού μπορεί να προστεθεί η τέταρτη διάσταση, αυτή του χρόνου και να πραγματοποιηθεί

το επόμενο βήμα για την εφαρμογή μεθοδολογίας BIM. Το 4D modeling γίνεται μέσω του εργαλείου Timeliner του Navisworks.

Το εργαλείο αυτό επιτρέπει τη δημιουργία χρονοδιαγραμμάτων με τον ορισμό των δεδομένων τους είτε εξαρχής στο Navisworks, είτε μέσω εισαγωγής τους από άλλα προγράμματα (Microsoft Project, Asta, Primavera). Στη συνέχεια γίνεται η σύνδεση των εργασιών του χρονοδιαγράμματος με αντικείμενα του μοντέλου ώστε να δημιουργηθεί μια 4D προσομοίωση. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται και η οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων και εξυπηρετείται η σύγκριση των προβλεπόμενων ημερομηνιών με τις πραγματικές. Είναι επίσης εφικτή η εξαγωγή φωτογραφιών και βίντεο σε οποιοδήποτε στάδιο της προσομοίωσης κατασκευής. Βεβαίως οποιαδήποτε αλλαγή γίνεται στο μοντέλο ή στο χρονοδιάγραμμα ενημερώνεται αυτόματα στην προσομοίωση. Αν οι αλλαγές γίνουν εκτός περιβάλλοντος Navisworks, χάρη στη δυνατότητα του προγράμματος να διατηρεί δυναμικές συνδέσεις με τα εξωτερικά αρχεία που εισάγει, μπορεί να γίνει αυτόματη ενημέρωση στα δεδομένα που έχουν εισαχθεί στο Navisworks.



Εικόνα 4-7 Στιγμιότυπο οθόνης από το εργαλείο TimeLiner του Navisworks. (Autodesk official website)

Το εργαλείο TimeLiner του Navisworks μπορεί να συνδυαστεί και με άλλα εργαλεία του λογισμικού:

- Συνδέοντας το εργαλείο TimeLiner με το εργαλείο Object Animation ενεργοποιείται η δυνατότητα να προγραμματιστεί η διαδικασία κατασκευής με βάση την κίνηση των αντικειμένων. Δηλαδή να προγραμματιστεί η διαχείριση του διαθέσιμου χώρου στο εργοτάξιο. Για παράδειγμα, το TimeLiner μπορεί να υποδείξει ότι όταν ένας γερανός πραγματοποιεί μετακινείται από το σημείο εκκίνησης στο σημείο τερματισμού του κύκλου του, ένα συγκεκριμένο απόγευμα, μία ομάδα τεχνιτών που εργάζεται εκείνη τη στιγμή κοντά εμποδίζει την κίνηση αυτή.
- Συνδέοντας το TimeLiner με το Clash Detective Tool ενεργοποιείται η δυνατότητα πραγματοποίησης ελέγχου συγκρούσεων που βασίζονται στο χρόνο.
- Συνδέοντας το TimeLiner με το Clash Detective και το Object Animation Tool ενεργοποιείται η δυνατότητα ανίχνευσης σφαλμάτων σε πλήρως animated μοντέλο. Δηλαδή αντί να πρέπει ο χρήστης να παρατηρήσει την προσομοίωση του χρονοδιαγράμματος για να διαπιστώσει εάν ο γερανός θα συγκρουστεί με τους εργάτες μπορεί απλώς να τρέξει έναν έλεγχο ανίχνευσης συγκρούσεων.

Αξίζει εδώ να σημειωθεί πως το Navisworks παρέχει και δυνατότητα 5D μοντελοποίησης. Το εργαλείο TimeLiner παρέχει δυνατότητα σύνδεσης κάθε εργασίας (Task) με το αντίστοιχο κόστος. Έτσι η πορεία της κατασκευής στο χρόνο συνδέεται με τον χρονικό προσδιορισμό της ροής χρηματικών πόρων που αφορά την κατασκευή.

#### **4.4 Λοιπά τεχνολογικά εργαλεία BIM**

Η εφαρμογή της μεθοδολογίας BIM απαιτεί εξειδικευμένο λογισμικό που να μπορεί να καλύψει τις ανάγκες του σχεδιασμού, υλοποίησης και διαχείρισης της κατασκευής καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής της. Το Revit και το Navisworks είναι πολύ δημοφιλείς επιλογές, υπάρχουν ωστόσο και διάφορα άλλα λογισμικά, κάποια εξίσου δημοφιλή.

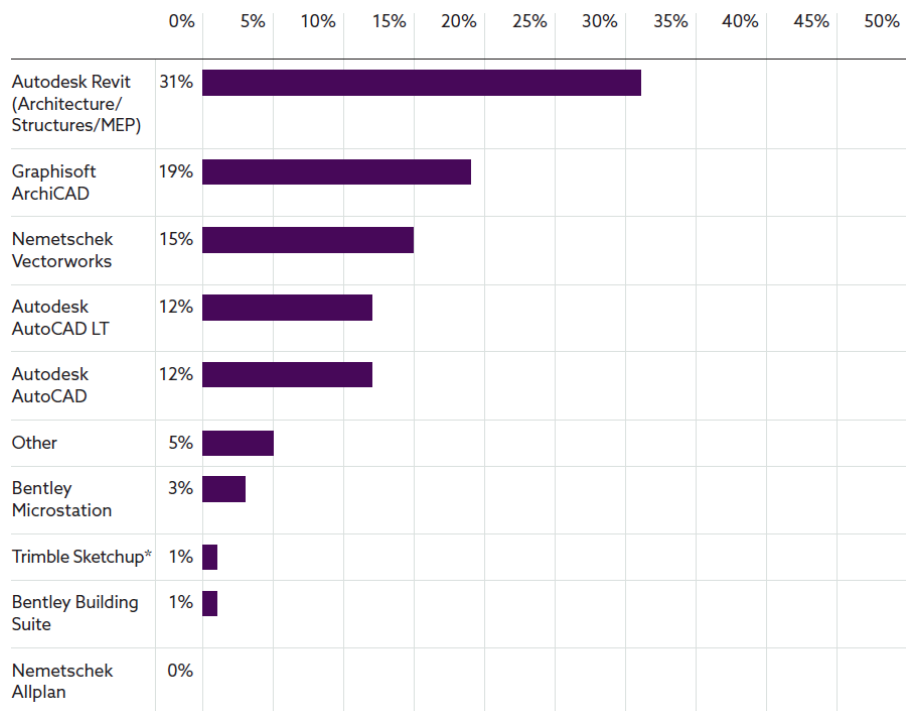
Ο Πίνακας 4-2 είναι μία ενδεικτική λίστα λογισμικών ανά κλάδο/στάδιο ζωής του έργου.



A/A	ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ	ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ	ΣΤΑΔΙΟ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΕΡΓΟΥ
1.	Revit Architecture	Autodesk (US)	Αρχιτεκτονικές μελέτες
2.	ArchiCAD	Graphisoft (Hungary)	Αρχιτεκτονικές μελέτες
3.	Architecture	Bentley (UK)	Αρχιτεκτονικές μελέτες
4.	Vectorworks Architect	Nemetschek (Germany)	Αρχιτεκτονικές μελέτες
5.	IDEA Architectural	4M (Ελλάδα)	Αρχιτεκτονικές μελέτες
6.	Envisioneer	CADSoft (Australia)	Αρχιτεκτονικές μελέτες
7.	RevitStructure	Autodesk (US)	Στατικές μελέτες
8.	Structural Modeler	Bentley (UK)	Στατικές μελέτες
9.	Structures	Tekla (Finland)	Στατικές μελέτες
10.	Scia	Nemetschek (Germany)	Στατικές μελέτες
11.	Stradand Steel	4M (Ελλάδα)	Στατικές μελέτες
12.	Revit MEP	Autodesk (US)	Ηλεκτρομηχανολογικές μελέτες
13.	Hevacomp Mechanical Designer	Bentley (UK)	Ηλεκτρομηχανολογικές μελέτες
14.	FineHVAC	4M (Ελλάδα)	Ηλεκτρομηχανολογικές μελέτες
15.	Navisworks	Autodesk (US)	Κατασκευή, διαχείριση έργου
16.	ModelChecker	Solibri (Hungary)	Κατασκευή, διαχείριση έργου
17.	Vico Office Suite	Trimble (US)	Κατασκευή, διαχείριση έργου
18.	ConstrucSim	Bentley (UK)	Κατασκευή, διαχείριση έργου
19.	BIMSight	Tekla (Finland)	Κατασκευή, διαχείριση έργου
20.	Synchro Professional	Synchro Ltd (US)	Κατασκευή, διαχείριση έργου
21.	Bentley Facilities	Bentley (UK)	Διαχείριση εγκατάστασης (Facility management)
22.	Vintocon ArchiFM (ForArchiCAD)	Graphisoft (Hungary)	Διαχείριση εγκατάστασης (Facility management)

Πίνακας 4-2 Λογισμικά BIM (Στρατήγη 2015)

Στην έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τον οργανισμό National BIM Standards στο Ηνωμένο Βασίλειο το 2016 μετρήθηκαν τα ακόλουθα ποσοστά χρήσης διαφορετικών λογισμικών BIM (βλ. Διάγραμμα 4-3)



**Διάγραμμα 4-3 Χρήση λογισμικών BIM (NBS National BIM Report 2016)**

## **Κεφάλαιο 5. Μελέτη Περίπτωσης**

### **5.1 Σημείωση**

Για την πραγματοποίηση της παρούσας εργασίας αναπτύχθηκε εξ' αρχής Πληροφοριακό Μοντέλο Έργου για ένα φράγμα κατασκευασμένο από Σκληρό Επίχωμα. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν τα παραδοτέα σχέδια, τεχνική έκθεση και χρονοδιάγραμμα του έργου του φράγματος Βαλσαμιώτη. Τα σχέδια και τα έγγραφα χορηγήθηκαν από το Τμήμα Κατασκευών και Διεύθυνσης Μελετών και Κατασκευών του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων.

Το μοντέλο που δημιουργήθηκε αποτελεί σε γενικές γραμμές πιστή αναπαράσταση του έργου, τηρώντας όλες τις βασικές διαστάσεις και συμπεριλαμβάνοντας το σύνολο των συναφών έργων με όσες περισσότερες λεπτομέρειες είναι δυνατόν και δίνονται στην Οριστική Μελέτη του έργου. Ορισμένα στοιχεία δεν αναπαρίστανται πλήρως, αφ' ενός διότι η κατάρτιση ενός τέτοιου μοντέλου θα ήταν ιδιαίτερος χρονοβόρα και θα ξέφευγε των στόχων της παρούσας εργασίας, αφ' ετέρου δεν ήταν διαθέσιμα όλα τα απαραίτητα σχετικά τεχνικά δεδομένα ή προδιαγραφές κατασκευής. Ωστόσο το Π.Μ.Ε. που δημιουργήθηκε βασίστηκε στο συγκεκριμένο έργο, το οποίο εγκαινιάστηκε τον Μάρτιο του 2014.

### **5.2 Επιλογή τεχνικού έργου- Το φράγμα Βαλσαμιώτη**

Το φράγμα που επιλέχθηκε βρίσκεται στο Νομό Χανίων, στο βορειοανατολικό άκρο του ρέματος Βαλσαμιώτη και απέχει 900 m περίπου από το χωριό Βατόλακκος. Το έργο σχεδιάστηκε, μελετήθηκε και άρχισε να υλοποιείται από τον Οργανισμό Ανάπτυξης Δυτικής Κρήτης (Ο.Α.ΔΥ.Κ) με χρηματοδότηση από το πρόγραμμα δημοσίων επενδύσεων, στην πορεία συμμετείχε και το υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης που το χρηματοδότησε με δικά του προγράμματα, ενώ μέρος του κόστους κατασκευής κάλυψε και η Περιφερειακή Ενότητα Χανίων.

#### ***Τεχνικά Χαρακτηριστικά Φράγματος***

- Ύψος φράγματος από το φυσικό έδαφος: 67,2 m
- Στάθμη συγκράτησης: +190,00 m
- Στάθμη στέψης: +191,30 m

- Όγκος φράγματος: 600.000 m<sup>3</sup>
- Όγκος νερού ταμιευτήρα: 6 hm<sup>3</sup>
- Εκμεταλλεύσιμος όγκος νερού: 5,9 hm<sup>3</sup>
- Μήκος στέψης: 320,00 m
- Πλάτος στέψης: 5,5 m
- Κλίσεις πρανών: 1 : 0,8

### ***Υλικά κατασκευής φράγματος***

Το φράγμα κατασκευάστηκε από στρώσεις σκληρού επιχώματος. Σύμφωνα με την τεχνική έκθεση το σώμα του κατασκευάζεται από στρώσεις 0,30 m ισχνού σκυροδέματος. Στις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιήθηκε σκυρόδεμα κατηγορίας B15 ενώ για ειδικές θέσεις χρησιμοποιήθηκε σκυρόδεμα B25. Το άοπλο σκυρόδεμα που χρησιμοποιήθηκε είναι κατηγορίας B5 και B10. Οι οπλισμοί είναι κατηγορίας St III, St I, και St IV.



**Εικόνα 5-1 Το Φράγμα Βαλαμιώτη (Google Earth)**

### 5.3 Παραδοχές μελέτης περίπτωσης

Πρωταρχικό μέλημα πριν την υλοποίηση οποιασδήποτε μεθοδολογίας είναι η καταγραφή των παραδοχών και η οριοθέτηση των στόχων. Στην παρούσα εργασία τα ερωτήματα που τέθηκαν είναι τα εξής:

- Ποιο είναι το τεχνικό έργο που μελετάται και ποια τα βασικά του χαρακτηριστικά ως προς τις τεχνικές και συμβατικές του απαιτήσεις;
- Σε τι επίπεδο θα αναπτυχθεί το μοντέλο BIM; Πόση λεπτομέρεια θα υπάρχει στην αναπαράσταση;
- Σε ποιες λειτουργίες και χαρακτηριστικά της μεθοδολογίας θα επικεντρωθεί η εργασία;
- Τι λογισμικό και τεχνικές υποδομές θα χρησιμοποιηθούν

Στα ακόλουθα εδάφια παρουσιάζονται όλες οι σχετικές παραδοχές που γίνονται στα πλαίσια της παρούσας εργασίας για την απάντηση των ανωτέρω ερωτημάτων.

#### 5.3.1 Τα περιεχόμενα του μοντέλου

Για τους σκοπούς της εργασίας μοντελοποιήθηκαν επιλεγμένες εργασίες του φράγματος με περιορισμένη λεπτομέρεια. Τα τμήματα του έργου που επιλέχθηκαν και περιλαμβάνονται στο έργο είναι τα εξής:

1. Εκσκαφές
2. Πρόφραγμα
3. Αγωγός Εκτροπής
4. Σώμα Φράγματος
5. Υπερχειλιστής
6. Υδροληψία
7. Εκκένωση
8. Στέψη
9. Ανάντη Μανδύας Στεγανότητας
10. Λεκάνη Ηρεμίας
11. Στοά Τσιμεντενέσεων
12. Σήραγγες και Στοές Αποστραγγίσεων

13. Τιμεντενέσεις
14. Αποστραγγίσεις
15. Κομμάτι της Οδοποιίας
16. Οικίσκος
17. Φωτισμός Δρόμων

Τα κριτήρια με τα οποία επιλέχθηκαν οι συγκεκριμένες εργασίες είχαν να κάνουν με το βαρύτητα του κόστους της κάθε εργασίας στο συνολικό προϋπολογισμό του έργου, με την σημασία της κάθε εργασίας στο χρονικό προγραμματισμό και με την ευκολία στην αναπαράσταση χρησιμοποιώντας το λογισμικό Revit. Στόχος ήταν η αποτύπωση των πιο σημαντικών εργασιών ως προς το χρονικό προγραμματισμό για την υλοποίηση του BIM 4D.

### **5.3.2 Επίπεδο Ανάπτυξης και Επίπεδο λεπτομέρειας (LOD)**

Όπως έχει καταγραφεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, το επίπεδο λεπτομέρειας και το επίπεδο ανάπτυξης, παρόλο που συγχέονται συχνά έχουν διαφορετική σημασία. Το επίπεδο ανάπτυξης (Level of Development) έχει να κάνει με τον βαθμό στον οποίο ο σχεδιασμός του έργου έχει προχωρήσει, ενώ το επίπεδο λεπτομέρειας (Level of Detail). Στην συγκεκριμένη περίπτωση το έργο έχει ήδη κατασκευαστεί, και ως εκ τούτου όσον αφορά στην δημιουργία ενός Πληροφοριακού Μοντέλου Έργου για τους σκοπούς της εργασίας, αυτό που μας ενδιαφέρει είναι το επίπεδο λεπτομέρειας.

Τα επιμέρους στοιχεία του έργου δύναται να αποδοθούν έως το επίπεδο LOD 200. Αναπαρίστανται δηλαδή ως γενικά αντικείμενα με προσεγγιστικές ποσότητες, γεωμετρίες, τοποθεσίες και προσανατολισμό. Ωστόσο ξεπερνούν το πολύ πρωταρχικό επίπεδο LOD 100 όπου τα αντικείμενα έχουν πολύ γενικές μορφές και απλώς καταλαμβάνουν κάποιο χώρο στο μοντέλο. Αντίθετα στο μοντέλο που κατασκευάστηκε τα στοιχεία του μοντέλου έχουν γεωμετρία που προσεγγίζει την πραγματικότητα. Με βάση όλα τα ανωτέρω, το πληροφοριακό μοντέλο που δημιουργήθηκε αντιστοιχεί σε ένα μοντέλο LOD200 που θα αναπτύσσονταν σε στάδιο Οριστικής Μελέτης, χωρίς τεκμηρίωση δημοπράτησης.

Στα μεγαλύτερα επίπεδα LOD 300, 350, 400 και 500 οι αναπαραστάσεις είναι ακριβείς, εμπεριέχονται στο μοντέλο όλες οι μη γραφικές πληροφορίες και προκύπτουν από τα

revisions του έργου σε προχωρημένο στάδιο μελέτης. Στην περίπτωση δε του επιπέδου 500 το μοντέλο αφορά την αποπεράτωση του έργου (as built μοντέλο για τη διαχείριση λειτουργία και συντήρηση του έργου). Αν και το έργο έχει κατασκευαστεί, οι πληροφορίες που θα συνέθεταν ένα μοντέλο LOD500 δεν ήταν διαθέσιμες.

### **5.3.3 Επίπεδο ωριμότητας (BIM Maturity Level)**

Οι παραδοχές που έγιναν σχετικά με το επίπεδο ωριμότητας έχουν ως εξής:

- Ο πραγματικός σχεδιασμός του έργου του φράγματος Βαλσαμιώτη έγινε σε επίπεδο ωριμότητας 0, όπως όλα σχεδόν τα έργα στην Ελλάδα. Ο σχεδιασμός έγινε σε 2 διαστάσεις, η παράδοση και ο διαμοιρασμός όλων των εγγράφων έγινε σε χαρτί, και δεν υπήρξε διασυνδεσιμότητα μεταξύ αρχείων.
- Επειδή στην παρούσα εργασία δεν υπάρχει ομάδα που σχεδιασμού και κατασκευής του έργου δεν μπορεί να διατυπωθεί ακριβώς το επίπεδο ωριμότητας, διότι εκείνο θα αφορούσε το επίπεδο συνεργασίας συντελεστών και μοντέλων. Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται κυρίως στον χρονικό προγραμματισμό των εργασιών για την κατασκευή του φράγματος, και έτσι το μοντέλο είναι εννοιολογικό. Δεν τίθεται λοιπόν θέμα ενσωμάτωσης διαφορετικών μοντέλων σε κοινή πλατφόρμα (αρχιτεκτονικό, στατικό, ηλεκτρολογικό, μηχανολογικό).

### **5.3.4 Επίπεδο Διαστάσεων (BIM Dimension Level)**

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας επιχειρήθηκε να εφαρμοστεί μεθοδολογία BIM 3D, 4D και 5D. Το μοντέλο που κατασκευάστηκε αφορά τα κυρίως τμήματα του έργου που επιλέχθηκαν, και εφαρμόστηκε μελέτη βελτιστοποίησης του χρονικού προγραμματισμού των εργασιών για την κατασκευή του έργου. Επιπλέον έγινε σύνδεση του μοντέλου με εργαλεία εκτίμησης και παρακολούθησης κόστους. Η έκτη διάσταση έχει να κάνει με την λειτουργία και τη διαχείριση της εγκατάστασης μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής, και δε μελετήθηκε στα πλαίσια της πρακτικής εφαρμογής της εργασίας.

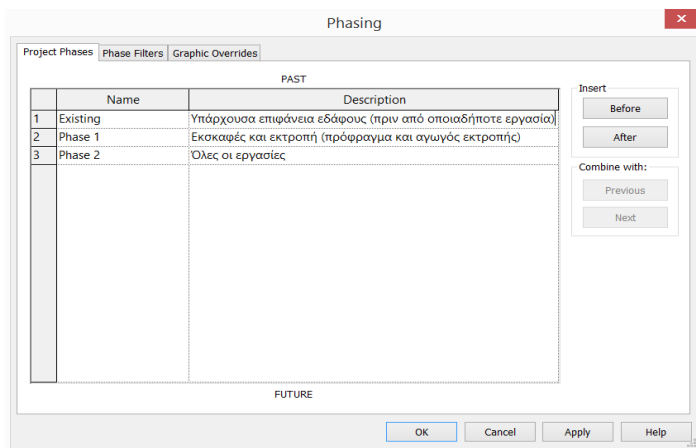
### **5.3.5 Λογισμικό**

Έγινε χρήση της εκπαιδευτικής εκδοχής του Revit για την κατάρτιση του Πληροφοριακού Μοντέλου του Έργου, και εκπαιδευτικής εκδοχής του Navisworks για την συντονισμό των

εργασιών, την οπτικοποίηση της αλληλουχίας των κατασκευαστικών δραστηριοτήτων και την διερεύνηση διαφορετικών σεναρίων που αφορούν το χρονοδιάγραμμα κατασκευής. Επίσης χρησιμοποιήθηκε το Civil3d για την επεξεργασία των σχεδίων του φράγματος. Τα προγράμματα αυτά της Autodesk είναι διαθέσιμα σε φοιτητές για εκπαιδευτικούς σκοπούς μέσω της επίσημης ιστοσελίδας της εταιρίας. Για την διαμόρφωση χρονοδιαγράμματος χρησιμοποιήθηκε MS Project και το MS Excel ως βοηθητικό εργαλείο.

### 5.3.6 Φάσεις (Phases)

Για τις ανάγκες τις εργασίας δημιουργήθηκαν 3 φάσεις. Η πρώτη, που ονομάζεται existing (υπάρχον) και δημιουργείται αυτομάτως με κάθε καινούριο project. Σε αυτήν αποθηκεύτηκε η αρχική επιφάνεια. Στη δεύτερη φάση περιέχεται η επιφάνεια εδάφους με ολοκληρωμένες όλες τις χωματοургικές εργασίες και οι εργασίες εκτροπής, δηλαδή το πρόφραγμα και ο αγωγός εκτροπής. Στην τρίτη φάση περιέχεται το πλήρες μοντέλο με όλα τα αντικείμενα. Παρόλο που δεν υπήρχαν εργασίες αλληλοαναιρούμενες, δηλαδή εργασίες που στην πορεία του έργου καθαιρούνται ή αναιρούνται για να πραγματοποιηθούν στη θέση τους άλλες, η δημιουργία περισσότερων από μία φάσεων ήταν απαραίτητη, διότι είναι ο μόνος τρόπος να μοντελοποιηθούν οι μετατροπές στην τοπογραφία διατηρώντας τα στοιχεία της αρχικής επιφάνειας. Έτσι, μέσω των εργαλείων του Revit, είναι δυνατό να υπολογιστούν αυτομάτως οι ποσότητες που αφορούν τις χωματοургικές εργασίες, καταρτίζοντας ένα schedule τοπογραφίας. Στα στιγμιότυπα οθόνης της Εικόνα 5-2 φαίνονται το παράθυρο διαχείρισης των φάσεων του έργου στο οποίο ο χρήστης μπορεί να προσθαφαιρέσει και να οργανώσει τις φάσεις, και ένα πρόγραμμα τοπογραφίας (Topography Schedule) που παράχθηκε στα πλαίσια του μοντέλου της εργασίας.



<Topography Schedule>			
A	B	C	D
Cut	Fill	Net cut/fill	Phase Created
73955.67 m <sup>3</sup>	8564.98 m <sup>3</sup>	-65390.69 m <sup>3</sup>	Phase 1
23920.11 m <sup>3</sup>	0.00 m <sup>3</sup>	-23920.11 m <sup>3</sup>	Phase 1
9420.41 m <sup>3</sup>	0.00 m <sup>3</sup>	-9420.41 m <sup>3</sup>	Phase 1
26915.65 m <sup>3</sup>	0.00 m <sup>3</sup>	-26915.65 m <sup>3</sup>	Phase 1
279.27 m <sup>3</sup>	0.00 m <sup>3</sup>	-279.27 m <sup>3</sup>	Phase 1
940.11 m <sup>3</sup>	0.00 m <sup>3</sup>	-940.11 m <sup>3</sup>	Phase 1
14163.39 m <sup>3</sup>	29.02 m <sup>3</sup>	-14134.37 m <sup>3</sup>	Phase 1
5115.63 m <sup>3</sup>	0.00 m <sup>3</sup>	-5115.63 m <sup>3</sup>	Phase 1
2590.31 m <sup>3</sup>	0.00 m <sup>3</sup>	-2590.31 m <sup>3</sup>	Phase 1
6167.41 m <sup>3</sup>	0.61 m <sup>3</sup>	-6166.80 m <sup>3</sup>	Phase 1

Εικόνα 5-2 Αριστερά: Project Phases. Δεξιά: Topography Schedule

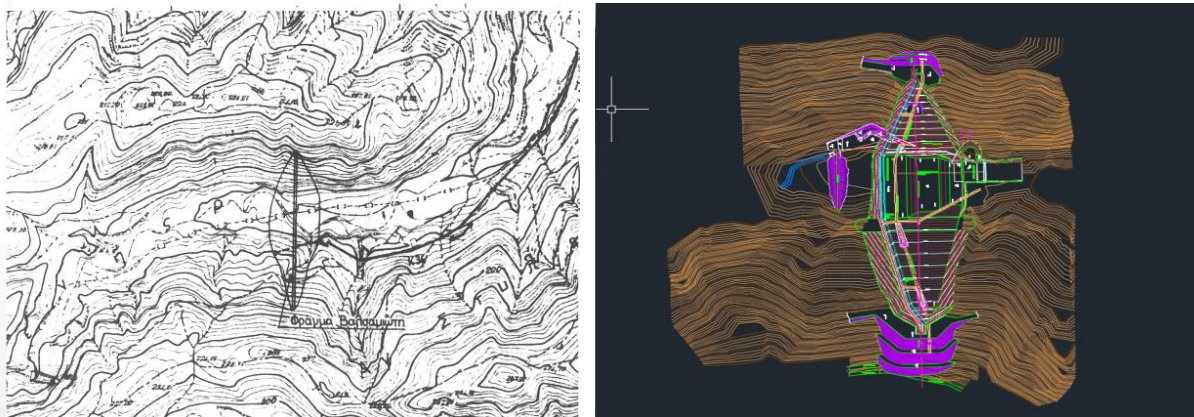


## 5.4 Βήματα για την δημιουργία Πληροφοριακού Μοντέλου Φράγματος

Τα δεδομένα που διατέθηκαν για την εργασία περιλαμβάνουν όλα τα σχέδια του φράγματος του Βαλσαμιώτη σε επεξεργάσιμη μορφή dwg. Με βάση αυτά τα σχέδια αποτυπώθηκε το έργο σε 3d μοντέλο στο Revit. Ακολουθήθηκαν τα εξής βήματα:

### 5.4.1 Αρχική επιφάνεια

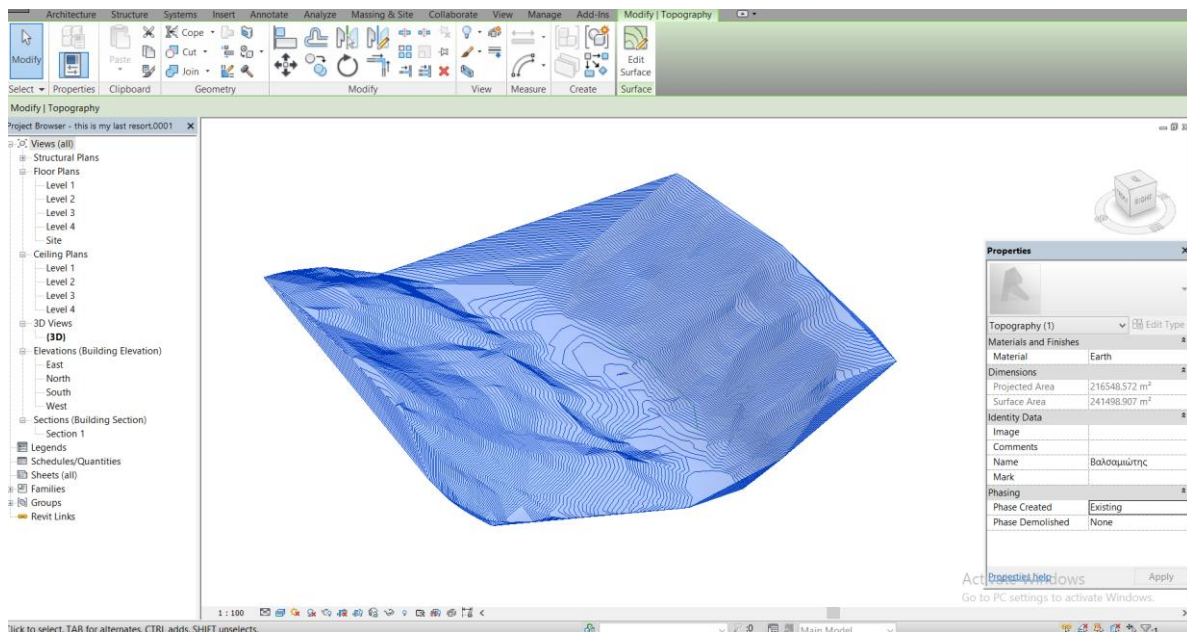
Για την δημιουργία μίας αρχικής επιφάνειας, πριν ξεκινήσουν οι εργασίες για την κατασκευή, χρησιμοποιήθηκε το σχέδιο της γενικής οριζοντιογραφίας εκσκαφών του φράγματος. Για να αποκατασταθούν οι ενιαίες ισοϋψείς της επιφάνειας ( κομμάτι τους είχε αντικατασταθεί με την οριζοντιογραφία του τεχνικού έργου) χρησιμοποιήθηκε τοπογραφικός χάρτης της περιοχής (βλ. Εικόνα 5-3). Ορισμένα ελλiptή υψομετρικά και τοπογραφικά δεδομένα συμπληρώθηκαν κατά προσέγγιση από άλλα χαρτογραφικά στοιχεία.



Εικόνα 5-3 Αριστερά: τοπογραφικό σχέδιο της περιοχής του φράγματος. Δεξιά: σχέδιο οριζοντιογραφίας εκσκαφών του φράγματος Βαλσαμιώτη.

Δημιουργήθηκε ένα αρχείο μορφής dwg με τις ισοϋψείς της αρχικής επιφάνειας που εύκολα εισήχθη στο Revit και από αυτό παράχθηκε μία τρισδιάστατη αναπαράσταση της αρχικής επιφάνειας, που αποτέλεσε και την πρώτη φάση (phase) του project. Διαπιστώνουμε πως είναι ιδιαιτέρως εύκολη η συνεργασία των δύο λογισμικών Civil3d και Revit, γεγονός που καθιστά πιο ελκυστική την χρήση του Revit καθώς μπορεί να συνδυαστεί με CAD προγράμματα με τα οποία οι μηχανικοί είναι εξοικειωμένοι. Παρακάτω, στην Εικόνα

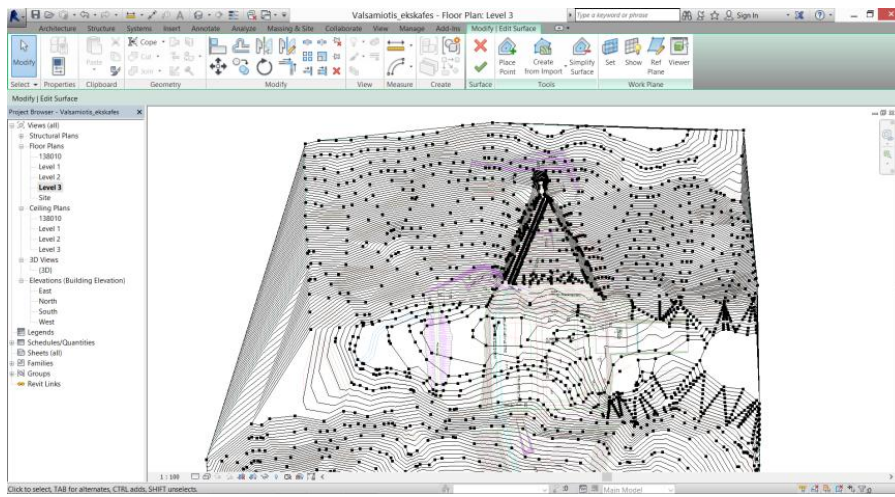
5-4, φαίνεται η αρχική επιφάνεια που δημιουργήθηκε, ένα αντικείμενο κατηγορίας Topography που αντιλαμβάνεται την ιδιότητά του ως επιφάνεια εδάφους. Το υλικό της επιφάνειας ορίστηκε από το χρήστη ως γενικά εδαφικό υλικό (Earth).



Εικόνα 5-4 Η αρχική επιφάνεια στο μοντέλο. Στις ιδιότητες του στοιχείου φαίνονται χαρακτηριστικά όπως η φάση στην οποία δημιουργήθηκε (Phase Created : Existing) το υλικό της και στοιχεία γεωμετρίας.

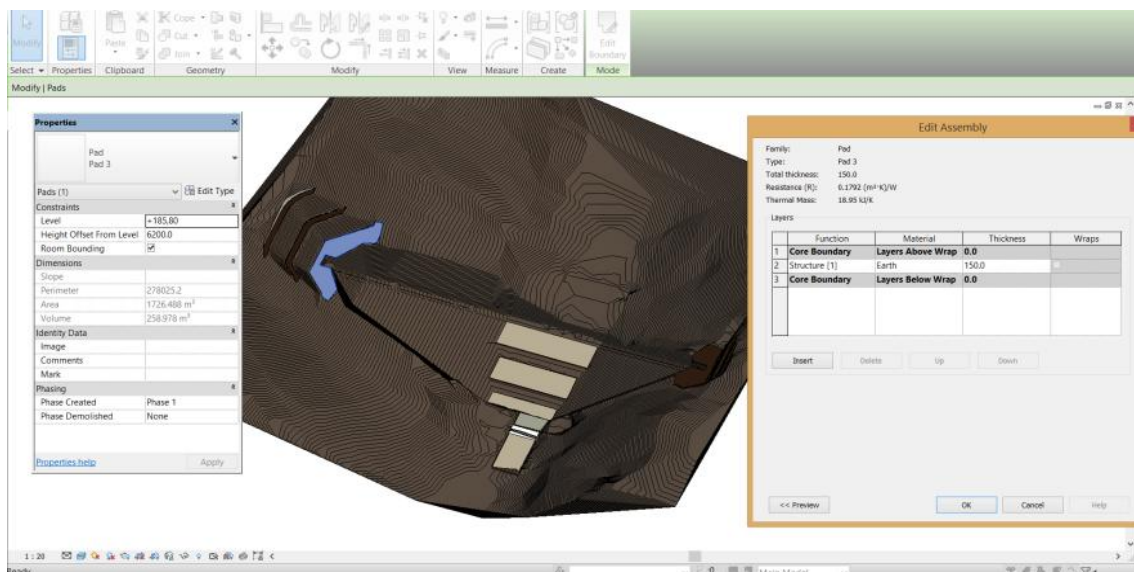
## 5.4.2 Εκσκαφές

Όλες οι εκσκαφές για το έργο μοντελοποιήθηκαν όπως προαναφέρθηκε σε ένα βήμα. Για την μοντελοποίηση χρησιμοποιήθηκαν τα εργαλεία Graded Region και Building Pad. Για τις εκσκαφές των αντερεισμάτων χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο Graded Region, με τη βοήθεια του οποίου προστίθενται στο τοπογραφικό μοντέλο σημεία με υψόμετρο που καθορίζει ο χρήστης και αφαιρούνται άλλα. Εισήχθη το σχέδιο εκσκαφών του φράγματος Βαλοαμιώτη στο Revit με την εντολή Insert DWG του Revit και προστέθηκαν σημεία με υψόμετρο που αντιστοιχούσε σε κάθε ισοϋψή (βλ. Εικόνα 5-5). Με το εργαλείο Graded Region το πρόγραμμα δημιουργεί μία επιφάνεια ακριβώς σαν την υπάρχουσα, την οποία ο χρήστης πρέπει να τοποθετήσει σε επόμενη φάση (phase). Στην παρούσα περίπτωση στη φάση 1. Έτσι γίνονται συγκρίσεις ανάμεσα στις δύο επιφάνειες και υπολογίζονται οι ποσότητες ορυγμάτων και επιχώσεων.



**Εικόνα 5-5 Στιγμιότυπο από την μοντελοποίηση των εκσκαφών. Οι μαύρες κουκίδες αντιστοιχούν σε σημεία με καθορισμένο υψόμετρο**

Το εργαλείο Building pad δημιουργεί ένα αντικείμενο Revit που αναπαριστά ένα επίπεδο στοιχείο (μία πλάκα ή άλλη επιφάνεια,) τροποποιεί την τοπογραφική επιφάνεια, και έχει καθορισμένο από τον χρήστη περίγραμμα, πάχος, υλικό και κλίση. Για την μοντελοποίηση των εκσκαφών χρησιμοποιήθηκαν κάποια Pads στα οποία ανατέθηκε υλικό ίδιο με αυτό της τοπογραφικής επιφάνειας, Earth, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5-6.

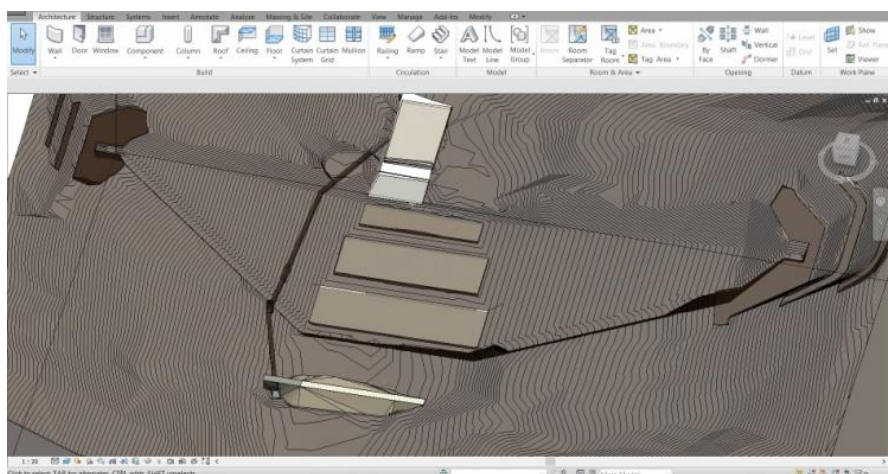


**Εικόνα 5-6 Η χρήση του εργαλείου Pad για τη μοντελοποίηση επίπεδων στοιχείων τοπογραφίας. Στιγμιότυπο μετά την ολοκλήρωση της μοντελοποίησης των εκσκαφών.**

Το επόμενο βήμα για την μοντελοποίηση του φράγματος είναι η δημιουργία ψηφιακών μοντέλων των στοιχείων που αποτελούν το έργο, όπως στοές, σήραγγες, δρόμοι, υδραυλικά έργα, το σώμα του φράγματος και άλλα. Τα αντικείμενα δημιουργήθηκαν εκτός του περιβάλλοντος του project, ως ξεχωριστές οικογένειες οι οποίες έπειτα φορτώθηκαν και τοποθετήθηκαν στην κατάλληλη θέση στο έργο. Παρακάτω παρουσιάζονται ομάδες αντικειμένων του έργου. Ενδεικτικά παρατίθενται στιγμιότυπα οθόνης στα οποία φαίνονται κάποια από τα αντικείμενα που δημιουργήθηκαν για το έργο. Δεν κρίθηκε σκόπιμο να παρουσιαστούν εδώ όλα τα αντικείμενα αναλυτικά.

### 5.4.3 Εκτροπή

Στη φάση 1 μοντελοποιήθηκαν τα στοιχεία της εκτροπής δηλαδή το πρόφραγμα και ο αγωγός εκτροπής.



Εικόνα 5-7 Φάση 1: Τα έργα εκτροπής. Φαίνονται ολοκληρωμένες και οι εκσκαφές.

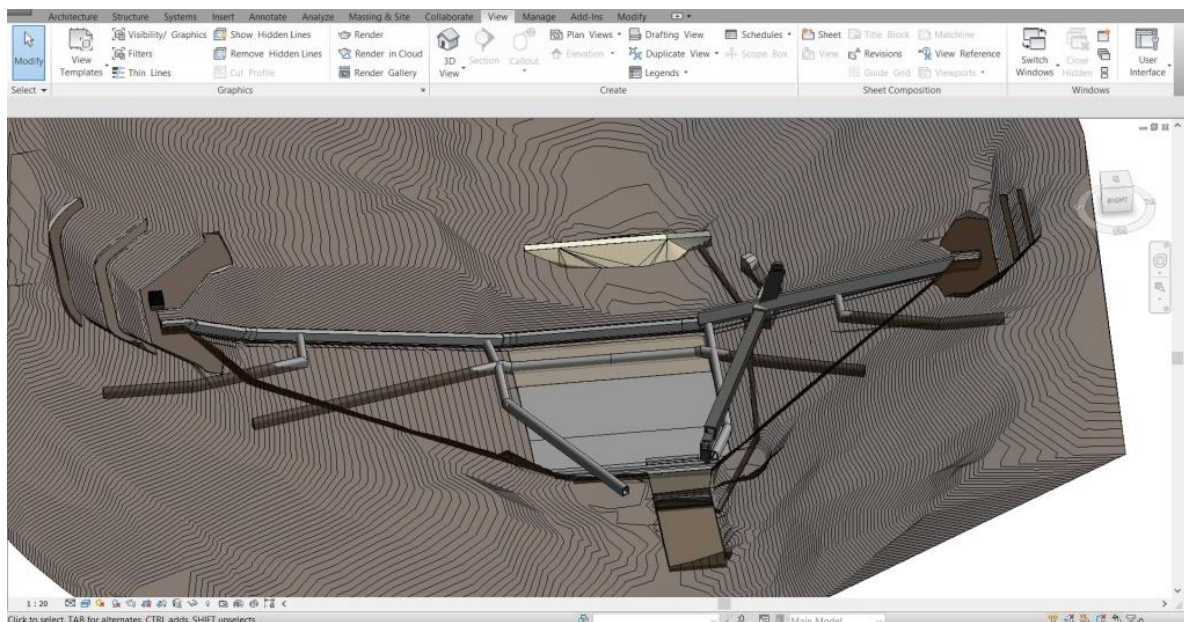
### 5.4.4 Στοές και Σήραγγες

Στη συνέχεια μοντελοποιήθηκαν οι σήραγγες και οι στοές αποστράγγισης καθώς και η στοά τσιμεντενέσεων-πλίνθος.

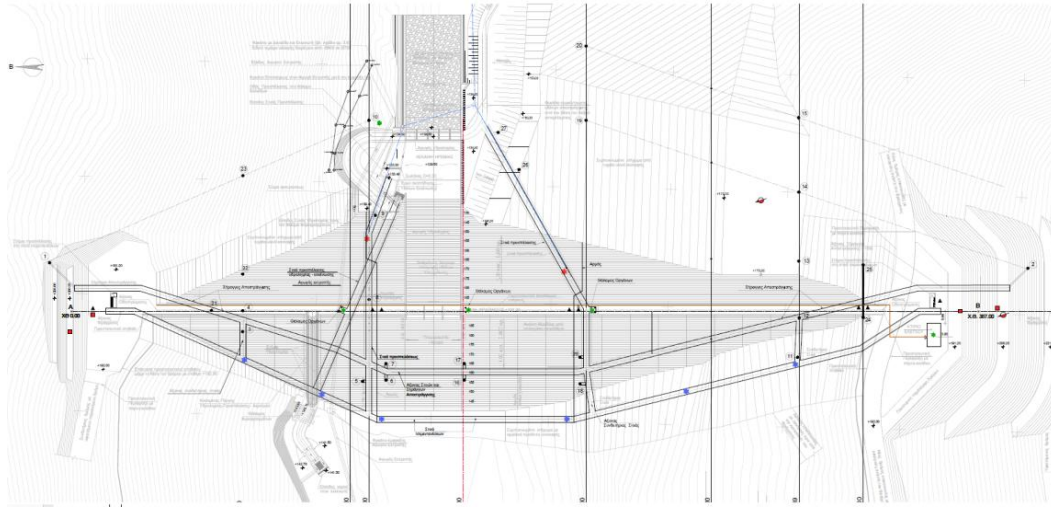
Στην περίπτωση αυτή γίνονται ορατά κάποια από τα βασικότερα πλεονεκτήματα του προγράμματος. Το σύστημα των στοών και σιράγγων στο συγκεκριμένο έργο είναι αρκετά πολύπλοκο. Σε ψηλά σημεία των αντρευσμάτων δεξιά και αριστερά βρίσκονται σήραγγες αποστράγγισης που με τη βοήθεια συνδετικών στοών συνδέονται με τη στοά

τσιμεντενέσεων. Παράλληλα σε χαμηλότερο σημείο υπάρχουν και άλλες σήραγγες και μία στοά αποστράγγισης. Τέλος δύο στοές προσπέλασης δεξιά και αριστερά ενώνουν τη στοά τσιμεντενέσεων και τη στοά αποστράγγισης σε χαμηλό σημείο, για να καταλήξουν στα κατάντη του φράγματος. Κοιτώντας τα συμβατικά σχέδια (οριζοντιογραφία και τομές) του συστήματος, δυσκολεύεται κανείς να αντιληφθεί την μορφή του στο χώρο και τον τρόπο λειτουργίας του. Η πιθανότητα λάθους κατά την κατασκευή αυξάνεται. Επιπλέον, επειδή πολλές στοές και αγωγοί περνούν από το χώρο του σώματος του φράγματος σε διαφορετικά υψόμετρα, και σε κάποιες περιπτώσεις το ένα έργο μπορεί να βρίσκεται ακριβώς πάνω ή κάτω από το άλλο, υπάρχει κίνδυνος να γίνει λάθος στο σχεδιασμό και κατ' επέκταση στην κατασκευή. Το τρισδιάστατο πληροφοριακό μοντέλο δίνει τη δυνατότητα άμεσης οπτικοποίησης και αντίληψης της μορφής του έργου, και γρήγορο έλεγχο αστοχιών και παρεμβολών (clash detection). Τα συμβατικά σχέδια (κατόψεις, τομές, όψεις) μπορούν να παραχθούν γρήγορα και αυτόματα

Στην Εικόνα 5-8 φαίνεται προοπτικά το σύστημα αποστράγγισης και η στοά τσιμεντενέσεων, όπως μοντελοποιήθηκε στα πλαίσια της εργασίας. Στην Εικόνα 5-9 φαίνεται το δισδιάστατο CAD σχέδιο της οριζοντιογραφίας του φράγματος.



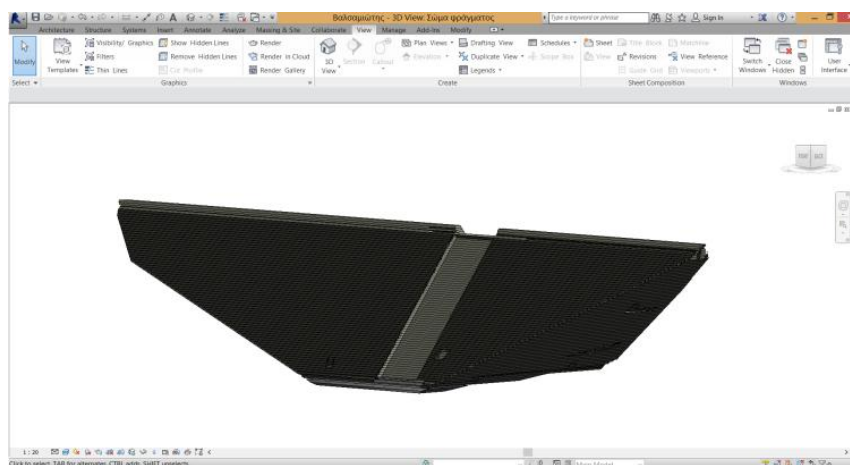
**Εικόνα 5-8 Σήραγγες και στοές αποστράγγισης, στοά τσιμεντενέσεων. Φαίνονται και η στοά εκκένωσης και υδροληψίας καθώς και ο αγωγός εκτροπής.**



**Εικόνα 5-9 Κάτοψη Στοών και Σηράγγων. Συμβατικό 2D Σχέδιο CAD. Βλέπουμε πως η περίπλοκη διάταξη των στοών και σηράγγων αποστράγγισης γίνεται πολύ πιο δύσκολα αντιληπτή κοιτώντας το συμβατικό σχέδιο.**

### 5.4.5 Σώμα φράγματος

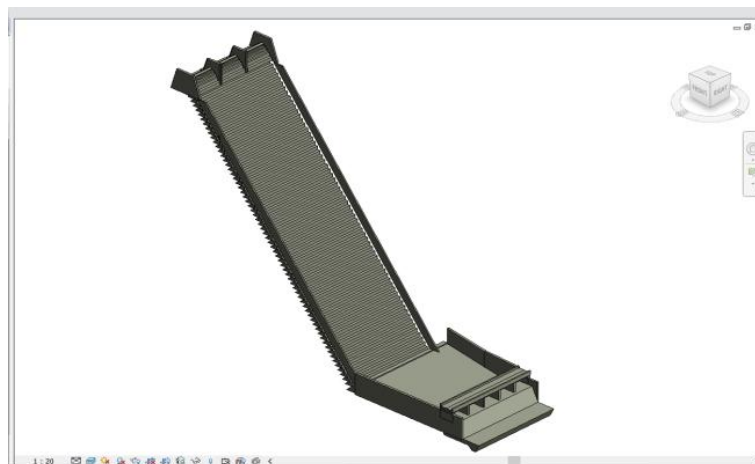
Το σώμα του φράγματος αποτελείται από στρώσεις σκυροδέματος RCC και προκατασκευασμένα στοιχεία προστασίας κατάντη παρειάς σχήματος L. Το μοντέλο του σώματος αποτελείται από στρώσεις 90 cm, που αντιστοιχούν σε 3 πραγματικές στρώσεις των 30 cm. Για την μοντελοποίηση των στρώσεων δημιουργήθηκαν 3 ομάδες (families), καθεμία είχε έναν μόνο τύπο (type), ενώ κατά την τοποθέτηση στο έργο παράχθηκαν πολλαπλά instances των τριών αυτών ομάδων. Αντίστοιχα για την μοντελοποίηση των στοιχείων προστασίας της κατάντη παρειάς χρησιμοποιήθηκε μία οικογένεια. Στην Εικόνα 5-10 φαίνεται το μοντέλο του σώματος του φράγματος.



**Εικόνα 5-10 Μοντέλο του σώματος του φράγματος.**

#### 5.4.6 Σύστημα υπερχειλίσης

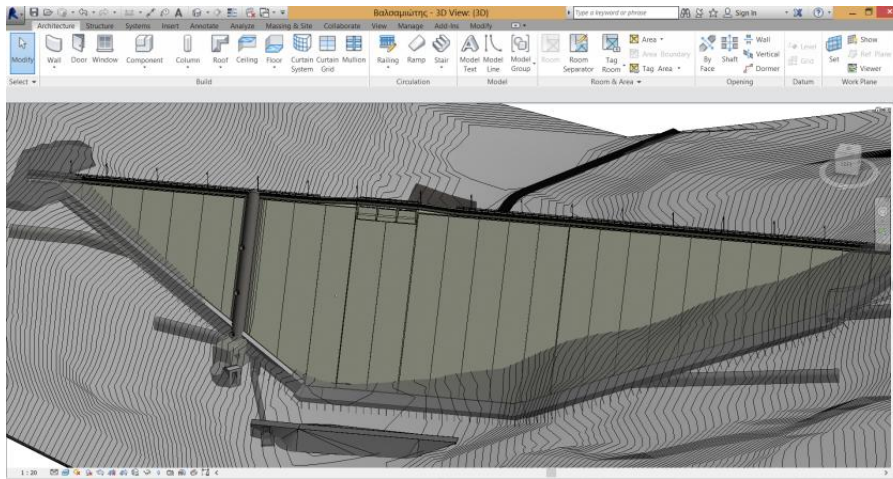
Μοντελοποιήθηκαν ο υπερχειλιστής και η λεκάνη ηρεμίας. Ο υπερχειλιστής αποτελείται από τα τρία τεμάχια τύπου OGEE που χωρίζονται από τα μεσόβαθρα της γέφυρας κυκλοφορίας, βαθμιδωτό αγωγό πτώσης, και δύο πλευρικά τοιχία, ενώ καταλήγουν σε λεκάνη ηρεμίας.



Εικόνα 5-11 Μοντέλο του συστήματος υπερχειλίσης

#### 5.4.7 Σύστημα Υδροληψίας-Εκκένωσης και Ανάντη Μανδύας Στεγανότητας

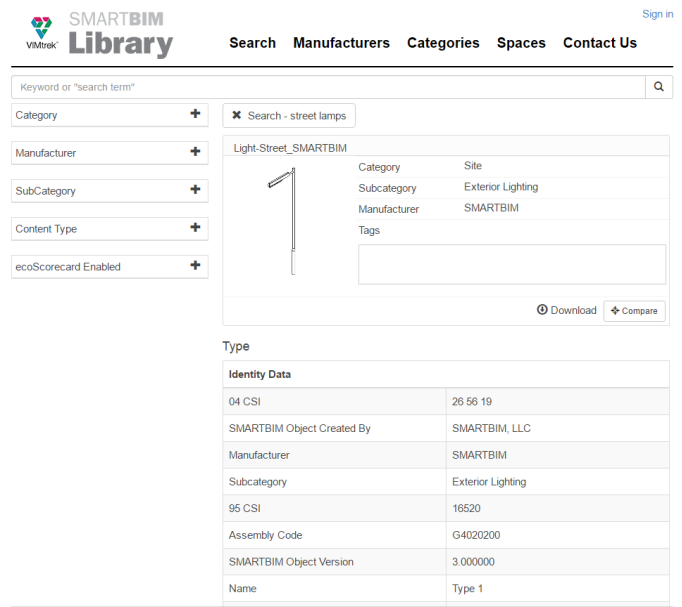
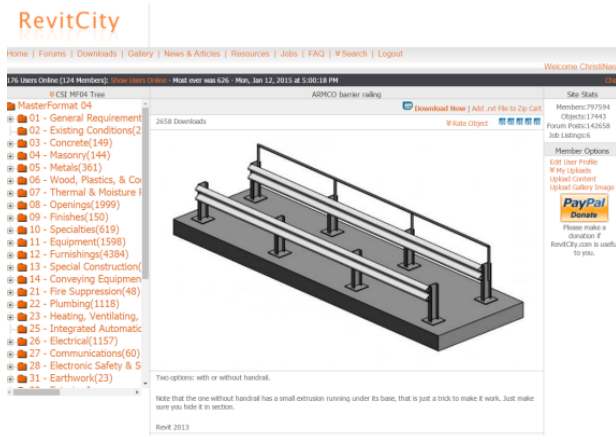
Για την μοντελοποίηση του συστήματος υδροληψίας δημιουργήθηκαν ξεχωριστές ομάδες για τον πύργο υδροληψίας, τα σημεία υδροληψίας, τον αγωγό υδροληψίας-εκκένωσης και τον θάλαμο αγωγών και δικλείδων. Για την εκκένωση μοντελοποιήθηκε επίσης το έργο εισόδου εκκενωτή. Για τον ανάντη μανδύα στεγανότητας δημιουργήθηκαν 3 οικογένειες με λωρίδες πλάτους 15 m και πάχους 30 cm (που αντιστοιχούν στα πραγματικά μεγέθη), και τοποθετήθηκαν 28 περιπτώσεις (instances) των οικογενειών αυτών διαφορετικού ύψους. Δημιουργήθηκε ακόμη αντικείμενο Revit που αναπαριστά το σύστημα αποστράγγισης της ανάντη πλάκας σκυροδέματος. Τα περισσότερα από αυτά τα στοιχεία αυτά φαίνονται στο στιγμιότυπο της Εικόνα 5-12



Εικόνα 5-12 Ο πύργος υδροληψίας, ο θάλαμος, το έργο εισόδου εκκένωσης και ο ανάντη μανδύας στεγανότητας από πλάκα σκυροδέματος.

## 5.4.8 Έργα στέψης, οδοποιίας, φωτισμού και οικίσκος παρακολούθησης

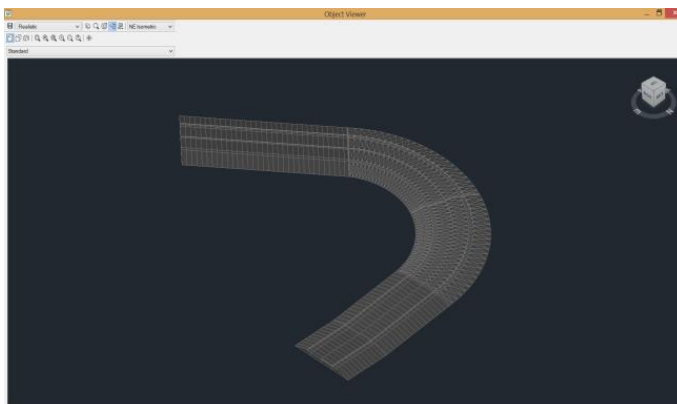
Μοντελοποιήθηκαν πέρα από τα παραπάνω βασικά έργα, και άλλα, όπως έργα στέψης, έργα οδοποιίας, ο οικίσκος ελέγχου, και τμήμα του φωτισμού στις λωρίδες κυκλοφορίας του φράγματος.



Εικόνα 5-13 Αριστερά το αντικείμενο BIM που χρησιμοποιήθηκε για τη μοντελοποίηση των κιγκιδωμάτων στον κατάλογο του RevitCity.com. Δεξιά το αντικείμενο BIM που αναπαριστά το φωτισμό δρόμου στον κατάλογο της βιβλιοθήκης SmartBIM.



Για τη στέψη μοντελοποιήθηκε ο τοίχος αντιστήριξης, το κράσπεδο και η στρώση κυκλοφορίας και το τοιχίο στα ανάντη του κρασπέδου. Τα Μοντέλα του φωτισμού και του κιγκλιδώματος δεν δημιουργήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας, παρά χρησιμοποιήθηκαν δωρεάν αντικείμενα Revit τα οποία προέκυψαν από διαδικτυακή αναζήτηση σε βιβλιοθήκες αντικειμένων BIM. Συγκεκριμένα, οι λάμπες δρόμου βρέθηκαν στην ιστοσελίδα SmartBIM Library ενώ τα κιγκλιδώματα στο RevitCity.com. Στα στιγμιότυπα οθόνης της Εικόνα 5-13 φαίνονται τα αντίστοιχα αντικείμενα BIM στους ηλεκτρονικούς καταλόγους των δύο ιστοσελίδων.



Εικόνα 5-14 Solid Corridor στο object viewer του Civil 3D

Όσον αφορά τα έργα οδοποιίας, για την μοντελοποίησή τους απαραίτητο εργαλείο απεδείχθη το πρόγραμμα Civil3D της Autodesk. Σε ένα σημείο ο δρόμος προσπέλασης του φράγματος εμφανίζει σταθερή κλίση και σχεδόν κυκλική οριζοντιογραφία. Τέτοια γεωμετρία, παρόλο που δεν ξεπερνά τις δυνατότητες του Revit, είναι

πολύ πιο εύκολο να αναπαρασταθεί με τη βοήθεια των εργαλείων του Civil 3D. Έτσι δημιουργήθηκε με το εργαλείο corridor το τμήμα αυτό της οδοποιίας και παράχθηκε το αντίστοιχο αντικείμενο με το εργαλείο Extract Corridor Solids (βλ. Εικόνα 5-14). Έπειτα, το τρισδιάστατο αυτό αντικείμενο εύκολα εισήχθη στο περιβάλλον Revit. Βέβαια, η λειτουργικότητα του αντικειμένου αυτού είναι πολύ περιορισμένη. Δεν μπορεί να θεωρηθεί «έξυπνο» όπως τα υπόλοιπα αντικείμενα Revit, καθώς οι μόνες ιδιότητες του αντικειμένου αφορούν την κλίμακα εισαγωγής του στο περιβάλλον. Είναι ουσιαστικά μία απλή τρισδιάστατη αναπαράσταση, που αρκεί ωστόσο για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας. Η εύκολη, αν και όχι ακόμη τελειοποιημένη συνεργασία ανάμεσα στα δύο προγράμματα που παρέχουν πολύ διαφορετικά και χρήσιμα εργαλεία διευκολύνει πολύ τον χρήστη. Για παράδειγμα οι δυνατότητες που παρέχει το Civil 3D στο σχεδιασμό δρόμων, στα

χωματουργικά στο σχεδιασμό υδραυλικών συστημάτων δεν μπορούν να συγκριθούν με τις δυνατότητες του Revit που υστερεί σε ακρίβεια και χρηστικότητα.

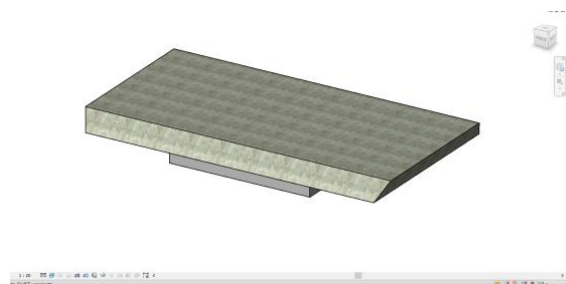
Τέλος για την δημιουργία του οικίσκου χρησιμοποιήθηκαν τα εργαλεία του Revit για κατασκευή τοίχων και οροφής.

#### 5.4.9 Οικογένειες και παράμετροι

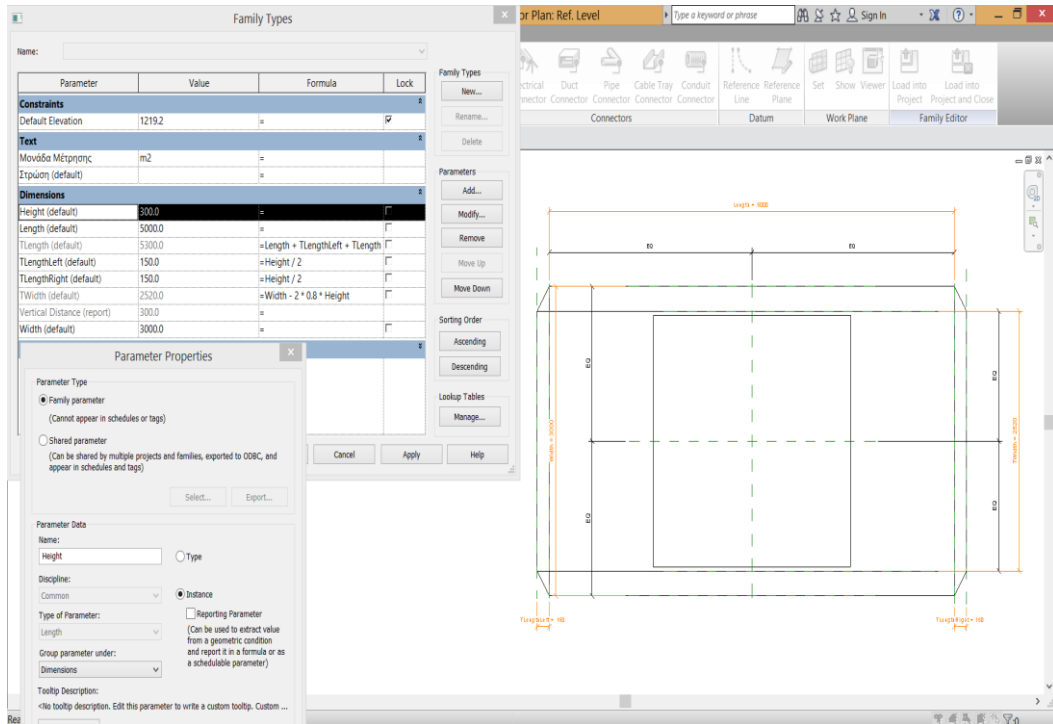
Όπως αναφέρεται και παραπάνω, κάθε στοιχείο του έργου δεν αντιστοιχεί σε διαφορετική οικογένεια. Για την αναπαράσταση στοιχείων που επαναλαμβάνονται με καμία ή κάποιες αλλαγές στη γεωμετρία τους χρησιμοποιήθηκαν οι παραμετρικές οικογένειες.

Οι παράμετροι χωρίζονται σε διαμοιραζόμενες (shared parameters) και παραμέτρους οικογενείας (family parameters). Οι διαμοιραζόμενες παράμετροι αντικειμένων που δημιουργήθηκαν εκτός περιβάλλοντος του έργου (project), ως οικογένειες (loadable families) δηλαδή, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε schedules εντός του έργου, ενώ οι παράμετροι οικογενείας εμφανίζονται μόνο ως ιδιότητες των αντικειμένων. Περαιτέρω τόσο οι παράμετροι οικογενείας όσο και οι διαμοιραζόμενες χωρίζονται σε παραμέτρους τύπου (type) και παραμέτρους περίπτωσης (instance). Μία παράμετρος που αλλάζει σε κάθε διαφορετική εμφάνιση του τύπου της οικογενείας μέσα στο έργο θα πρέπει να είναι instance parameter.

Έτσι για τις ανάγκες του έργου δημιουργήθηκαν οικογένειες που σχεδιάστηκαν με τη βοήθεια διαφορετικών τύπων παραμέτρων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι στρώσεις σκληρού επιχώματος RCC (βλ. Εικόνα 5-16). Χρησιμοποιήθηκαν 3 οικογένειες ενός τύπου. Θα μπορούσε να έχει δημιουργηθεί μόνο μία οικογένεια με 3 διαφορετικούς τύπους, ο σχεδιασμός σε αυτή την περίπτωση θα ήταν αρκετά πιο δύσκολος. Στην Εικόνα 5-16 φαίνονται οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν.



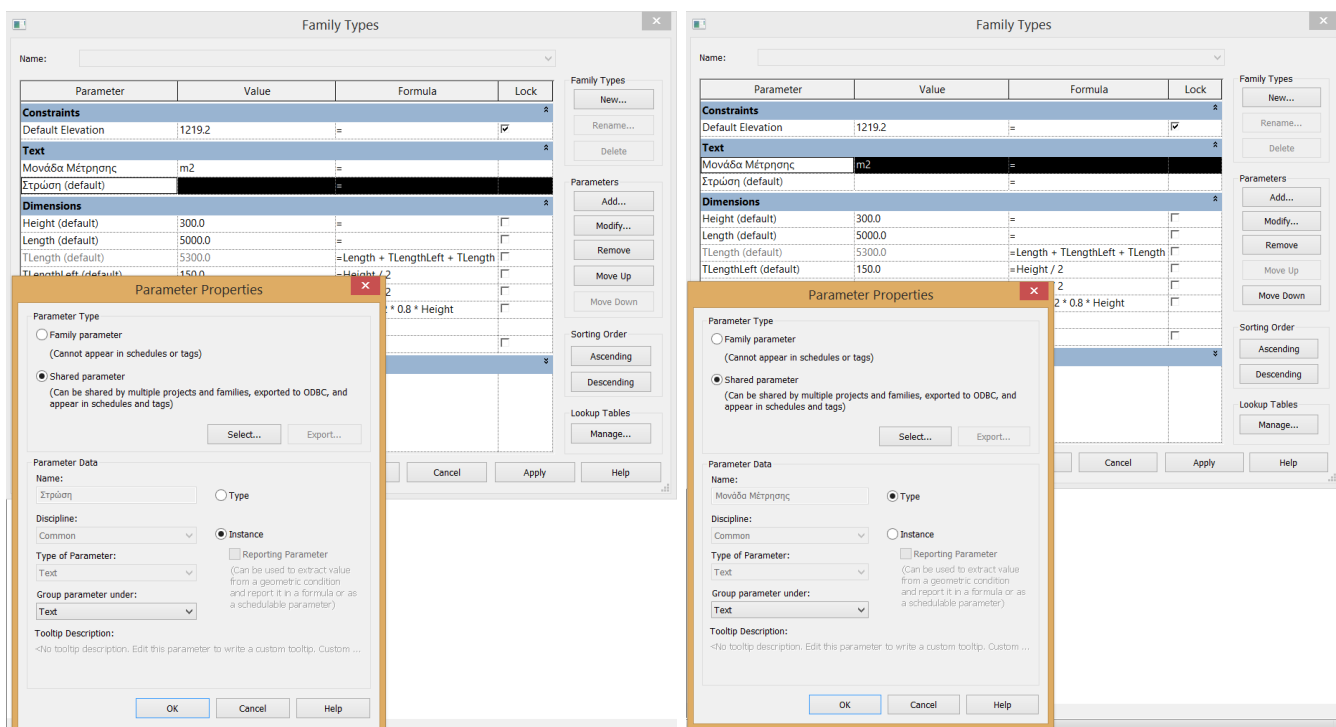
Εικόνα 5-15 Στρώσεις σκληρού επιχώματος.



**Εικόνα 5-16 Family instance parameters. Φαίνεται το παράθυρο των ορισμού των παραμέτρων και η κάτοψη του στοιχείου με κάποιες όπου ορίζονται και κάποιες από τις παραμέτρους γεωμετρίας**

Η γεωμετρία της κάθε στρώσης μπορεί να αλλάξει διατηρώντας όμως κάποια χαρακτηριστικά. Δηλαδή οι παράμετροι που ορίζουν τη γεωμετρία διατηρούν σταθερές σχέσεις μεταξύ τους που ορίζονται από τον χρήστη. Αυτές οι παράμετροι όπως φαίνεται στην εικόνα (Height, Length, Width κλπ) είναι παράμετροι οικογενείας, διότι δεν προβλέπεται να χρησιμοποιηθούν για την κατάρτιση κάποιου schedule, και είναι παράμετροι περίπτωσης (instance) διότι η κάθε στρώση καθ' ύψος του φράγματος έχει διαφορετικό μήκος και πλάτος (τα οποία ορίζονται κατά την τοποθέτηση στο περιβάλλον του project)

Δημιουργήθηκαν επίσης και διαμοιραζόμενες παράμετροι. Οι παράμετροι Μονάδα Μέτρησης και Στρώση χρησιμοποιούνται από περισσότερες από μία οικογένειες που δημιουργήθηκαν και χρησίμευσαν στο να καταρτιστούν κάποιες λίστες με το εργαλείο schedule (βλ. Εικόνα 5-17). Για παράδειγμα τα προκατασκευασμένα στοιχεία προστασίας κατάντη παρειάς σχήματος L περιέχουν και τις δύο αυτές παραμέτρους (κάθε στρώση σκυροδέματος, αφού είναι τριπλή 90εκ., αντιστοιχεί σε ένα στοιχείο προστασίας). Η Μονάδα Μέτρησης είναι παράμετρος τύπου, αφού όλα τα αντικείμενα στρώσεων σκληρού επιχώματος έχουν την ίδια μονάδα μέτρησης, ενώ η Στρώση προφανώς είναι παράμετρος περίπτωσης (instance) αφού προορίζεται για να καταγράφει το υψόμετρο κάθε στρώσης.



Εικόνα 5-18 Shared parameters. Αριστερά παράμετρος περίπτωσης (instance). Δεξιά πράμετρος τύπου (type).

<Material Takeoff>		
A	B	C
Family	Στρώση	Material Volume
Ανάχωμα Κάτω	130-130,9	7328,87 m³
Ανάχωμα Κάτω	130,9-131,8	7510,91 m³
Ανάχωμα Κάτω	131,8-132,7	7760,64 m³
Ανάχωμα Κάτω	132,7-133,6	7967,59 m³
Ανάχωμα Κάτω	133,6-134,5	8423,57 m³
Ανάχωμα Κάτω	134,5-135,4	8773,54 m³
Ανάχωμα Κάτω	135,4-136,3	9090,16 m³
Ανάχωμα Κάτω	136,3-137,2	9452,91 m³
Ανάχωμα Κάτω	137,2-138,1	9506,19 m³
Ανάχωμα Κάτω	138,1-139,00	9702,13 m³
Ανάχωμα Κάτω	139,0-139,9	9870,39 m³
Ανάχωμα Κάτω	139,9-140,8	10035,37 m³
Ανάχωμα Κάτω	140,8-141,7	10176,25 m³
Ανάχωμα Κάτω	141,7-142,6	10301,42 m³
Ανάχωμα Κάτω	142,6-143,5	10422,60 m³
Ανάχωμα Κάτω	143,5-144,4	10606,65 m³
Ανάχωμα Κάτω	144,4-145,3	10732,18 m³
Ανάχωμα Κάτω	145,3-146,2	10831,86 m³
Ανάχωμα Κάτω	146,2-147,1	10972,16 m³
Ανάχωμα Κάτω	147,1-148,0	11085,17 m³
Ανάχωμα Κάτω	148,0-148,9	11144,07 m³
Ανάχωμα Κάτω	148,9-149,8	11190,69 m³
Ανάχωμα Κάτω	149,8-150,7	11225,07 m³
Ανάχωμα Κάτω	150,8-151,7	11247,34 m³
Ανάχωμα Κάτω	151,7-152,6	11229,12 m³
Ανάχωμα Κάτω	152,6-153,5	11239,73 m³
Ανάχωμα Κάτω	153,5-154,4	11211,34 m³
Ανάχωμα Κάτω	154,4-155,3	11183,87 m³
Ανάχωμα Κάτω	155,3-156,2	11144,45 m³
Ανάχωμα Κάτω	156,2-157,1	11139,96 m³
Ανάχωμα Κάτω	157,1-158,00	11077,40 m³
Ανάχωμα Κάτω	158,0-158,9	10937,89 m³
Ανάχωμα Κάτω	158,9-159,8	10833,93 m³
Ανάχωμα Κάτω	159,8-160,7	10785,78 m³
Ανάχωμα Κάτω	160,7-161,6	10666,95 m³
Ανάχωμα Κάτω	161,6-162,5	10506,45 m³
Ανάχωμα Κάτω	162,5-163,4	10388,92 m³
Ανάχωμα Κάτω	163,4-164,3	10240,81 m³
Ανάχωμα Κάτω	164,3-165,2	10081,69 m³
Ανάχωμα Κάτω	165,2-166,1	9977,63 m³
Ανάχωμα Κάτω	166,1-167,0	9799,32 m³
Ανάχωμα Πάνω	167,0-168,0	9470,69 m³
Ανάχωμα Πάνω	168,0-168,9	9237,31 m³
Ανάχωμα Πάνω	168,9-169,8	8950,81 m³
Ανάχωμα Πάνω	169,8-170,7	8705,06 m³
Ανάχωμα Πάνω	170,7-171,6	8389,68 m³
Ανάχωμα Πάνω	171,6-172,5	8040,78 m³
Ανάχωμα Πάνω	172,5-173,4	7796,27 m³
Ανάχωμα Πάνω	173,4-174,3	7458,40 m³
Ανάχωμα Πάνω	174,3-175,2	7085,23 m³
Ανάχωμα Πάνω	175,2-176,1	6755,76 m³
Ανάχωμα Πάνω	176,1-177,0	6504,92 m³

Εικόνα 5-17 Λίστα που δείχνει τον όγκο και το υψόμετρο κάθε στρώσης σκληρού επιχώματος. Παράχθηκε ως

Πριν τη δημιουργία κάθε οικογένειας, ο χρήστης πρέπει να γνωρίζει με βεβαιότητα τι είδους παραμέτρους θα χρησιμοποιήσει, να έχει δηλαδή προβλέψει κάθε πιθανή ανάγκη που οι παράμετροι μπορούν να εξυπηρετήσουν. Μετά τον σχεδιασμό και τοποθέτηση των οικογενειών, υπάρχουν σημαντικοί περιορισμοί στις αλλαγές που μπορούν να γίνουν στις παραμέτρους. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, εφόσον έχουμε χρησιμοποιήσει διαμοιραζόμενες παραμέτρους για το υψόμετρο που χαρακτηρίζει και ξεχωρίζει κάθε στρώση, την μονάδα μέτρησης, την ποσότητα της κάθε περίπτωσης (instance) για τις στρώσεις επιχώματος, τα

στοιχεία προστασίας, τις λωρίδες μανδύα στεγανότητα μπορούμε εύκολα, να υπολογίσουμε το κόστος των υλικών ή και το συνολικό κόστος της κατασκευής χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα μοναδιαία κόστη.

Τέλος πρέπει να σημειωθεί πως εκτός από τον οικίσκο που δημιουργήθηκε χρησιμοποιώντας system families, όλα τα άλλα αντικείμενα μοντελοποιήθηκαν ως μάζες (conceptual masses) χρησιμοποιώντας ως template κάποια από τα Generic Model templates με αποτέλεσμα η κατηγορία των οικογενειών που παράχθηκαν (family category) να είναι Generic. Βεβαίως δεν υπάρχουν στο Revit κατηγορίες που να αντιστοιχούν στα διάφορα έργα ενός φράγματος. Έτσι, τα αντικείμενα δεν «αντιλαμβάνονται» τι είδους αντικείμενα είναι και ποιά η χρησιμότητά τους, ούτε έχουν ειδικές ιδιότητες.

## **5.5 Βήματα για τη δημιουργία του χρονοδιαγράμματος κατασκευής του φράγματος**

### **5.5.1 Εισαγωγή**

Το φράγμα του Βαλσαμιώτη είναι ένα έργο μεγάλο και πολύπλοκο του οποίου η κατασκευή διήρκεσε δέκα και πλέον χρόνια. Συγκεκριμένα δημοπρατήθηκε το 2003, ενώ ο χρόνος παράδοσης είχε αρχικά οριστεί για το 2007. Έκτοτε με διαδοχικές παρατάσεις έφτασε να εγκαινιαστεί το 2014. Συνεπώς συντάχθηκαν κατά καιρούς διαφορετικά χρονοδιαγράμματα, που αφορούσαν τμήματα του έργου, και με διαφορετικές εκτιμήσεις για τη διάρκεια των εργασιών. Έτσι δεν ήταν δυνατή η εύρεση ενός συγκεντρωτικού χρονοδιαγράμματος για το έργο, αλλά τριών αποσπασματικών και με αρκετές διαφορές. Για τη δημιουργία ενός ενδεικτικού χρονοδιαγράμματος για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας, συμβουλευτήκαμε τα υπάρχοντα χρονοδιαγράμματα, και κάναμε εύλογες υποθέσεις.

### **5.5.2 Δομή Ανάλυσης Εργασιών - Work Breakdown Structure (WBS)**

Για το χρονικό προγραμματισμό ενός έργου πρέπει καταρχήν να γίνει η ανάλυση των εργασιών. Δηλαδή να καταρτιστεί η Δομή Ανάλυσης Εργασιών ή WBS, ένα πλάνο στο οποίο αναλύονται όλες οι επιμέρους εργασίες του έργου, και χωρίζονται σε εύκολα διαχειρίσιμα «πακέτα εργασιών»

Το WBS διαμορφώνεται σε επίπεδα. Στο πρώτο επίπεδο αναφέρεται ο τίτλος του έργου. Στο επόμενο επίπεδο αναφέρονται οι βασικές δραστηριότητες που πρέπει να γίνουν. Μετά, οι βασικές δραστηριότητες αναλύονται στις επιμέρους δραστηριότητες (υποδραστηριότητες). Ένα WBS δεν πρέπει να είναι πολύ σύντομο αλλά ούτε και πάρα πολύ αναλυτικό. Γι' αυτό η ανάλυση θα πρέπει να γίνεται σε 3 έως 4 επίπεδα όπου θα είναι ξεκάθαρο το τι ακριβώς πρέπει να γίνει αλλά χωρίς περιττές λεπτομέρειες. (Μαυρίκα 2013)

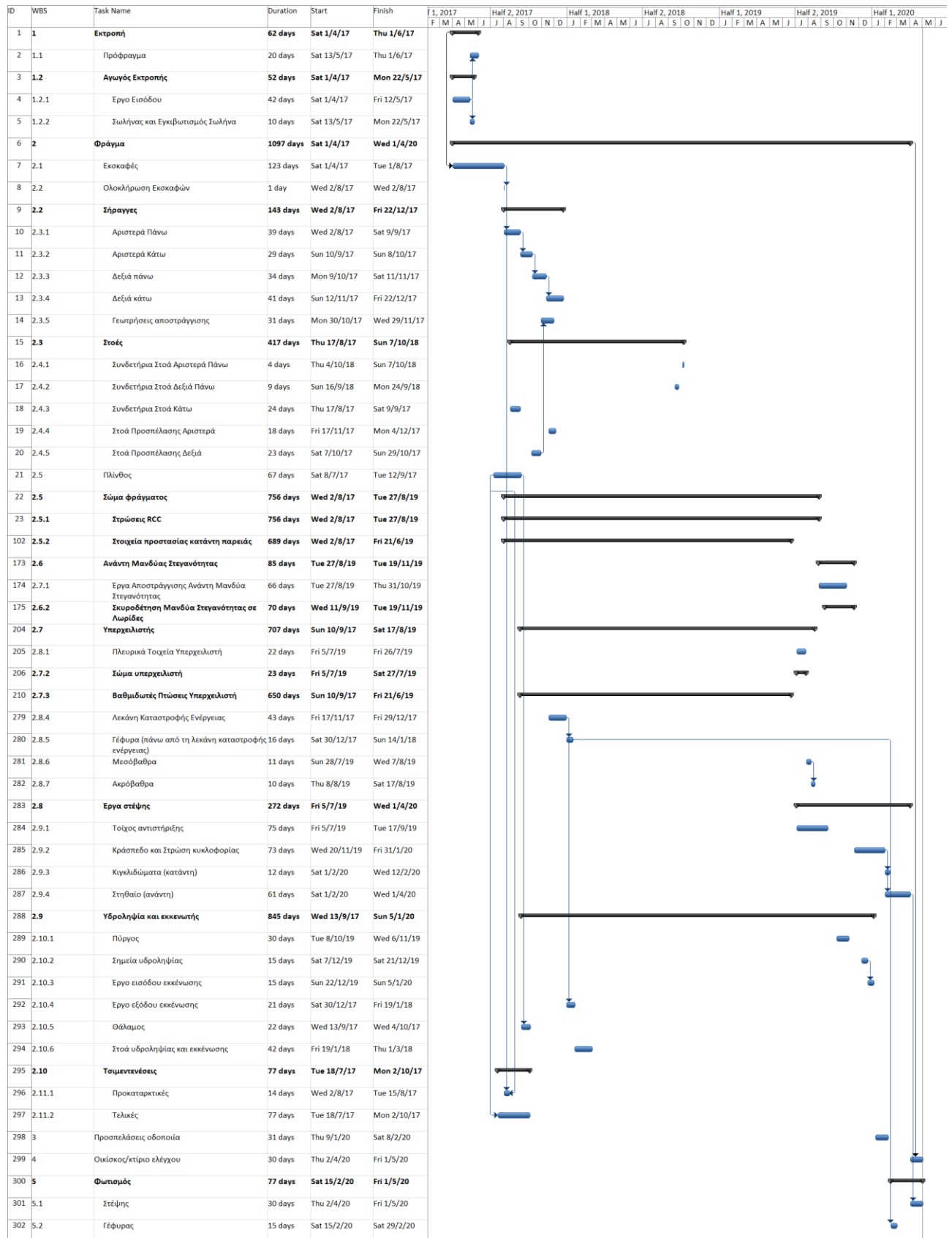
Η δομή που αναπτύχθηκε στο χρονοδιάγραμμα δεν αντιστοιχεί με αυτήν του συμβατικού χρονοδιαγράμματος, ούτε με τη δομή κοστολόγησης των εργασιών στον προϋπολογισμό του έργου, αλλά αναπτύχθηκε με προσανατολισμό το ΠΟ, τα διεθνή πρότυπα και τη διευκόλυνση της ψηφιοποίησης.

Για τον καθορισμό των εργασιών αρχικά εξήχθησαν λίστες με όλα τα αντικείμενα που υπάρχουν στο μοντέλο του Revit. Επιχειρήθηκε δηλαδή κάθε εργασία να αντιστοιχεί σε ένα αντικείμενο ή ένα σύνολο αντικειμένων του μοντέλου. Αναλύθηκε λοιπόν η κατασκευή του φράγματος σε ομάδες εργασιών και υποεργασιών με βάση το είδος της κάθε εργασίας, και αριθμήθηκαν οι εργασίες. Για παράδειγμα η εργασία «Σώμα Φράγματος», που είναι υποεργασία της εργασίας «Φράγμα», χωρίστηκε στις υποεργασίες 3<sup>ου</sup> επιπέδου «Στρώσεις RCC» και «Στοιχεία προστασίας κατάντη παρειάς» .

### **5.5.3 Χρονοδιάγραμμα Κατασκευής**

Ο χρονικός προγραμματισμός έγινε σε περιβάλλον MS Project. Ορίστηκαν οι ημερομηνίες έναρξης και λήξης όλων των εργασιών, καθώς και οι χρονικές σχέσεις ανάμεσα στις εργασίες. Οι σχέσεις αυτές καταγράφηκαν κυρίως με βάση λογικές υποθέσεις. Για παράδειγμα, η κάθε στοά δεν μπορεί να αρχίσει να κατασκευάζεται παρά μόνο αφού έχει γίνει η επίστρωση του σκληρού επιχώματος μέχρι το υψόμετρο της στοάς. Η εκσκαφή των αντερεισμάτων ξεκινά τη μέρα που ξεκινούν και οι εργασίες για την εκτροπή, διότι υποθέτουμε πως αφού η ρεματιά που περνά από την περιοχή έχει μικρή παροχή, η ροή της δεν επηρεάζει τις εκσκαφές που γίνονται στα ψηλότερα υψόμετρα των αντερεισμάτων. Αντίστοιχα, και σε συνδυασμό με τα διαθέσιμα χρονοδιαγράμματα για την εκτίμηση της χρονικής διάρκειας κάθε εργασίας συμπληρώθηκε το χρονοδιάγραμμα και δημιουργήθηκε στο MS Project το διάγραμμα Gantt (βλ. Διάγραμμα 5-1). Συνολικά ο χρόνος κατασκευής του φράγματος εκτιμήθηκε στα τρία χρόνια και ένα μήνα.

Το παρακάτω διάγραμμα είναι συμπυκνόμενο και φαίνονται οι δραστηριότητες μέχρι το 3<sup>ο</sup> επίπεδο υποδιαίρεσης. Το πλήρως ανεπτυγμένο Διάγραμμα παρατίθεται στο Παράρτημα Β.

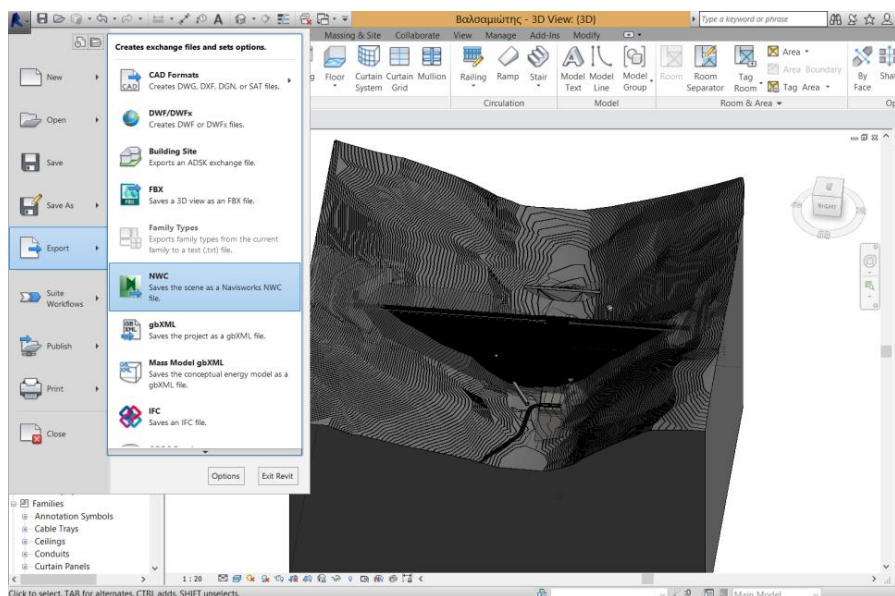


Διάγραμμα 5-1 Διάγραμμα Gantt σε περιβάλλον MS Project.

## 5.5.4 Δυναμική σύνδεση χρονοδιαγράμματος με 3D σχέδιο

Με την ολοκλήρωση του WBS της κατασκευής και του χρονοδιαγράμματος σε περιβάλλον MS Project, είναι πλέον εφικτή η σύνδεσή του με το τρισδιάστατο μοντέλο της κατασκευής έτσι ώστε να γίνει η οπτικοποίηση της κατασκευής στα διάφορα στάδιά της.

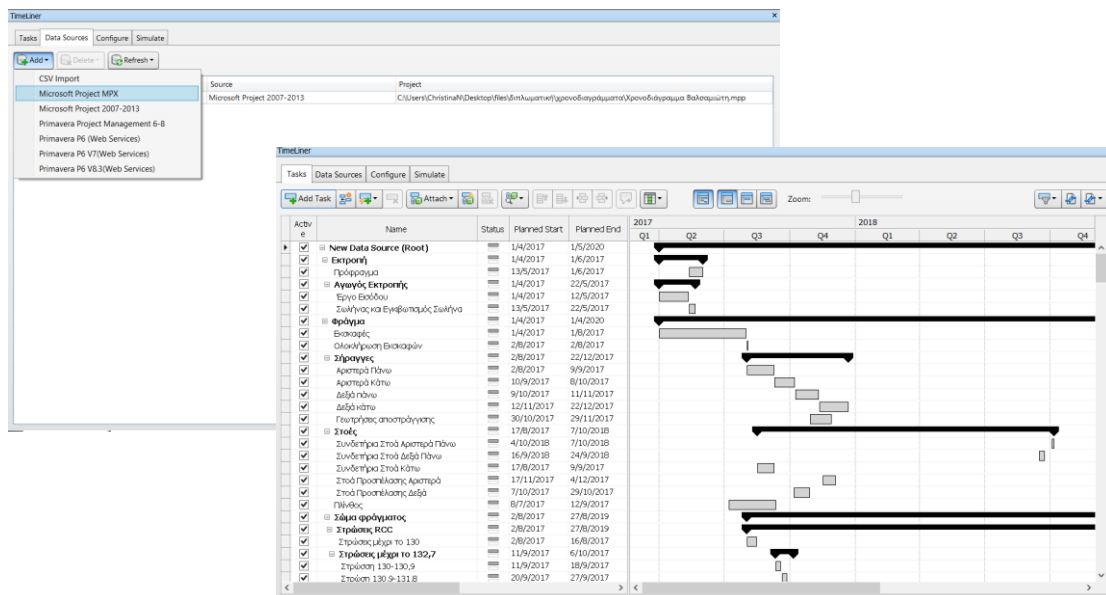
Η σύνδεση αυτή θα γίνει σε περιβάλλον Navisworks. Πρέπει για αρχή να εξαχθεί ένα αρχείο μορφής NWC από το Revit που θα περιέχει το μοντέλο, με όλες τις πληροφορίες που συνοδεύουν τα αντικείμενά του (βλ. Εικόνα 5-19). Γι' αυτό το σκοπό, δημιουργήθηκε ένα 3D View του μοντέλου όπου όλα τα αντικείμενα που θέλουμε να μεταφερθούν στο Navisworks να είναι ορατά. Αυτό συμπεριλαμβάνει αντικείμενα στην που έχουν κατεδαφιστεί ή είναι προσωρινά (Στη δική μας περίπτωση για παράδειγμα, η αρχική τοπογραφική επιφάνεια, έχει αντικατασταθεί με την επιφάνεια μετά τις εκσκαφές). Για να είναι όλα τα αντικείμενα ορατά στο View που θα εξαγάμε πρέπει να ρυθμίσουμε κατάλληλα τα εργαλεία Visibility/Graphics Overrides, Graphic Display Options και Phasing.



Εικόνα 5-19 Εξαγωγή αρχείου NWC από το Revit (σύνδεση με Navisworks)



Το Autodesk Navisworks μέσω του εργαλείου TimeLiner επιτρέπει τη δυναμική σύνδεση με το αρχείο MS Project μέσω της εντολής “Add Data Source” (βλ. Εικόνα 5-20). Η εντολή αυτή δίνει τη δυνατότητα ενσωμάτωσης όλων των χρονικών αλληλουχιών που περιλαμβάνονται στο αρχείο MS Project, και δημιουργεί από αυτό ιεραρχία εργασιών σε περιβάλλον Navisworks.



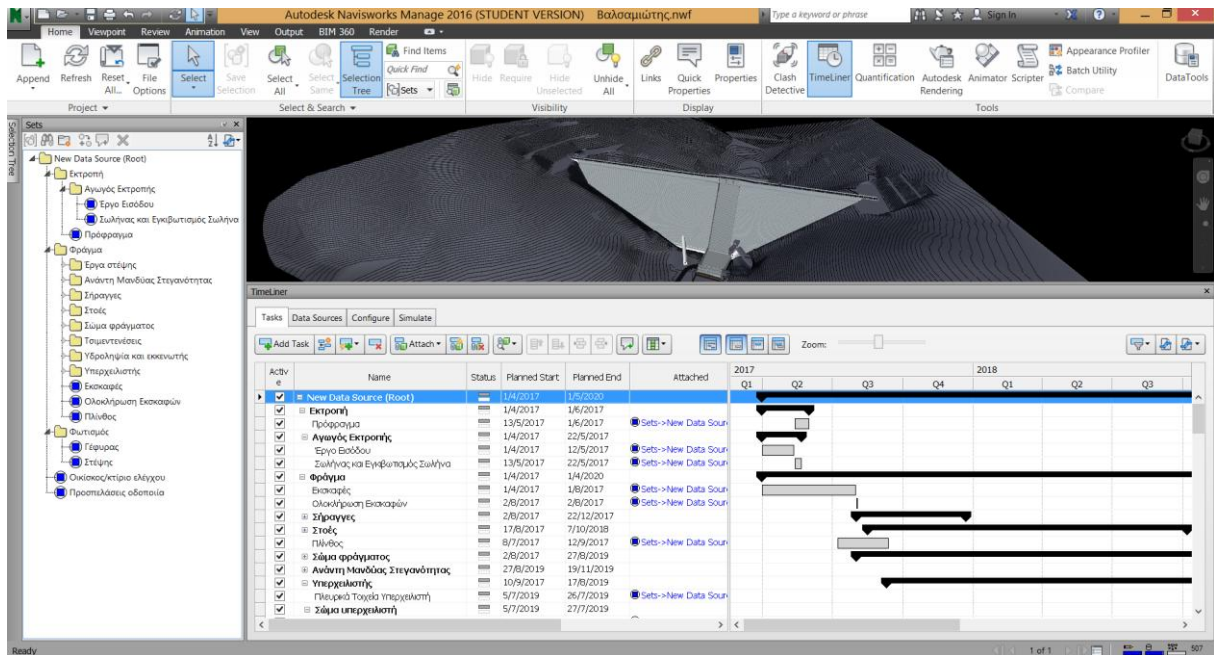
**Εικόνα 5-20 Δυναμική Σύνδεση Χρονοδιαγράμματος που δημιουργήθηκε σε περιβάλλον MS Project με το εργαλείο TimeLiner του Navisworks.**

Το επόμενο βήμα είναι να αντιστοιχηθεί την κατάλληλη εργασία. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για να γίνει αυτό. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των Selection Sets. Το Navisworks δίνει τη δυνατότητα να εξαχθεί ολόκληρο το χρονοδιάγραμμα στο παράθυρο διαχείρισης των Selection Sets, με την εντολή “Export to Sets”. Έτσι για κάθε εργασία δημιουργείται αυτομάτως ένα Selection Set με το ίδιο όνομα, καθώς και διατηρείται η ιεραρχία των εργασιών του χρονοδιαγράμματος.

Τα Selection Sets είναι ουσιαστικά φάκελοι που «γερμίζουν» με όσα από τα αντικείμενα του μοντέλου επιλέξει ο χρήστης. Έπειτα, επιλέγοντας ένα Selection Set, επιλέγονται και τονίζονται με μπλε χρώμα όλα τα στοιχεία που περιέχονται σε αυτό. Είναι ένα εργαλείο που αποσκοπεί στην ταξινόμηση των αντικειμένων του μοντέλου, και κυρίως, στη γρήγορη σύνδεση των αντικειμένων με το εργαλείο TimeLiner.

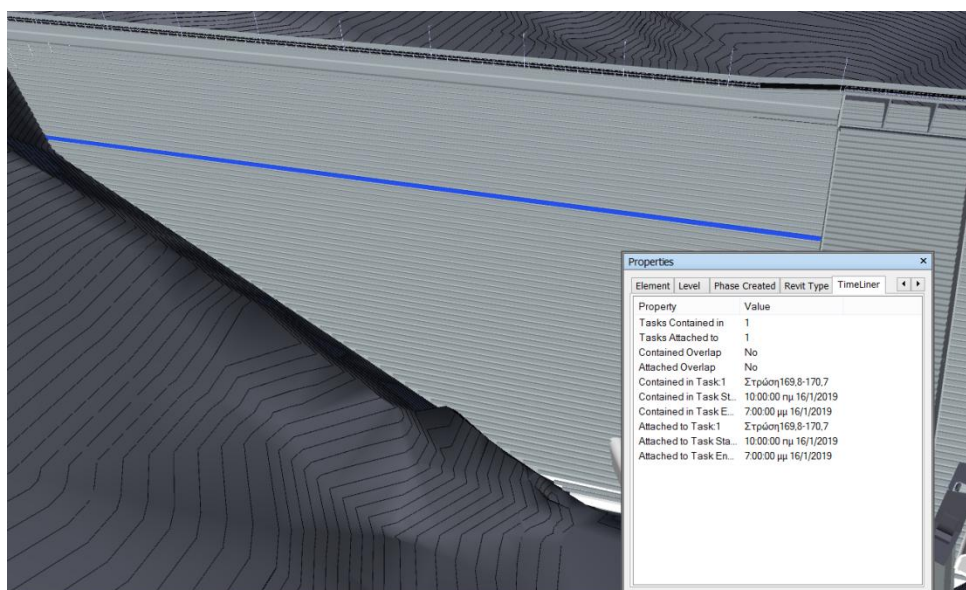
Έτσι, αφού μετά την εξαγωγή του χρονοδιαγράμματος στα Sets, κάθε εργασία έχει αυτομάτως αντιστοιχηθεί με ένα Selection Set, και αφού όλα τα στοιχεία του μοντέλου

έχουν καταχωρηθεί στα αντίστοιχα Sets, το χρονοδιάγραμμα είναι πλήρως συνδεδεμένο με την γεωμετρία του μοντέλου όπως φαίνεται στην Εικόνα 5-21.



Εικόνα 5-21 Σύνδεση της γεωμετρίας του μοντέλου με το εργαλείο TimeLiner, μέσω των Selection Sets.

Αφού έχει ολοκληρωθεί η διαδικασία της σύνδεσης, μπορούμε πια, επιλέγοντας κάθε στοιχείο του Navisworks, να βλέπουμε στην καρτέλα TimeLiner των ιδιοτήτων του την προγραμματισμένη ημέρα Έναρξης και Λήξης της κατασκευής του καθώς και το όνομα της



Εικόνα 5-22 Καρτέλα Timeliner των Properties. Φαίνονται η εργασία στην οποία αντιστοιχεί το αντικείμενο, και οι προγραμματισμένες ημερομηνίες έναρξης και λήξης.

εργασίας στην οποία έχει αντιστοιχηθεί το αντικείμενο (βλ. Εικόνα 5-22).

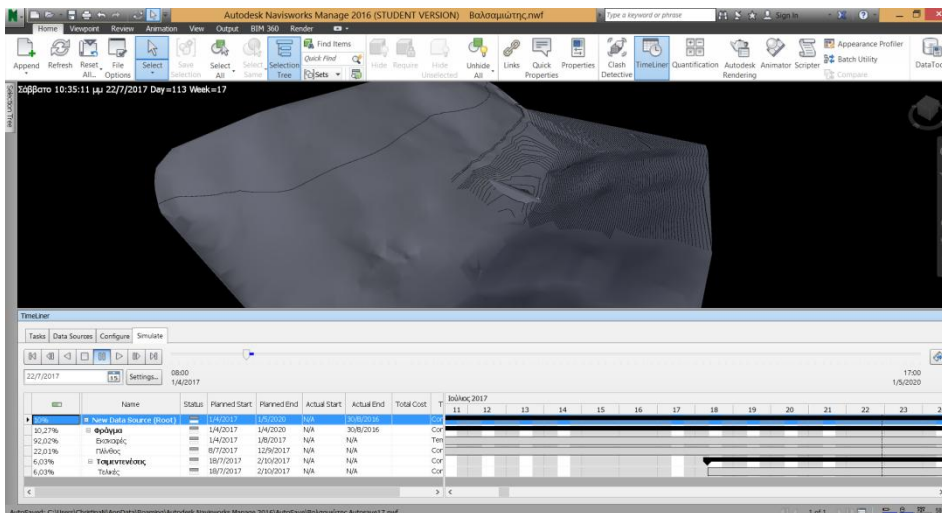
### 5.5.5 Προσομοίωση Κατασκευής

Το λογισμικό Navisworks παρέχει προηγμένα εργαλεία για το χρονικό προγραμματισμό του έργου και την προσομοίωση της κατασκευής σε διαφορετικές χρονικές θέσεις.

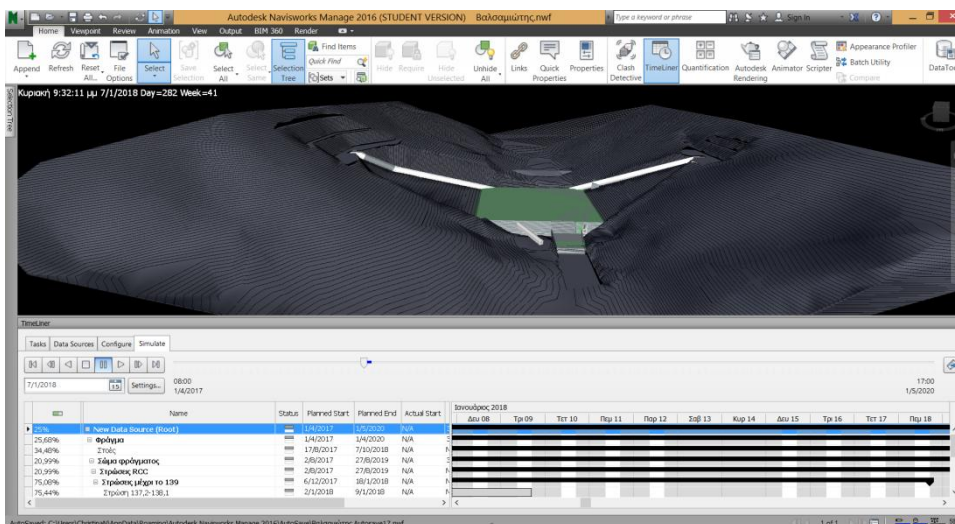
Μέσω της καρτέλας “configure” και “simulate” του εργαλείου TimeLiner ο χρήστης του προγράμματος μπορεί να ορίσει όλες τις παραμέτρους της προσομοίωσης, όπως ενδεικτικά:

- Τα διάφορα στυλ απεικόνισης των αντικειμένων με βάση το είδος των εργασιών στις οποίες αντιστοιχούν (κατασκευή, προσωρινή κατασκευή, καθαίρεση, ή άλλο είδος που δημιουργεί ο χρήστης), αλλά και με βάση το χρόνο (αρχικό στάδιο κατασκευής, προχωρημένο στάδιο, περάτωση κατασκευής κλπ)
- Το χρονικό βήμα αλλά και τη συνολική διάρκεια της προσομοίωσης
- Τα στοιχεία που θα απεικονίζονται στην προσομοίωση καθώς και οι γωνίες θέασης (viewports)

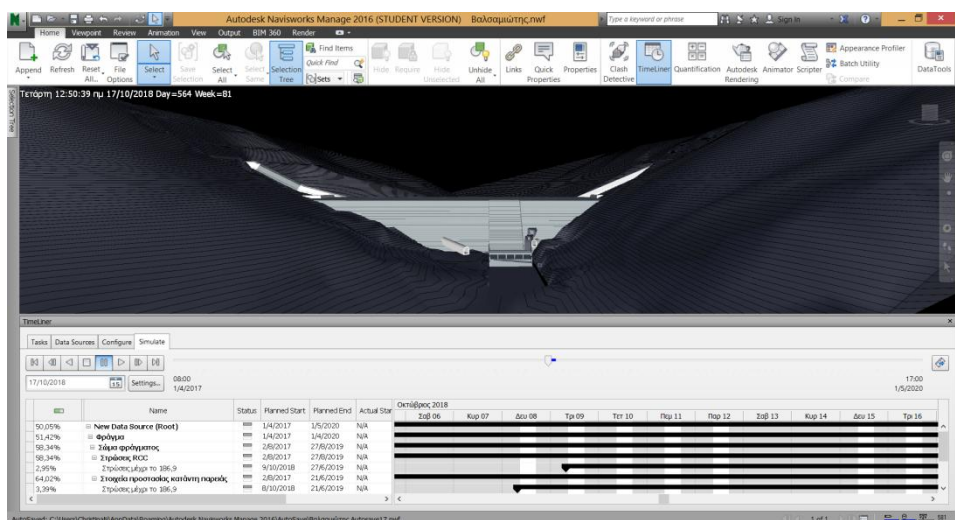
Το αποτέλεσμα της εφαρμογής της προσομοίωσης κατασκευής είναι ιδιαιτέρως εντυπωσιακό και χρηστικό, καθώς ο μηχανικός έχει τη δυνατότητα να ανατρέξει σε οποιαδήποτε κατασκευή και να δει εύκολα τι έχει προγραμματιστεί να κατασκευαστεί, να συγκρίνει το χρονοδιάγραμμα με την πραγματικότητα και να διαπιστώσει εάν χρειάζεται να προβεί σε απαραίτητες αλλαγές ως προς την αλληλουχία των κατασκευαστικών δραστηριοτήτων. Παρακάτω παρατίθενται εικόνες από χαρακτηριστικά στιγμιότυπα της προσομοίωσης κατασκευής της μελέτης περίπτωσης της παρούσας εργασίας (βλ. Εικόνα 5-23, Εικόνα 5-24, Εικόνα 5-25)



Εικόνα 5-23 Στιγμιότυπο από την προσομοίωση κατασκευής. Ποσοστό ολοκλήρωσης εργασιών: 10%



Εικόνα 5-25 Στιγμιότυπο από την προσομοίωση κατασκευής. Ποσοστό ολοκλήρωσης εργασιών: 10%



Εικόνα 5-24 Στιγμιότυπο από την προσομοίωση κατασκευής. Ποσοστό ολοκλήρωσης εργασιών: 10%

## 5.6 Εξαγωγή στοιχείων προμέτρησης σε περιβάλλον Navisworks (Quantification)

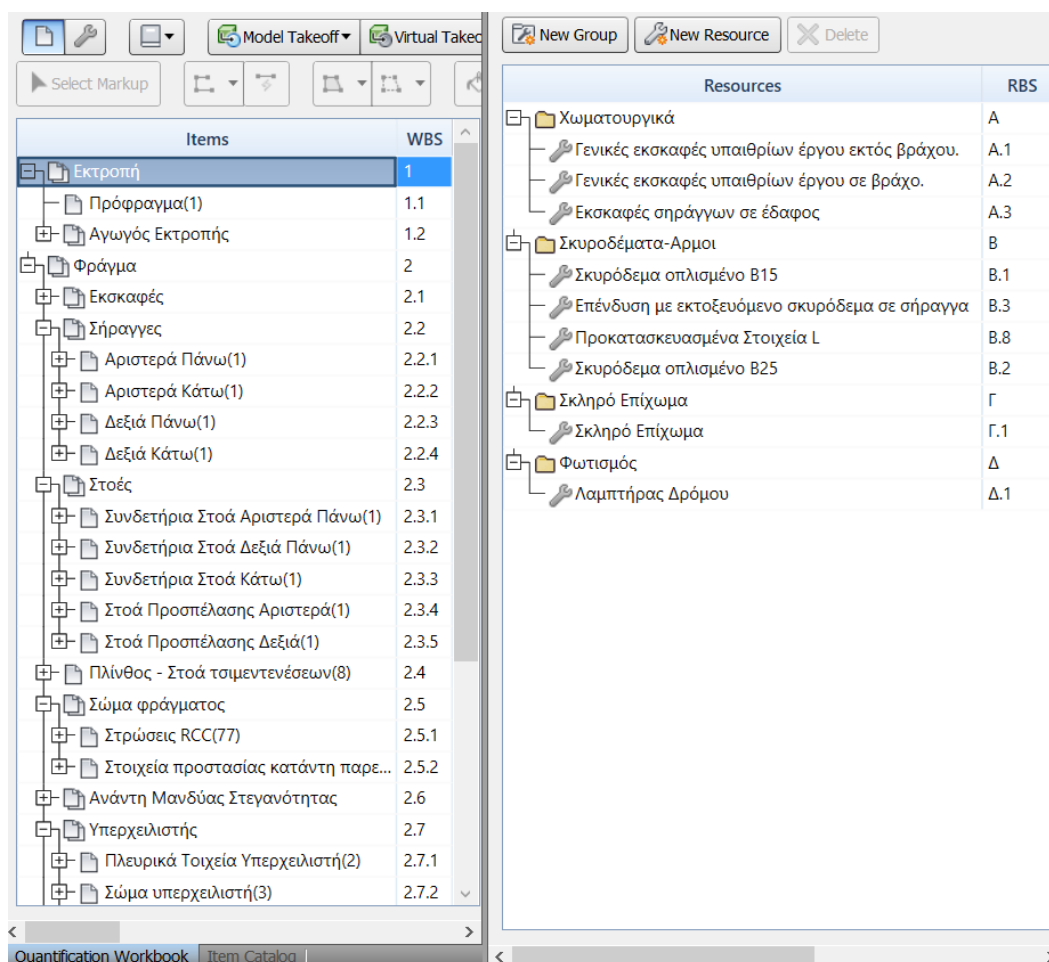
Μία από τις πιο σημαντικές δυνατότητες του Navisworks είναι αυτή της εξαγωγής προμετρητικών στοιχείων από το μοντέλο, με το εργαλείο “Quantification”. Το εργαλείο αυτό επιτρέπει στο χρήστη να εξάγει με γρήγορο και αυτόματο τρόπο, και με ακρίβεια (στο βαθμό που το μοντέλο είναι ακριβές) αναλυτικές πληροφορίες για τις ποσότητες των υλικών που απαιτούνται για τις κατασκευαστικές εργασίες. Οι πληροφορίες εξάγονται σε μορφή φύλλου εργασίας για να γίνει η ανάλυση κόστους. Το κόστος –που αποτελεί την 5<sup>η</sup> Διάσταση του BIM (βλ. Παράγραφο 2.1.3) - υπολογίζεται εύκολα όταν ο χρήστης εισάγει το κόστος ανά μονάδα για κάθε υλικό ή εργασία. Έτσι το εργαλείο Quantification του Navisworks εξυπηρετεί την υλοποίηση του BIM 5D.

Για την εξαγωγή προμετρητικών στοιχείων στο Navisworks δημιουργήθηκε το Item Catalog σε ειδική φόρμα (Excel Catalog Template Tool) που είναι διαθέσιμη στην ιστοσελίδα της Autodesk. Στο πεδίο Item Catalog ο χρήστης μπορεί να οργανώσει τα αντικείμενα ή τις εργασίες που θέλει να συμπεριλάβει στην προμέτρηση. Ο τρόπος οργάνωσης των αντικειμένων βρίσκεται στην ευχέρεια του χρήστη. Το Navisworks παρέχει τρεις καταλόγους ταξινόμησης αντικειμένων εκ των οποίων ο ένας αναφέρεται στο σύστημα ταξινόμησης UniFormat (βλ. Υποκεφάλαιο 3.2). Ωστόσο ο χρήστης μπορεί να φτιάξει τον δικό του κατάλογο ή να εισάγει έναν και σε κάθε περίπτωση μπορεί εύκολα ανά πάσα στιγμή να τροποποιήσει τον κατάλογο που χρησιμοποιεί. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, χρησιμοποιήθηκε απλοποιημένη μορφή του καταλόγου αντικειμένων που είχε αναπτυχθεί για τον χρονικό προγραμματισμό του έργου, δηλαδή το WBS (βλ. Παράγραφο 5.5.2). Χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα αντικείμενα που έχουν μοντελοποιηθεί προσομοιώνοντας με ακρίβεια τα πιο βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά των πραγματικών αντικειμένων, και ως εκ τούτου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή προμετρητικών στοιχείων (βλ. Πίνακας 5-1) Βέβαια, κάποια αντικείμενα δημιουργήθηκαν για λόγους παρουσίασης, και με στόχο να συμβολίζουν το πραγματικό αντικείμενο έτσι ώστε να χρησιμοποιηθούν στην προσομοίωση του χρονοδιαγράμματος της κατασκευής. Τέτοια είναι οι τιμεντενέσεις, οι αποστραγγίσεις και η οδοποιία. Αυτά τα αντικείμενα δεν περιλήφθηκαν στο Item Catalog, και στη διαδικασία της προμέτρησης. Τα αποτελέσματα της διαδικασίας εξάγονται εύκολα σε φύλλο εργασίας Excel. Στο Παράρτημα Β φαίνεται το φύλλο εργασίας Excel που εξήχθη

από το Navisworks σε Microsoft Excel. Ο χρήστης μπορεί να ορίσει τις στήλες του φύλλου εργασίας ανάλογα με τα μεγέθη ενδιαφέροντος. Στη στήλη «Primary Quantity» φαίνονται τα μεγέθη που αντιστοιχούν στη Μονάδα Φυσικού Αντικειμένου .

Έπειτα δημιουργήθηκε με τον ίδιο τρόπο (φύλλο εργασίας) κατάλογος υλικών – εργασιών ο οποίος εισήχθη στο πρόγραμμα στο πεδίο Resource. Βέβαια το Navisworks δίνει την επιλογή χρήσης ενός έτοιμου καταλόγου Resources που περιέχει κάποια βασικά υλικά όπως Σκυροδέματα και Μέταλλα. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας δημιουργήθηκε κατάλογος κάποιων πολύ βασικών υλικών, που αποτελούν και σημαντικό τμήμα του συνολικού κόστους του έργου, με στόχο την εξέταση των δυνατοτήτων του εργαλείου Quantification του Navisworks και κατ' επέκταση την διερευνητική εφαρμογή τεχνολογιών BIM 5D, και όχι την υλοποίηση ολοκληρωμένης προμέτρησης του έργου.

Στην Εικόνα 5-26 φαίνονται τα Item Catalog και Resource Catalog όπως οργανώνονται στα αντίστοιχα πεδία του εργαλείου Quantification του Navisworks.



Εικόνα 5-26 Αριστερά: Item Catalog Δεξιά: Resource Catalog

Λίστα Αντικειμένων ανά κατηγορία έργου		Μονάδα Φυσικού Αντικειμένου
<b>Εκτροπή</b>		
	Πρόφραγμα	m <sup>3</sup>
<b>Αγωγός Εκτροπής</b>		
	Έργο Εισόδου	m <sup>3</sup>
	Σωλήνας και Εγκιβωτισμός Σωλήνα	m
<b>Φράγμα</b>		
	Εκσκαφές	m <sup>3</sup>
	Σήραγγες	
	Αριστερά Πάνω	m
	Αριστερά Κάτω	m
	Δεξιά πάνω	m
	Δεξιά κάτω	m
<b>Στοές</b>		
	Συνδετήρια Στοά Αριστερά Πάνω	m
	Συνδετήρια Στοά Δεξιά Πάνω	m
	Συνδετήρια Στοά Κάτω	m
	Στοά Προσπέλασης Αριστερά	m
	Στοά Προσπέλασης Δεξιά	m
	Πλίνθος	m
<b>Σώμα φράγματος</b>		
	Στρώσεις RCC	m <sup>3</sup>
	Στοιχεία προστασίας κατάντη παρειάς	m
<b>Ανάντη Μανδύας Στεγανότητας</b>		
	Σκυροδέτηση Μανδύα Στεγανότητας σε Λωρίδες	m <sup>3</sup>
<b>Υπερχειλιστής</b>		
	Πλευρικά Τοιχεία Υπερχειλιστή	m <sup>3</sup>
	Σώμα υπερχειλιστή	τεμάχιο
	Βαθμιδωτές Πτώσεις Υπερχειλιστή	τεμάχιο
	Λεκάνη Καταστροφής Ενέργειας	m <sup>3</sup>
	Γέφυρα (πάνω από τη λεκάνη καταστροφής ενέργειας)	m <sup>3</sup>
	Μεσόβαθρα	m <sup>3</sup>
	Ακρόβαθρα	m <sup>3</sup>
<b>Έργα στέψης</b>		
	Τοίχος αντιστήριξης	m
	Κράσπεδο και Στρώση κυκλοφορίας	m
	Κιγκλιδώματα (κατάντη)	m
	Στηθαίο (ανάντη)	m
<b>Υδροληψία και εκκενωτής</b>		
	Πύργος	m
	Σημεία υδροληψίας	τεμάχιο
	Έργο εισόδου εκκένωσης	m <sup>3</sup>
	Έργο εξόδου εκκένωσης	m <sup>3</sup>
	Στοά υδροληψίας και εκκένωσης	m <sup>3</sup>
<b>Φωτισμός</b>		
	Στέψης	τεμάχιο
	Γέφυρας	τεμάχιο

Πίνακας 5-1 Λίστα αντικειμένων προμέτρησης

Στη συνέχεια οργανώνεται το πεδίο Quantification Workbook. Εδώ τα αντικείμενα του μοντέλου αντιστοιχίζονται με τα αντικείμενα (ή εργασίες) του Item Catalog. Στην περίπτωση της παρούσας εργασίας αυτή η διαδικασία είναι πολύ εύκολη αφού το Item Catalog είναι δομημένο με τον ίδιο τρόπο που οργανώθηκαν τα Selection Sets για τις ανάγκες του χρονικού προγραμματισμού (βλ. Παράγραφο 5.5.4). Το εργαλείο Quantification αντιστοιχίζει κάθε αντικείμενο του Item Catalog με ένα χρώμα έτσι να μπορεί ο χρήστης εύκολα να οπτικοποιήσει το αποτέλεσμα της διαδικασίας της προμέτρησης. Επιπλέον αποτρέπει το χρήστη από το να προμετρήσει ένα αντικείμενο του μοντέλου δύο φορές εμφανίζοντας αντίστοιχη ειδοποίηση στην οθόνη. Τέλος ο χρήστης αντιστοιχίζει τα αντικείμενα του Item Catalog με τα υλικά – εργασίες του Resource Catalog.

Τελικά στο πεδίο Quantification Workbook φαίνονται κάποια γεωμετρικά χαρακτηριστικά των αντικειμένων του μοντέλου. Στο στιγμιότυπο οθόνης της Εικόνα 5-27 φαίνονται τα περιεχόμενα της εργασίας Στρώσεις RCC του Item Catalog. Αριστερά φαίνεται η λίστα αντικειμένων και τα υλικά – εργασίες που έχουν αντιστοιχηθεί, ενώ δεξιά φαίνονται κάτω τα αντικείμενα του μοντέλου που περιέχονται στο επιλεγμένο Item με τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά και πάνω αθροισμένα τα γεωμετρικά μεγέθη όλων των αντικειμένων που περιέχονται στο Item. Στη στήλη Primary Quantity αναγράφεται το μέγεθος που χρησιμεύει στην κοστολόγηση του κάθε αντικειμένου, το οποίο ορίζεται από τον χρήστη.

Status	WBS/RBS	Name	Length	Area	Volume	Count	PrimaryQuantity
	2.5.1	Στρώσεις RCC	15.375,834	668.012,645	570.911,638	77,000 ea	570.911,638 m³
	Γ.1	Σκληρό Επίχρωμα (Στρώσεις RCC)	15.375,834	668.012,645	570.911,638	77,000 ea	570.911,638 m³

Status	WBS	Object	Length	Area	Volume	Count	PrimaryQuantity
	2.5.1.7	Ανόργανο Κορυφή 2	194,003	922,423	624,208	1,000 ea	624,208 m³
	2.5.1.8	Ανόργανο Κορυφή 2	116,984	493,244	319,391	1,000 ea	319,391 m³
	2.5.1.9	Ανόργανο Κάτω	90,572	8,809,666	7,510,909	1,000 ea	7,510,909 m³
	2.5.1.10	Ανόργανο Κάτω	95,270	9,129,716	7,760,639	1,000 ea	7,760,639 m³
	2.5.1.11	Ανόργανο Κάτω	85,874	8,481,001	7,328,868	1,000 ea	7,328,868 m³
	2.5.1.12	Ανόργανο Κάτω	99,968	9,822,949	7,967,592	1,000 ea	7,967,592 m³
	2.5.1.13	Ανόργανο Κάτω	104,666	10,162,288	8,423,569	1,000 ea	8,423,569 m³
	2.5.1.14	Ανόργανο Κάτω	109,364	10,549,905	8,773,537	1,000 ea	8,773,537 m³
	2.5.1.15	Ανόργανο Κάτω	114,062	10,646,387	9,090,159	1,000 ea	9,090,159 m³
	2.5.1.16	Ανόργανο Κάτω	118,760	10,864,413	9,452,913	1,000 ea	9,452,913 m³
	2.5.1.17	Ανόργανο Κάτω	123,458	11,062,835	9,506,191	1,000 ea	9,506,191 m³
	2.5.1.18	Ανόργανο Κάτω	128,156	11,306,907	9,702,129	1,000 ea	9,702,129 m³
	2.5.1.19	Ανόργανο Κάτω	151,646	12,185,696	10,422,602	1,000 ea	10,422,602 m³

Εικόνα 5-27 Quantification Workbook



Έτσι στο συγκεκριμένο παράδειγμα η συνολική απαραίτητη ποσότητα του υλικού «Σκληρό Επίχωμα» υπολογίζεται αθροίζοντας τον αθροιστικό όγκο όλων των στρώσεων σκληρού επιχώματος που υπάρχουν στο μοντέλο.

## Κεφάλαιο 6. Συμπεράσματα

### 6.1 Τα πλεονεκτήματα της εφαρμογής του Πληροφοριακού Μοντέλου Έργου (BIM)

Το βασικότερο κίνητρο που οδήγησε στην ανάπτυξη του BIM, είναι η διαπίστωση πως οι παραδοσιακές μέθοδοι εργασίας του κατασκευαστικού κλάδου παρουσιάζουν προβλήματα. Τα προβλήματα αυτά είναι κυριότερα η προβληματική επικοινωνία και συνεργασία μεταξύ των συντελεστών των τεχνικών έργων, και η αναποτελεσματική δόμηση και διαχείριση της πληροφορίας που αφορά τα έργα. Τα προβλήματα αυτά έχουν οδηγήσει τον κατασκευαστικό κλάδο σε μία σταθερή κατάσταση μη ικανοποιητικής αποδοτικότητας, δεδομένου ότι οι απαιτήσεις όσον αφορά στο σχεδιασμό, την κατασκευή και την διαχείριση τεχνικών έργων διαρκώς αυξάνεται. Η αποδοτικότητα του κατασκευαστικού κλάδου είναι σημαντικά μικρότερη της αποδοτικότητας των άλλων παραγωγικών κλάδων (βλ. Παράγραφο 2.2.1). Παρόλο που οι ακριβείς λόγοι για την κατάσταση αυτή δεν είναι πλήρως κατανοητοί, τα δεδομένα υποδεικνύουν ελλείψεις στον τρόπο συντονισμού και οργάνωσης της παραγωγικής διαδικασίας (Eastman 2008). Στόχος δηλαδή των τεχνολογιών BIM, είναι να εξορθολογήσουν τη διαδικασία υλοποίησης τεχνικού έργου, βελτιώνοντας διάφορες πτυχές της διαδικασίας. Για να επιτευχθεί αυτό, έχουν αναπτυχθεί διάφορα προϊόντα BIM (τεχνολογικά εργαλεία, πρότυπα, προδιαγραφές, φόρμες βάσης δεδομένων), των οποίων η ορθή εφαρμογή επιφέρει τα παρακάτω οφέλη:

#### **Στρατηγική και μέθοδοι εργασίας:**

- *Συνεργασία μεταξύ όλων των συντελεστών:* Ο συντονισμός των διαφορετικών μελετών που παραδίδονται, και διακινούνται μεταξύ των συντελεστών σε χαρτί είναι μία δύσκολη εργασία. Το BIM αφενός προτείνει την εξ' αρχής εμπλοκή όλων των συντελεστών στη διαδικασία υλοποίησης και αφετέρου εισάγει τεχνολογία ικανή να υποστηρίξει την δημιουργία μίας κεντρικής βάσης δεδομένων, στην οποία όλοι οι συντελεστές έχουν ελεύθερη πρόσβαση, και όλες οι μελέτες ενσωματώνονται σε μία (Διαλειτουργικότητα).
- *Διαχείριση σε επίπεδο Κύκλου Ζωής του Έργου:* Το Πληροφοριακό Μοντέλο Έργου ενσωματώνει το σύνολο των πληροφοριών που αφορούν ολόκληρη τη Διάρκεια

Ζωής του έργου. Έτσι αντιμετωπίζεται το πρόβλημα απώλειας πληροφορίας κατά τη μετάβαση σε διαφορετικές φάσεις του έργου και διαφορετικούς συντελεστές του έργου (π.χ. από τη μελέτη στην κατασκευή). Παράλληλα διευκολύνεται η διαδικασία λειτουργίας και διαχείρισης των εγκαταστάσεων μετά το πέρας της κατασκευής.

- *Κριτήριο η αξία και όχι η τιμή:* Στον κατασκευαστικό κλάδο μέχρι σήμερα, ο βασικός στόχος του σχεδιασμού είναι προκαθορισμένος: Η εύρεση της φθηνότερης λύσης. Ο τρόπος αυτός σχεδιασμού διαφέρει ριζικά από τη φιλοσοφία του BIM (και του IPD) που εισάγουν το επίδικο της αξίας (The Economist, 2015). Στόχος είναι η επίτευξη του καλύτερου δυνατού σχεδιασμού, που με τη χρήση των προηγμένων τεχνολογικών προϊόντων που υποστηρίζουν το BIM υλοποιείται με σημαντικά μικρότερο κόστος. Το BIM επικεντρώνεται στο αρχικό στάδιο του σχεδιασμού και προϋποθέτει την επένδυση περισσότερου χρόνου και χρημάτων. Η ορθή εφαρμογή BIM συνεπάγεται τον προσανατολισμό προς τον πιο ποιοτικό, πιο λεπτομερή σχεδιασμό, χωρίς όμως να τοποθετεί το κέρδος σε δεύτερη μοίρα, αφού φαίνεται πως η στρατηγική αυτή οδηγεί σε αύξηση της αποδοτικότητας και μείωση κόστους.

#### ***Τεχνολογικά Εργαλεία:***

- *Αυτοματοποίηση του σχεδιασμού και του προγραμματισμού του έργου:* Ένας παράγοντας μείωσης της αποδοτικότητας του κατασκευαστικού κλάδου είναι τα λάθη σε χρονοβόρες εργασίες όπως εκτίμηση κόστους. Τα τεχνολογικά εργαλεία BIM εισάγουν την έννοια του παραμετρικού σχεδιασμού και της μοντελοποίησης αντικειμένων (και όχι σχεδίων) που αυτοματοποιούν αυτές τις εργασίες. Πράγματι, η μείωση λαθών και παραλείψεων, καθώς και η μείωση εργασίας που γίνεται ξανά και ξανά είναι από τα βασικότερα πλεονεκτήματα που παραθέτουν οι περισσότεροι χρήστες του BIM (Mc Graw-Hill Construction 2012). Επιπλέον τα προηγμένα αυτά τεχνολογικά εργαλεία παρέχουν τη δυνατότητα αυτόματης παραγωγής σχεδίων όπως ανόψεις, κατόψεις, τομές
- *Αυτοματοποίηση ενημέρωσης αλλαγών:* Λόγω του παραμετρικού σχεδιασμού που υποστηρίζεται από τα τεχνολογικά εργαλεία BIM, αυτοματοποιείται η ενσωμάτωση της αλλαγής αυτομάτως σε ολόκληρο το μοντέλο. Έτσι, όταν για παράδειγμα αλλάζει ένα γεωμετρικό μέγεθος κάποιου στοιχείου, δεν χρειάζεται να γίνουν πολλές ανανεώσεις (στις τομές, στις κατόψεις, στην προμέτρηση κλπ), αλλά η αλλαγή

αποθηκεύεται αυτόματα, όσον αφορά το ίδιο το στοιχείο, αλλά και κάθε άλλο στοιχείο του μοντέλου το οποίο ο χρήστης έχει συσχετίσει παραμετρικά.

- *Συντονισμός Μελετών και Έλεγχος Παρεμβολών (Clash Detection)*. Ένα από τα προβλήματα των παραδοσιακών μεθόδων εργασίας στην κατασκευή, ήταν η σύγκρουση των διαφορετικών μελετών στο εργοτάξιο. Επειδή συχνά η αρχιτεκτονική, στατική, ηλεκτρολογική, και η μηχανολογική μελέτη υλοποιούνται από διαφορετικούς συντελεστές που δεν έχουν εποπτεία του συνολικού έργου, οι μελέτες αυτές συχνά συγκρούονται. Τα προγράμματα BIM, προσανατολισμένα στην ενίσχυση της συνεργασίας, παρέχουν εργαλεία που συντονίζουν τις διαφορετικές μελέτες και ελέγχουν για πιθανά τέτοια σφάλματα σε αρχικό στάδιο του έργου.

## **6.2 Εμπόδια και προκλήσεις που σχετίζονται με την εφαρμογή του BIM.**

Τα παραπάνω πλεονεκτήματα είναι πράγματι πολύ σημαντικά. Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη την κατάσταση που επικρατεί στον κλάδο των τεχνικών έργων στην Ελλάδα, αλλά και διεθνώς, η εφαρμογή του BIM στην πράξη παρουσιάζει δυσκολίες.

*Επιστροφή Επένδυσης (Return on Investment).*

Η μετάβαση από την παραδοσιακή μέθοδο εργασίας στην χρήση τεχνολογιών BIM είναι βασικά μία μεγάλη επένδυση. Προϋποθέτει την εκπαίδευση των μηχανικών, αρχιτεκτόνων και άλλων συντελεστών στη χρήση νέου λογισμικού, πολύ διαφορετικού από τα μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενα. Υπάρχει μία αμηχανία σχετικά με την μετάβαση από τα λογισμικά CAD σε λογισμικά BIM που οφείλεται στο γεγονός πως τα προγράμματα BIM βασίζονται σε πολύ διαφορετικές αρχές σχεδίασης από τα διαδεδομένα CAD λογισμικά, και απαιτούν μεγάλο χρονικό διάστημα εκμάθησης και πρακτικής εξάσκησης πριν από την επαγγελματική χρήση. Επιπλέον, όσον αφορά την Ελλάδα, δεν παρέχεται καμία εκπαίδευση σχετικά με τα προγράμματα BIM από την Τριτοβάθμια Εκπαίδευση, με αποτέλεσμα οι νέοι εργαζόμενοι να μην έχουν καμία επαφή με τη συγκεκριμένη τεχνολογία. Έτσι, η διαδικασία εισαγωγής τεχνολογιών BIM φαντάζει πολύ δύσκολη, ενώ η επιστροφή της επένδυσης (Return On Investment ROI) φαίνεται αβέβαιη.

Βέβαια, σύμφωνα με την έρευνα του οργανισμού Mc Graw-Hill Construction το 2012 σχετικά με την αξία του BIM στα τεχνικά έργα, τα τρία τέταρτα των εταιρειών που εφαρμόζουν BIM δηλώνουν θετική επιστροφή επένδυσης. Ωστόσο σε χώρες όπως η Ελλάδα, όπου το BIM δεν έχει θέση στην αγορά, και οι τεχνικές εταιρείες δεν έχουν απτά παραδείγματα επιτυχίας από την εφαρμογή BIM, τα δεδομένα αυτά δεν είναι αρκετά για τη διάδοση της τεχνολογίας.

*Στήριξη από δημόσιους φορείς.*

Ένας ακόμη παράγοντας που συμβάλει στη διστακτικότητα των τεχνικών εταιρειών σχετικά με το BIM, είναι η έλλειψη στήριξης και διάδοσης της τεχνολογίας από δημόσιους φορείς. Δεν είναι τυχαίο άλλωστε πως στις χώρες που ηγούνται της απόπειρας εφαρμογής BIM υπάρχουν κυβερνητικά προγράμματα προώθησης και στήριξης της εφαρμογής της τεχνολογίας.

*Μεταφορά του κόστους σε αρχικό στάδιο της διαδικασίας υλοποίησης του έργου.*

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του BIM είναι η μεταφορά μεγάλου ποσοστού της απαιτούμενης εργασίας, και κατ' επέκταση, του απαιτούμενου κόστους της κατασκευής, για τις ανάγκες της εικονικής προ-κατασκευής (prefabrication) του έργου. Σύμφωνα μάλιστα με τους Eastman et al. 2012, η αύξηση ή η μείωση των οφελών από την εφαρμογή του BIM εξαρτάται αμέσως από τη φάση του έργου κατά την οποία θα εφαρμοστεί η τεχνολογία. Όσο πιο νωρίς τόσο περισσότερα έχει να προσφέρει. Έτσι, για την πλέον προσοδοφόρα εφαρμογή του Π.Μ.Ε., τα κόστη της κατασκευής μειώνονται, αλλά τα κόστη του σχεδιασμού αυξάνονται σημαντικά. Συνεπώς απαιτείται η πραγματοποίηση μίας μεγάλης επένδυσης στην αρχή του σχεδιασμού, της οποίας η επιστροφή θα έρθει πολύ αργότερα, κατά τη διάρκεια ή στο τέλος της κατασκευής.

*Κωλύματα που σχετίζονται με τον τρόπο υλοποίησης δημοσίων έργων.*

Όσον αφορά τα δημόσια έργα (έργα υποδομής), η εφαρμογή του BIM συναντά ακόμη περισσότερα εμπόδια. Στην Ελλάδα η κατασκευή δημοσίων έργων γίνεται με βάση το μοντέλο Σχεδιασμός – Δημοπράτηση – Κατασκευή (βλ. Παράγραφο 2.2.1). Έτσι κρίνεται αδύνατη η εμπλοκή όλων των συντελεστών από την αρχή της διαδικασίας σχεδιασμού καθώς ο ανάδοχος μελετητής διεξάγει την μελέτη πριν καθοριστεί καν ο ανάδοχος

κατασκευαστής. Συνήθως μάλιστα, μετά την δημοπράτηση ο ανάδοχος κατασκευαστής αναγκάζεται να επαναλάβει κομμάτι της μελέτης, ή να αναζητήσει διευκρινήσεις και πληροφορίες σχετικά με τη μελέτη, καθώς τα στοιχεία που παρέχονται στη μελέτη είναι συχνά ελλιπή. Αντίστοιχα, σε περίπτωση εφαρμογής BIM σε δημόσιο έργο, θα έπρεπε για να δημιουργηθούν δύο Πληροφοριακά Μοντέλα Έργου, ένα από τον μελετητή και ένα από τον κατασκευαστή για να αντιμετωπιστεί η ενδεχόμενη έλλειψη πληροφοριών στη μελέτη, αφού η εκ' των υστέρων συμπλήρωση ή διόρθωση πληροφορίας σε ελλιπές μοντέλο κρίνεται μη αποδοτική, ή εξίσου αποδοτική με την ανάπτυξη δεύτερου μοντέλου. Φαίνεται λοιπόν, πως αυτό το μοντέλο (DBB) δεν διευκολύνει την εφαρμογή τεχνολογιών BIM.

### **6.3 Η εφαρμογή του BIM σε φράγμα από σκληρό επίχωμα**

Οι τεχνολογίες BIM έχουν εφαρμοστεί σε κτιριακά έργα περισσότερο από ότι σε έργα υποδομής (βλ. Υποκεφάλαιο 2.4). Έτσι η περίπτωση που μελετάται στην παρούσα εργασία αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον γιατί ενώ εξετάζει την πρακτική εφαρμογή BIM παράλληλα προσεγγίζει το θέμα του BIM στα έργα υποδομής. Παρακάτω αναλύονται τα συμπεράσματα από τη μελέτη περίπτωσης, όσον αφορά τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει η εφαρμογή του BIM στην κατασκευή ενός μεγάλου φράγματος από σκληρό επίχωμα.

#### ***Πλεονεκτήματα:***

- Κάθε φράγμα είναι ένα πολύ ξεχωριστό και σύνθετο έργο, και οι ιδιαιτερότητες που παρουσιάζει είναι πολλές φορές απρόβλεπτες, και απαιτούν εξειδικευμένες λύσεις. Δεν υπάρχει τρόπος να τυποποιήσει κανείς τον σχεδιασμό ενός φράγματος. Έτσι, η υλοποίηση ενός φράγματος, συνήθως προϋποθέτει τον σχεδιασμό πολύπλοκων, ειδικών κατασκευών με ιδιαίτερη γεωμετρία ή τρόπο λειτουργίας. Παράλληλα, η κατασκευή ενός φράγματος προϋποθέτει την συνεργασία πολλών συντελεστών και τον συντονισμό πολλών μελετών. Η ανάπτυξη ενός *Πληροφοριακού Μοντέλου Φράγματος (BIM 3D)*, πριν την έναρξη των εργασιών, παρέχει το πλεονέκτημα της εύκολης και πλήρους αντίληψης και εποπτείας της κατασκευής από ολόκληρη την ομάδα συντελεστών. Επιπλέον αυτή η εικονική κατασκευή πριν την πραγματική κατασκευή, συνήθως αποκαλύπτει δυσκολίες και προβλήματα σε αρχικό στάδιο, επιτρέποντας τη γρήγορη και ανέξοδη διόρθωσή τους.

- Ο χρονικός προγραμματισμός της κατασκευής ενός φράγματος είναι μία απαιτητική εργασία. Η κατασκευή ενός φράγματος επιμερίζεται σε πολλές διαφορετικές εργασίες που πολλές φορές εκτελούνται ταυτόχρονα στο εργοτάξιο και προϋποθέτουν την κυκλοφορία διαφορετικών μηχανημάτων στο χώρο. Τα φράγματα που κατασκευάζονται από σκληρό επίχωμα έχουν αυξημένες απαιτήσεις, καθώς ο χειρισμός του υλικού αυτού απαιτεί ειδική μεταχείριση. Το εργοτάξιο πρέπει πολλές φορές να εργάζεται 24 ώρες χωρίς παύση, ενώ η μονάδα παρασκευής του υλικού βρίσκεται σε πολύ μικρή απόσταση από το εργοτάξιο. Η ταχύτητα της κατασκευής είναι κρίσιμος παράγοντας στα φράγματα από σκληρό επίχωμα, αφού αποτελεί ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα και ίσως ένα από τα κίνητρα που οδηγούν στην επιλογή αυτού του είδους φράγματος. Έτσι η δυνατότητα οπτικοποίησης των προγραμματισμένων εργασιών κάθε ημέρας, και η παρακολούθηση της προόδου των εργασιών είναι πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα για τους επιβλέποντες μηχανικούς και τους υπεύθυνους της Διαχείρισης του έργου.
- Όσον αφορά το BIM 5D, δηλαδή την εισαγωγή της παραμέτρου του κόστους στο μοντέλο BIM, αυτή μελετήθηκε μέσω της εξαγωγής προμετρητικών στοιχείων από το μοντέλο. Σε ένα τόσο σύνθετο έργο όπως τα φράγματα, η δυνατότητα αυτοματοποιημένης παραγωγής προμετρητικών στοιχείων ακριβείας, οποιαδήποτε στιγμή και η δυνατότητα αυτόματης ενημέρωσης της πληροφορίας που αφορά τις ποσότητες μετά από κάθε αλλαγή στο σχέδιο, αποκτούν μεγάλη σημασία. Η δυνατότητα εύκολου συνδυασμού των πληροφοριών του χρονικού προγραμματισμού με τις πληροφορίες που αφορούν τις ποσότητες διευκολύνει σημαντικά το έργο του συντονισμού και διαχείρισης της κατασκευής.
- Τα φράγματα είναι από τα έργα που απαιτούν διαρκή παρακολούθηση και διαχείριση από την έναρξη λειτουργίας τους και μετά. Καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του παρακολουθούνται το φράγμα και τα συνοδά έργα για την εξασφάλιση της λειτουργικότητας και της ασφάλειάς τους. Συνεπώς η 6<sup>η</sup> διάσταση του BIM (*BIM 6D*) – που δεν εξετάστηκε σε αυτή την εργασία – και η παράδοση του «as built» μοντέλου στον υπεύθυνο φορέα για τη λειτουργία του φράγματος, διευκολύνει το έργο της Διαχείρισης Εγκατάστασης επιτρέποντας την οργανωμένη αποθήκευση δομημένης πληροφορίας που αφορά τη λειτουργία του έργου.

- Τα φράγματα είναι σύνθετα έργα των οποίων ο σχεδιασμός είναι μία χρονοβόρα και απαιτητική διαδικασία. Είναι αξιοσημείωτο, πως το αρχικό στάδιο του σχεδιασμού ενός φράγματος είναι ένα από τα πιο σημαντικά. Το αρχικό στάδιο των αναγνωριστικών μελετών και των προμελετών, το στάδιο δηλαδή της αναζήτησης της καταλληλότερης θέσης για το φράγμα και του καταλληλότερου είδους φράγματος (χωμάτινο, βαρύτητας κλπ) απαιτεί σημαντική ποσότητα εργασίας και επεξεργασία πολλών και διαφορετικών πληροφοριών για την κατάληξη στην τελική λύση. Στο στάδιο της προμελέτης, αναπτύσσονται διαφορετικά σενάρια και εξετάζονται για την εύρεση του βέλτιστου. Σε αυτό το στάδιο η χρήση λογισμικού BIM μπορεί να αποδειχθεί πολύ χρήσιμη. Τα εργαλεία γρήγορης εκτίμησης κόστους, αυτόματης ενσωμάτωσης αλλαγής, και ρεαλιστικής οπτικοποίησης μπορούν να παρέχουν σημαντικά προνόμια στους μελετητές που θα μπορούν έτσι να συγκρίνουν τα σενάρια λύσης αντλώντας όσο πιο γρήγορα γίνεται τη μεγαλύτερη δυνατή ποσότητα πληροφορίας από 3-διάστατα μοντέλα BIM χαμηλού Επιπέδου Ανάπτυξης. Επιπλέον, η σύνδεση των εργαλείων BIM με εργαλεία γεωχωρικής πληροφορίας (GIS) μπορεί να καταστήσει το μοντέλο BIM ένα πολύ αξιόπιστο και σημαντικό εργαλείο στο στάδιο λήψης αποφάσεων σχετικά με τη θέση και το είδος του φράγματος.

#### ***Μειονεκτήματα και Δυσκολίες:***

- Λόγω της ιδιαίτερης φύσης του τεχνικού έργου, η εφαρμογή τεχνολογιών BIM σε φράγμα μπορεί να αποδειχθεί αρκετά δυσκολότερη από την εφαρμογή τους σε κτιριακό έργο. Μετά από μελέτη και χρήση του λογισμικού BIM γίνεται εμφανές πως τα προγράμματα αυτά είναι κυρίως σχεδιασμένα έτσι ώστε να διευκολύνουν τη μοντελοποίηση κτιριακών κατασκευών. Με εργαλεία ειδικά για το σχεδιασμό τοίχων, σωληνώσεων κτιρίου, παραθύρων και δομικών στοιχείων, τα προγράμματα αυτά αποτελούν χρήσιμα εργαλεία για το σχεδιασμό κτιρίων. Ένα φράγμα όμως αποτελείται από μία σειρά ειδικών κατασκευών. Η μοντελοποίηση λοιπόν ενός φράγματος συνεπάγεται άρτια εκπαίδευση και εμπειρία των μηχανικών και αρχιτεκτόνων πάνω στο προηγμένο αυτό λογισμικό. Επιπλέον, ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα του BIM είναι η χρήση ανοιχτών βιβλιοθηκών αντικειμένων BIM, και



συνεπώς η διευκόλυνση της εργασίας της μοντελοποίησης. Για τις εξειδικευμένες κατασκευές των φραγμάτων δεν υπάρχουν, ούτε γίνεται να καταρτιστούν βιβλιοθήκες.

#### **6.4 Σημεία Βελτίωσης και Μελλοντική Έρευνα**

Ως τελική συμβολή της εργασίας κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν κάποια πιθανά σημεία βελτίωσης ή επέκτασης της παρούσας μεθοδολογίας για την εξαγωγή περαιτέρω συμπερασμάτων.

Αρχικά, η δημιουργία ενός ακριβέστερου μοντέλου κατασκευής φράγματος, δηλαδή ενός μοντέλου υψηλότερου Επιπέδου Λεπτομέρειας, θα επέτρεπε τη μελέτη πολλών εργαλείων και δυνατοτήτων του BIM. Συγκεκριμένα:

- Λεπτομερής χρονικός προγραμματισμός της κατασκευής και οπτικοποίηση των διαδικασιών κατασκευής. Τα λογισμικά BIM επιτρέπουν τη σύνδεση του χρονοδιαγράμματος με ένα εργαλείο, το Animator, που προσομοιώνει την κίνηση των μηχανημάτων στο εργοτάξιο. Για την περίπτωση του φράγματος, το εργαλείο αυτό θα ήταν χρήσιμο.
- Θα μπορούσαν να εξαχθούν προμετρικά στοιχεία ακριβείας για όλα τα αντικείμενα του έργου, και να γίνει ακόμη και πλήρης προϋπολογισμός του φράγματος.

Τέλος, η μελλοντική έρευνα σχετικά με το BIM στην κατασκευή φραγμάτων θα μπορούσε να προσανατολιστεί στην ενσωμάτωση τμήματος ή όλων των υπολογισμών που αφορούν τη διαστασιολόγηση του φράγματος και των συνοδών έργων, στο ίδιο το μοντέλο. Να διερευνηθούν δηλαδή τα διαθέσιμα εργαλεία (λογισμικά BIM) που υπάρχουν για την υλοποίηση του υδραυλικού σχεδιασμού, των υδρολογικών, γεωλογικών, γεωτεχνικών μελετών, του σεισμικού ελέγχου, της διαχείρισης πλημμύρας κλπ.

## Κεφάλαιο 7. Αναφορές

### 7.1 Βιβλιογραφικές Αναφορές

1. Κεφεκέ, Μ., *Εφαρμογές BIM στη Διαχείριση Τεχνικών Έργων με χρήση των λογισμικών REVIT και NAVISWORKS*, 2014.
2. Στρατήγη, Β. Σ., *Τεχνολογίες Building Information Modeling (BIM). Ανάπτυξη μεθοδολογικού πλαισίου για μελετητές και κατασκευαστές- Παράδειγμα εφαρμογής σε έργο μεσαίας κλίμακας*, 2015.
3. Γωνιανάκης, Π. Β., *Παρουσίαση της μεθόδου ΠΟΚ (BIM) και πρακτική εφαρμογή της για τον προγραμματισμό έργου, με χρήση του προγράμματος Synchro.*, 2015
4. Μαυρίκα Κ., *Προγραμματισμός και Διαχείριση των ελληνικών δημοσίων έργων με τη μέθοδο της Παραγόμενης Αξίας.*, 2013.
5. Φαρμάκης, Δ., *Building Information Modeling (BIM): Ορισμός, τα οφέλη και οι εφαρμογές*, Plus Energy LAB, 2013.
6. Παντουβάκης Μ. Π., *«Διαχείριση Τεχνικών Έργων. Τόμος Α Χρονικός & Οικονομικός Προγραμματισμός»*, 2012
7. Συμβατικά Τεύχη Φράγματος Βαλσαμιώτη, Σχέδια Μελέτης, Τεχνική Περιγραφή, Προϋπολογισμός.
8. BIMFORUM, *Level of Development Specification. Version 2013*, 2013.
9. Panaitescu, R., *Building Information Modeling. Towards a structured, implementation process in an engineering organization*, Delft University of Technology, Delft, 2015.
10. Eastman, C., Teicholz, P., Sachs, R. and Liston, K., *BIM HANDBOOK. A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and contractors.*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2008.
11. The Economist Intelligence Unit, *Rethinking Productivity Across the Construction Industry: The Challenge of Change*, 2015.
12. British Standards Institution & BuildingSMART UK, *Constructing the Building Case. Building Information Modeling*, 2010.
13. Chelson, D. E., *The effects of Building Information Modeling on construction site productivity.*, 2010.
14. The American Institute of Architects (AIA) and AIA California Council, *Integrated Project Delivery: A Guide.*, Version 1, 2007.

15. Autodesk, Inc., *Improving Building Industry Results through Integrated Project Delivery and Building Information Modeling*, 2008.
16. Mc Graw-Hill Construction, *The Business Value of BIM for Infrastructure. Addressing America's Infrastructure Challenges with Collaboration and Technology*, 2012.
17. Jung, W., Lee, G., *The Status of BIM Adoption on Six Continents*, World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering Vol:9, No:5, 2015.
18. Smith, P., Dr., *BIM implementation-global strategies*, Creative Construction Conference, 2014.
19. Wong, A. K.D., Wong, F. K.W., Nadeem, A., *Comparative roles of major stakeholders for the implementation of BIM in various countries*, Department of Building and Real Estate, The Hong Kong Polytechnic University, 2011.
20. National BIM Standards, NBS, *NBS International BIM Report 2016*, 2016.
21. National BIM Standards, NBS, *NBS International BIM Report 2013*, 2013.
22. Mc Graw-Hill Construction, *The Business Value of BIM for Construction in Major Global Markets.*, 2012.
23. Afsari K., Eastman, M. E., *A Comparison of Construction Classification Systems Used for Classifying Building Product Models*, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia, 2016.

## 7.2 Ιστοσελίδες

1. Autodesk

<http://www.autodesk.com/>

2. NBS, 2014, "BIM Levels explained"

<https://www.thenbs.com/knowledge/bim-levels-explained>

3. SmartBIM Library

[http://library.smartbim.com/details/Light-Street\\_SMARTBIM?q=street+lamps&manufacturerCode=B\\_00100](http://library.smartbim.com/details/Light-Street_SMARTBIM?q=street+lamps&manufacturerCode=B_00100)

4. RevitCity

[http://www.revitycity.com/downloads.php?action=view&object\\_id=14555](http://www.revitycity.com/downloads.php?action=view&object_id=14555)

5. BIM Level 2

<http://bim-level2.org/>

6. buildingSMART

<http://www.buildingsmart-tech.org/>

## Παράρτημα Α. WBS

a/a	Mode	Task Name	Starting Date	Finishing Date	Duration
1	1	<b>Εκτροπή</b>			
2	1.1	Πρόφραγμα	13/5/2005	3/6/2005	21
3	1.2	Αγωγός Εκτροπής			
4	1.2.1	Έργο Εισόδου	1/4/2005	13/5/2005	42
5	1.2.2	Σωλήνας και Εγκιβωτισμός Σωλήνα	13/5/2005	26/5/2005	13
6	2	<b>Φράγμα</b>			
7	2.1	Εκκαφές	1/4/2005	24/6/2005	84
8	2.2	Σήραγγες			
9	2.2.1	Αριστερά Πάνω	24/6/2005	17/8/2005	54
10	2.2.2	Αριστερά Κάτω	18/8/2005	27/9/2005	40
11	2.2.3	Δεξιά πάνω	28/9/2005	14/11/2005	47
12	2.2.4	Δεξιά κάτω	15/11/2005	10/1/2006	56
13	2.2.5	Γεωτρήσεις αποστράγγισης			
14	2.3	Στοιές			
15	2.3.1	Συνδετήρια Στοά Αριστερά Πάνω	5/9/2006	8/9/2006	3
16	2.3.2	Συνδετήρια Στοά Δεξιά Πάνω	16/8/2006	28/8/2006	12
17	2.3.3	Συνδετήρια Στοά Κάτω	20/8/2005	22/9/2005	33
18	2.3.4	Στοά Προσπέλασης Αριστερά			
19	2.3.5	Στοά Προσπέλασης Δεξιά	21/8/2005	13/9/2005	23
20	2.4	Πλίνθος	28/9/2005	29/12/2005	92
21	2.5	Σώμα φράγματος			
22	2.5.1	Στρώσεις RCC			
23	2.5.1.1	Στρώσεις μέχρι το 130	24/6/2005	19/8/2005	56
24	2.5.1.2	Στρώσεις μέχρι το 132,7			
25	2.5.1.2.1	Στρώση 130-130,9	21/8/2005	24/8/2005	3
26	2.5.1.2.2	Στρώση 130,9-131,8	26/8/2005	31/8/2005	5
27	2.5.1.2.3	Στρώση 131,8-132,7	2/9/2005	7/9/2005	5
28	2.5.1.3	Στρώσεις μέχρι το 134,5			
29	2.5.1.3.1	Στρώση 132,7-133,6	15/9/2005	20/9/2005	5
30	2.5.1.3.2	Στρώση 133,6-134,5	22/9/2005	27/9/2005	5
31	2.5.1.4	Στρώσεις μέχρι το 139			
32	2.5.1.4.1	Στρώση 134,5-135,4	31/12/2005	4/1/2006	4
33	2.5.1.4.2	Στρώση 135,4-136,3	6/1/2006	11/1/2006	5
34	2.5.1.4.3	Στρώση 136,3-137,1	13/1/2006	18/1/2006	5
35	2.5.1.4.4	Στρώση 137,2-138,1	20/1/2006	25/1/2006	5
36	2.5.1.4.5	Στρώση 138,1-139,00	27/1/2006	1/2/2006	5
37	2.5.1.5	Στρώσεις μέχρι το 158,9			
38	2.5.1.5.1	Στρώση 139,0-139,9	18/3/2006	22/3/2006	4
39	2.5.1.5.2	Στρώση 139,9-140,8	23/3/2006	28/3/2006	5
40	2.5.1.5.3	Στρώση 140,8-141,7	30/3/2006	4/4/2006	5
41	2.5.1.5.4	Στρώση 141,7-142,6	6/4/2006	11/4/2006	5
42	2.5.1.5.5	Στρώση 142,6-143,5	13/4/2006	18/4/2006	5
43	2.5.1.5.6	Στρώση 143,5-144,4	20/4/2006	25/4/2006	5
44	2.5.1.5.7	Στρώση 144,4-145,3	27/4/2006	2/5/2006	5
45	2.5.1.5.8	Στρώση 145,3-146,2	4/5/2006	9/5/2006	5
46	2.5.1.5.9	Στρώση 146,2-147,1	11/5/2006	16/5/2006	5
47	2.5.1.5.10	Στρώση 147,1-148,0	18/5/2006	23/5/2006	5
48	2.5.1.5.11	Στρώση 148,0-148,9	25/5/2006	30/5/2006	5
49	2.5.1.5.12	Στρώση 148,9-149,8	1/6/2006	6/6/2006	5
50	2.5.1.5.13	Στρώση 149,8-150,7	8/6/2006	13/6/2006	5
51	2.5.1.5.14	Στρώση 150,8-151,7	15/6/2006	20/6/2006	5
52	2.5.1.5.15	Στρώση 151,7-152,6	22/6/2006	27/6/2006	5
53	2.5.1.5.16	Στρώση 152,6-153,5	29/6/2006	4/7/2006	5
54	2.5.1.5.17	Στρώση 153,5-154,4	6/7/2006	11/7/2006	5
55	2.5.1.5.18	Στρώση 154,4-155,3	13/7/2006	18/7/2006	5
56	2.5.1.5.19	Στρώση 155,3-156,2	20/7/2006	25/7/2006	5
57	2.5.1.5.20	Στρώση 156,2-157,1	27/7/2006	1/8/2006	5
58	2.5.1.5.21	Στρώση 157,1-158,00	3/8/2006	8/8/2006	5

59	2.5.1.5.22			Στρώση 158,0-158,9	10/8/2006	15/8/2006	5
60	2.5.1.6			Στρώση 158,9-159,8	30/8/2006	4/9/2006	5
61	2.5.1.7			Στρώσεις μέχρι το 186,9			
62	2.5.1.7.1			Στρώση 159,8-160,7	10/9/2006	13/9/2006	3
63	2.5.1.7.2			Στρώση 160,7-161,6	15/9/2006	20/9/2006	5
64	2.5.1.7.3			Στρώση 161,6-162,5	22/9/2006	27/9/2006	5
65	2.5.1.7.4			Στρώση 162,5-163,4	29/9/2006	4/10/2006	5
66	2.5.1.7.5			Στρώση 163,4-164,3	6/10/2006	11/10/2006	5
67	2.5.1.7.6			Στρώση 164,3-165,2	13/10/2006	18/10/2006	5
68	2.5.1.7.7			Στρώση 165,2-166,1	20/10/2006	25/10/2006	5
69	2.5.1.7.8			Στρώση 166,1-167,1	27/10/2006	1/11/2006	5
70	2.5.1.7.9			Στρώση 167,1-168,0	3/11/2006	8/11/2006	5
71	2.5.1.7.10			Στρώση 168,0-168,9	10/11/2006	15/11/2006	5
72	2.5.1.7.11			Στρώση 168,9-169,8	17/11/2006	22/11/2006	5
73	2.5.1.7.12			Στρώση 169,8-170,7	24/11/2006	29/11/2006	5
74	2.5.1.7.13			Στρώση 170,7-171,6	1/12/2006	6/12/2006	5
75	2.5.1.7.14			Στρώση 171,6-172,5	8/12/2006	13/12/2006	5
76	2.5.1.7.15			Στρώση 172,5-173,4	15/12/2006	20/12/2006	5
77	2.5.1.7.16			Στρώση 173,4-174,3	22/12/2006	27/12/2006	5
78	2.5.1.7.17			Στρώση 174,3-175,2	29/12/2006	3/1/2007	5
79	2.5.1.7.18			Στρώση 175,2-176,1	5/1/2007	10/1/2007	5
80	2.5.1.7.19			Στρώση 176,1-177,0	12/1/2007	17/1/2007	5
81	2.5.1.7.20			Στρώση 177,0-177,9	19/1/2007	24/1/2007	5
82	2.5.1.7.21			Στρώση 177,9-178,8	26/1/2007	31/1/2007	5
83	2.5.1.7.22			Στρώση 178,8-179,7	2/2/2007	7/2/2007	5
84	2.5.1.7.23			Στρώση 179,7-180,6	9/2/2007	14/2/2007	5
85	2.5.1.7.24			Στρώση 180,6-181,5	16/2/2007	21/2/2007	5
86	2.5.1.7.25			Στρώση 181,5-182,4	23/2/2007	28/2/2007	5
87	2.5.1.7.26			Στρώση 182,4-183,3	2/3/2007	7/3/2007	5
88	2.5.1.7.27			Στρώση 183,3-184,2	9/3/2007	14/3/2007	5
89	2.5.1.7.28			Στρώση 184,2-185,1	16/3/2007	21/3/2007	5
90	2.5.1.7.29			Στρώση 185,1-186,0	23/3/2007	28/3/2007	5
91	2.5.1.7.30			Στρώση 186,0-186,9	30/3/2007	4/4/2007	5
92	2.5.1.8			Στρώσεις μέχρι τη Στέψη			0
93	2.5.1.8.1			Στρώση 186,9-187,8	26/5/2007	28/5/2007	2
94	2.5.1.8.2			Στρώση 186,9-187,8	26/5/2007	28/5/2007	2
95	2.5.1.8.3			Στρώση 187,9-188,8	29/5/2007	30/5/2007	1
96	2.5.1.8.4			Στρώση 187,8-188,7	29/5/2007	30/5/2007	1
97	2.5.1.8.5			Στρώση 188,8-189,7	31/5/2007	1/6/2007	1
98	2.5.1.8.6			Στρώση 188,7-189,6	31/5/2007	1/6/2007	1
99	2.5.1.8.7			Στρώση 189,7-190,6	2/6/2007	4/6/2007	2
100	2.5.1.8.8			Στρώση 189,9-190,5	2/6/2007	4/6/2007	2
101	2.5.2			Στοιχεία προστασίας κατάντη παρειάς			
102	2.5.2.1			Στρώσεις μέχρι 130	24/6/2005	19/8/2005	56
103	2.5.2.2			Στρώσεις μέχρι το 132,7			
104	2.5.2.2.1			Στρώση 130-130,9	20/8/2005	20/8/2005	1
105	2.5.2.2.2			Στρώση 130-130,9	20/8/2005	20/8/2005	1
106	2.5.2.2.3			Στρώση 130,9-131,8	25/8/2005	25/8/2005	1
107	2.5.2.2.4			Στρώση 130,9-131,8	25/8/2005	25/8/2005	1
108	2.5.2.2.5			Στρώση 131,8-132,7	1/9/2005	1/9/2005	1
109	2.5.2.2.6			Στρώση 131,8-132,7	1/9/2005	1/9/2005	1
110	2.5.2.3			Στρώσεις μέχρι το 134,5			
111	2.5.2.3.1			Στρώση 132,7-133,6	14/9/2005	14/9/2005	1
112	2.5.2.3.2			Στρώση 132,7-133,6	14/9/2005	14/9/2005	1
113	2.5.2.3.3			Στρώση 133,6-134,5	21/9/2005	21/9/2005	1
114	2.5.2.3.4			Στρώση 133,6-134,5	21/9/2005	21/9/2005	1
115	2.5.2.4			Στρώσεις μέχρι το 139			
116	2.5.2.4.1			Στρώση 134,5-135,4	30/12/2005	30/12/2005	1
117	2.5.2.4.2			Στρώση 134,5-135,4	30/12/2005	30/12/2005	1
118	2.5.2.4.3			Στρώση 135,4-136,3	5/1/2006	5/1/2006	1
119	2.5.2.4.4			Στρώση 135,4-136,3	5/1/2006	5/1/2006	1
120	2.5.2.4.5			Στρώση 136,3-137,2	12/1/2006	12/1/2006	1

121	2.5.2.4.6			Στρώση136,3-137,2	12/1/2006	12/1/2006	1
122	2.5.2.4.7			Στρώση137,2-138,1	19/1/2006	19/1/2006	1
123	2.5.2.4.8			Στρώση137,2-138,1	19/1/2006	19/1/2006	1
124	2.5.2.4.9			Στρώση138,1-139,00	26/1/2006	26/1/2006	1
125	2.5.2.4.10			Στρώση138,1-139,00	26/1/2006	26/1/2006	1
126	2.5.2.4.11			Στρώση138,1-139,00	26/1/2006	26/1/2006	1
127	2.5.2.5			Στρώσεις μέχρι το 158,9			
128	2.5.2.5.1			Στρώση139,0-139,9	17/3/2006	17/3/2006	1
129	2.5.2.5.2			Στρώση139,0-139,9	17/3/2006	17/3/2006	1
130	2.5.2.5.3			Στρώση139,0-139,9	17/3/2006	17/3/2006	1
131	2.5.2.5.4			Στρώση139,9-140,8	23/3/2006	23/3/2006	1
132	2.5.2.5.5			Στρώση139,9-140,8	23/3/2006	23/3/2006	1
133	2.5.2.5.6			Στρώση139,9-140,8	23/3/2006	23/3/2006	1
134	2.5.2.5.7			Στρώση140,8-141,7	29/3/2006	29/3/2006	1
135	2.5.2.5.8			Στρώση140,8-141,7	29/3/2006	29/3/2006	1
136	2.5.2.5.9			Στρώση140,8-141,7	29/3/2006	29/3/2006	1
137	2.5.2.5.10			Στρώση141,7-142,6	5/4/2006	5/4/2006	1
138	2.5.2.5.11			Στρώση141,7-142,6	5/4/2006	5/4/2006	1
139	2.5.2.5.12			Στρώση141,7-142,6	5/4/2006	5/4/2006	1
140	2.5.2.5.13			Στρώση142,6-143,5	12/4/2006	12/4/2006	1
141	2.5.2.5.14			Στρώση142,6-143,5	12/4/2006	12/4/2006	1
142	2.5.2.5.15			Στρώση143,5-144,4	19/4/2006	19/4/2006	1
143	2.5.2.5.16			Στρώση143,5-144,4	19/4/2006	19/4/2006	1
144	2.5.2.5.17			Στρώση144,4-145,3	26/4/2006	26/4/2006	1
145	2.5.2.5.18			Στρώση144,4-145,3	26/4/2006	26/4/2006	1
146	2.5.2.5.19			Στρώση145,3-146,2	3/5/2006	3/5/2006	1
147	2.5.2.5.20			Στρώση145,3-146,2	3/5/2006	3/5/2006	1
148	2.5.2.5.21			Στρώση146,2-147,1	10/5/2006	10/5/2006	1
149	2.5.2.5.22			Στρώση146,2-147,1	10/5/2006	10/5/2006	1
150	2.5.2.5.23			Στρώση147,1-148,0	17/5/2006	17/5/2006	1
151	2.5.2.5.24			Στρώση147,1-148,0	17/5/2006	17/5/2006	1
152	2.5.2.5.25			Στρώση148,0-148,9	24/5/2006	24/5/2006	1
153	2.5.2.5.26			Στρώση148,0-148,9	24/5/2006	24/5/2006	1
154	2.5.2.5.27			Στρώση148,9-149,8	31/5/2006	31/5/2006	1
155	2.5.2.5.28			Στρώση148,9-149,8	31/5/2006	31/5/2006	1
156	2.5.2.5.29			Στρώση149,8-150,7	7/6/2006	7/6/2006	1
157	2.5.2.5.30			Στρώση149,8-150,7	7/6/2006	7/6/2006	1
158	2.5.2.5.31			Στρώση150,8-151,7	14/6/2006	14/6/2006	1
159	2.5.2.5.32			Στρώση150,8-151,7	14/6/2006	14/6/2006	1
160	2.5.2.5.33			Στρώση151,7-152,6	21/6/2006	21/6/2006	1
161	2.5.2.5.34			Στρώση151,7-152,6	21/6/2006	21/6/2006	1
162	2.5.2.5.35			Στρώση152,6-153,5	28/6/2006	28/6/2006	1
163	2.5.2.5.36			Στρώση152,6-153,5	28/6/2006	28/6/2006	1
164	2.5.2.5.37			Στρώση153,5-154,4	5/7/2006	5/7/2006	1
165	2.5.2.5.38			Στρώση153,5-154,4	5/7/2006	5/7/2006	1
166	2.5.2.5.39			Στρώση154,4-155,3	12/7/2006	12/7/2006	1
167	2.5.2.5.40			Στρώση154,4-155,3	12/7/2006	12/7/2006	1
168	2.5.2.5.41			Στρώση155,3-156,2	19/7/2006	19/7/2006	1
169	2.5.2.5.42			Στρώση155,3-156,2	19/7/2006	19/7/2006	1
170	2.5.2.5.43			Στρώση156,2-157,1	26/7/2006	26/7/2006	1
171	2.5.2.5.44			Στρώση156,2-157,1	26/7/2006	26/7/2006	1
172	2.5.2.5.45			Στρώση157,1-158,00	2/8/2006	2/8/2006	1
173	2.5.2.5.46			Στρώση157,1-158,00	2/8/2006	2/8/2006	1
174	2.5.2.5.47			Στρώση158,0-158,9	9/8/2006	9/8/2006	1
175	2.5.2.5.48			Στρώση158,0-158,9	9/8/2006	9/8/2006	1
176	2.5.2.6			Στρώση 158,9-159,8			
177	2.5.2.6.1			Στρώση158,9-159,8	29/8/2006	29/8/2006	1
178	2.5.2.6.2			Στρώση158,9-159,8	29/8/2006	29/8/2006	1
179	2.5.2.7			Στρώσεις μέχρι το 186,9			
180	2.5.2.7.1			Στρώση159,8-160,7	9/9/2006	9/9/2006	1

181	2.5.2.7.2			Στρώση159,8-160,7	9/9/2006	9/9/2006	1
182	2.5.2.7.3			Στρώση160,7-161,6	14/9/2006	14/9/2006	1
183	2.5.2.7.4			Στρώση160,7-161,6	14/9/2006	14/9/2006	1
184	2.5.2.7.5			Στρώση161,6-162,5	21/9/2006	21/9/2006	1
185	2.5.2.7.6			Στρώση161,6-162,5	21/9/2006	21/9/2006	1
186	2.5.2.7.7			Στρώση162,5-163,4	28/9/2006	28/9/2006	1
187	2.5.2.7.8			Στρώση162,5-163,4	28/9/2006	28/9/2006	1
188	2.5.2.7.9			Στρώση163,4-164,3	5/10/2006	5/10/2006	1
189	2.5.2.7.10			Στρώση163,4-164,3	5/10/2006	5/10/2006	1
190	2.5.2.7.11			Στρώση164,3-165,2	12/10/2006	12/10/2006	1
191	2.5.2.7.12			Στρώση164,3-165,2	12/10/2006	12/10/2006	1
192	2.5.2.7.13			Στρώση165,2-166,1	19/10/2006	19/10/2006	1
193	2.5.2.7.14			Στρώση165,2-166,1	19/10/2006	19/10/2006	1
194	2.5.2.7.15			Στρώση166,1-167,1	26/10/2006	26/10/2006	1
195	2.5.2.7.16			Στρώση166,1-167,1	26/10/2006	26/10/2006	1
196	2.5.2.7.17			Στρώση167,1-168,0	2/11/2006	2/11/2006	1
197	2.5.2.7.18			Στρώση167,1-168,0	2/11/2006	2/11/2006	1
198	2.5.2.7.19			Στρώση168,0-168,9	9/11/2006	9/11/2006	1
199	2.5.2.7.20			Στρώση168,0-168,9	9/11/2006	9/11/2006	1
200	2.5.2.7.21			Στρώση168,9-169,8	16/11/2006	16/11/2006	1
201	2.5.2.7.22			Στρώση168,9-169,8	16/11/2006	16/11/2006	1
202	2.5.2.7.23			Στρώση169,8-170,7	23/11/2006	23/11/2006	1
203	2.5.2.7.24			Στρώση169,8-170,7	23/11/2006	23/11/2006	1
204	2.5.2.7.25			Στρώση170,7-171,6	30/11/2006	30/11/2006	1
205	2.5.2.7.26			Στρώση170,7-171,6	30/11/2006	30/11/2006	1
206	2.5.2.7.27			Στρώση171,6-172,5	7/12/2006	7/12/2006	1
207	2.5.2.7.28			Στρώση171,6-172,5	7/12/2006	7/12/2006	1
208	2.5.2.7.29			Στρώση172,5-173,4	14/12/2006	14/12/2006	1
209	2.5.2.7.30			Στρώση172,5-173,4	14/12/2006	14/12/2006	1
210	2.5.2.7.31			Στρώση173,4-174,3	21/12/2006	21/12/2006	1
211	2.5.2.7.32			Στρώση173,4-174,3	21/12/2006	21/12/2006	1
212	2.5.2.7.33			Στρώση174,3-175,2	28/12/2006	28/12/2006	1
213	2.5.2.7.34			Στρώση174,3-175,2	28/12/2006	28/12/2006	1
214	2.5.2.7.35			Στρώση175,2-176,1	4/1/2007	4/1/2007	1
215	2.5.2.7.36			Στρώση175,2-176,1	4/1/2007	4/1/2007	1
216	2.5.2.7.37			Στρώση176,1-177,0	11/1/2007	11/1/2007	1
217	2.5.2.7.38			Στρώση176,1-177,0	11/1/2007	11/1/2007	1
218	2.5.2.7.39			Στρώση177,0-177,9	18/1/2007	18/1/2007	1
219	2.5.2.7.40			Στρώση177,0-177,9	18/1/2007	18/1/2007	1
220	2.5.2.7.41			Στρώση177,9-178,8	25/1/2007	25/1/2007	1
221	2.5.2.7.42			Στρώση177,9-178,8	25/1/2007	25/1/2007	1
222	2.5.2.7.43			Στρώση178,8-179,7	1/2/2007	1/2/2007	1
223	2.5.2.7.44			Στρώση178,8-179,7	1/2/2007	1/2/2007	1
224	2.5.2.7.45			Στρώση179,7-180,6	8/2/2007	8/2/2007	1
225	2.5.2.7.46			Στρώση179,7-180,6	8/2/2007	8/2/2007	1
226	2.5.2.7.47			Στρώση180,6-181,5	15/2/2007	15/2/2007	1
227	2.5.2.7.48			Στρώση180,6-181,5	15/2/2007	15/2/2007	1
228	2.5.2.7.49			Στρώση181,5-182,4	22/2/2007	22/2/2007	1
229	2.5.2.7.50			Στρώση181,5-182,4	22/2/2007	22/2/2007	1
230	2.5.2.7.51			Στρώση182,4-183,3	1/3/2007	1/3/2007	1
231	2.5.2.7.52			Στρώση182,4-183,3	1/3/2007	1/3/2007	1
232	2.5.2.7.53			Στρώση183,3-184,3	8/3/2007	8/3/2007	1
233	2.5.2.7.54			Στρώση183,3-184,3	8/3/2007	8/3/2007	1
234	2.5.2.7.55			Στρώση184,3-185,2	15/3/2007	15/3/2007	1
235	2.5.2.7.56			Στρώση184,3-185,2	15/3/2007	15/3/2007	1
236	2.5.2.7.57			Στρώση185,2-186,1	22/3/2007	22/3/2007	1
237	2.5.2.7.58			Στρώση185,2-186,1	22/3/2007	22/3/2007	1
238	2.5.2.7.59			Στρώση186.0-186.9	29/3/2007	29/3/2007	1
239	2.5.2.7.60			Στρώση186.0-186.9	29/3/2007	29/3/2007	1



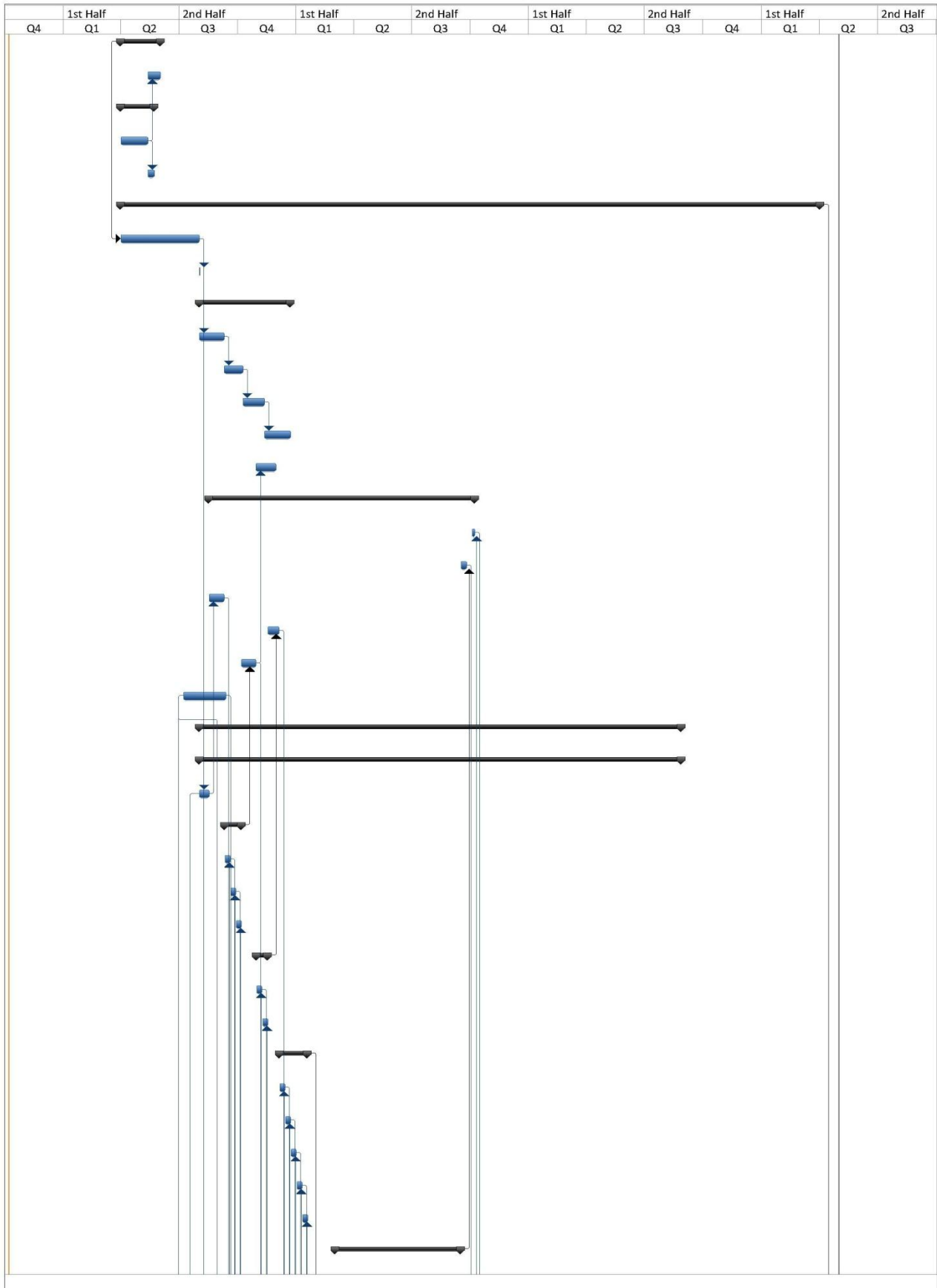
240	2.6		<b>Ανάπτυξη Μανδύας Στεγανότητας</b>			
241	2.6.1		Έργα Αποστράγγισης Ανάπτυξη Μανδύα Στεγανότητας	5/6/2007	9/8/2007	65
242	2.6.2		Σκυροδέτηση Μανδύα Στεγανότητας σε Λωρίδες			0
243	2.6.2.1		Μανδύας Στεγανότητας λωρίδα 1	19/6/2007	22/6/2007	3
244	2.6.2.2		Μανδύας Στεγανότητας λωρίδα 2	23/6/2007	26/6/2007	3
245	2.6.2.3		Μανδύας Στεγανότητας λωρίδα 3	26/6/2007	29/6/2007	3
246	2.6.2.4		Μανδύας Στεγανότητας λωρίδα 4	29/6/2007	2/7/2007	3
247	2.6.2.5		Μανδύας Στεγανότητας λωρίδα 5	2/7/2007	5/7/2007	3
248	2.6.2.6		Μανδύας Στεγανότητας λωρίδα 6	5/7/2007	8/7/2007	3
249	2.6.2.7		Μανδύας Στεγανότητας λωρίδα 7	8/7/2007	11/7/2007	3
250	2.6.2.8		Μανδύας Στεγανότητας λωρίδα 8	11/7/2007	14/7/2007	3
251	2.6.2.9		Μανδύας Στεγανότητας λωρίδα 9	14/7/2007	17/7/2007	3
252	2.6.2.10		Μανδύας Στεγανότητας λωρίδα 10	17/7/2007	20/7/2007	3
253	2.6.2.11		Μανδύας Στεγανότητας λωρίδα 11	20/7/2007	23/7/2007	3
254	2.6.2.12		Μανδύας Στεγανότητας λωρίδα 12	23/7/2007	26/7/2007	3
255	2.6.2.13		Μανδύας Στεγανότητας λωρίδα 13	26/7/2007	29/7/2007	3
256	2.6.2.14		Μανδύας Στεγανότητας λωρίδα 14	29/7/2007	1/8/2007	3
257	2.6.2.15		Μανδύας Στεγανότητας λωρίδα 15	1/8/2007	4/8/2007	3
258	2.6.2.16		Μανδύας Στεγανότητας λωρίδα 16	4/8/2007	7/8/2007	3
259	2.6.2.17		Μανδύας Στεγανότητας λωρίδα 17	7/8/2007	9/8/2007	2
260	2.6.2.18		Μανδύας Στεγανότητας λωρίδα 18	9/8/2007	11/8/2007	2
261	2.6.2.19		Μανδύας Στεγανότητας λωρίδα 19	11/8/2007	13/8/2007	2
262	2.6.2.20		Μανδύας Στεγανότητας λωρίδα 20	13/8/2007	15/8/2007	2
263	2.6.2.21		Μανδύας Στεγανότητας λωρίδα 21	15/8/2007	17/8/2007	2
264	2.6.2.22		Μανδύας Στεγανότητας λωρίδα 22	17/8/2007	19/8/2007	2
265	2.6.2.23		Μανδύας Στεγανότητας λωρίδα 23	19/8/2007	21/8/2007	2
266	2.6.2.24		Μανδύας Στεγανότητας λωρίδα 24	21/8/2007	23/8/2007	2
267	2.6.2.25		Μανδύας Στεγανότητας λωρίδα 25	23/8/2007	25/8/2007	2
268	2.6.2.26		Μανδύας Στεγανότητας λωρίδα 26	25/8/2007	27/8/2007	2
269	2.6.2.27		Μανδύας Στεγανότητας λωρίδα 27	27/8/2007	28/8/2007	1
270	2.6.2.28		Μανδύας Στεγανότητας λωρίδα 28	28/8/2007	29/8/2007	1
271	2.7		<b>Υπερχειλιστής</b>			
272	2.7.1		Πλευρικά Τοιχεία Υπερχειλιστή	11/4/2007	2/5/2007	21
273	2.7.2		Σώμα υπερχειλιστή			
274	2.7.2.1		Oggee 1	11/4/2007	18/4/2007	7
275	2.7.2.2		Oggee 2	19/4/2007	26/4/2007	7
276	2.7.2.3		Oggee 3	27/4/2007	4/5/2007	7
277	2.7.3		<b>Βαθμιδωτές Πτώσεις Υπερχειλιστή</b>			
278	2.7.3.1		Στρώσεις μέχρι το 132,7			
279	2.7.3.1.1		Στρώση 130-130,9	20/8/2005	20/8/2005	1
280	2.7.3.1.2		Στρώση 130,9-131,8	25/8/2005	25/8/2005	1
281	2.7.3.1.3		Στρώση 131,8-132,7	1/9/2005	1/9/2005	1
282	2.7.3.2		Στρώσεις μέχρι το 134,5			
283	2.7.3.2.1		Στρώση 132,7-133,6	14/9/2005	14/9/2005	1
284	2.7.3.2.2		Στρώση 133,6-134,5	21/9/2005	21/9/2005	1
285	2.7.3.3		Στρώσεις μέχρι το 139			
286	2.7.3.3.1		Στρώση 134,5-135,4	30/12/2005	30/12/2005	1
287	2.7.3.3.2		Στρώση 135,4-136,3	5/1/2006	5/1/2006	1
288	2.7.3.3.3		Στρώση 136,3-137,1	12/1/2006	12/1/2006	1
289	2.7.3.3.4		Στρώση 137,2-138,1	19/1/2006	19/1/2006	1
290	2.7.3.3.5		Στρώση 138,1-139,00	26/1/2006	26/1/2006	1
291	2.7.3.4		Στρώσεις μέχρι το 158,9			
292	2.7.3.4.1		Στρώση 139,0-139,9	17/3/2006	17/3/2006	1
293	2.7.3.4.2		Στρώση 139,9-140,8	17/3/2006	17/3/2006	1
294	2.7.3.4.3		Στρώση 140,8-141,7	23/3/2006	23/3/2006	1
295	2.7.3.4.4		Στρώση 141,7-142,6	29/3/2006	29/3/2006	1
296	2.7.3.4.5		Στρώση 142,6-143,5	29/3/2006	29/3/2006	1
297	2.7.3.4.6		Στρώση 143,5-144,4	5/4/2006	5/4/2006	1
298	2.7.3.4.7		Στρώση 144,4-145,3	12/4/2006	12/4/2006	1
299	2.7.3.4.8		Στρώση 145,3-146,2	19/4/2006	19/4/2006	1
300	2.7.3.4.9		Στρώση 146,2-147,1	26/4/2006	26/4/2006	1

301	2.7.3.4.10				Στρώση147,1-148,0	3/5/2006	3/5/2006	1
302	2.7.3.4.11				Στρώση148,0-148,9	10/5/2006	10/5/2006	1
303	2.7.3.4.12				Στρώση148,9-149,8	17/5/2006	17/5/2006	1
304	2.7.3.4.13				Στρώση149,8-150,7	24/5/2006	24/5/2006	1
305	2.7.3.4.14				Στρώση150,8-151,7	31/5/2006	31/5/2006	1
306	2.7.3.4.15				Στρώση151,7-152,6	7/6/2006	7/6/2006	1
307	2.7.3.4.16				Στρώση152,6-153,5	14/6/2006	14/6/2006	1
308	2.7.3.4.17				Στρώση153,5-154,4	21/6/2006	21/6/2006	1
309	2.7.3.4.18				Στρώση154,4-155,3	28/6/2006	28/6/2006	1
310	2.7.3.4.19				Στρώση155,3-156,2	5/7/2006	5/7/2006	1
311	2.7.3.4.20				Στρώση156,2-157,1	12/7/2006	12/7/2006	1
312	2.7.3.4.21				Στρώση157,1-158,00	19/7/2006	19/7/2006	1
313	2.7.3.4.22				Στρώση158,0-158,9	26/7/2006	26/7/2006	1
314	2.7.3.5				Στρώση 158,9-159,8	29/8/2006	29/8/2006	1
315	2.7.3.6				Στρώσεις μέχρι το 186,9			
316	2.7.3.6.1				Στρώση159,8-160,7	9/9/2006	9/9/2006	1
317	2.7.3.6.2				Στρώση160,7-161,6	14/9/2006	14/9/2006	1
318	2.7.3.6.3				Στρώση161,6-162,5	21/9/2006	21/9/2006	1
319	2.7.3.6.4				Στρώση162,5-163,4	28/9/2006	28/9/2006	1
320	2.7.3.6.5				Στρώση163,4-164,3	5/10/2006	5/10/2006	1
321	2.7.3.6.6				Στρώση164,3-165,2	12/10/2006	12/10/2006	1
322	2.7.3.6.7				Στρώση165,2-166,1	19/10/2006	19/10/2006	1
323	2.7.3.6.8				Στρώση166,1-167,1	26/10/2006	26/10/2006	1
324	2.7.3.6.9				Στρώση167,1-168,0	2/11/2006	2/11/2006	1
325	2.7.3.6.10				Στρώση168,0-168,9	9/11/2006	9/11/2006	1
326	2.7.3.6.11				Στρώση168,9-169,8	16/11/2006	16/11/2006	1
327	2.7.3.6.12				Στρώση169,8-170,7	23/11/2006	23/11/2006	1
328	2.7.3.6.13				Στρώση170,7-171,6	30/11/2006	30/11/2006	1
329	2.7.3.6.14				Στρώση171,6-172,5	7/12/2006	7/12/2006	1
330	2.7.3.6.15				Στρώση172,5-173,4	14/12/2006	14/12/2006	1
331	2.7.3.6.16				Στρώση173,4-174,3	21/12/2006	21/12/2006	1
332	2.7.3.6.17				Στρώση174,3-175,2	28/12/2006	28/12/2006	1
333	2.7.3.6.18				Στρώση175,2-176,1	4/1/2007	4/1/2007	1
334	2.7.3.6.19				Στρώση176,1-177,0	11/1/2007	11/1/2007	1
335	2.7.3.6.20				Στρώση177,0-177,9	18/1/2007	18/1/2007	1
336	2.7.3.6.21				Στρώση177,9-178,8	25/1/2007	25/1/2007	1
337	2.7.3.6.22				Στρώση178,8-179,7	1/2/2007	1/2/2007	1
338	2.7.3.6.23				Στρώση179,7-180,6	8/2/2007	8/2/2007	1
339	2.7.3.6.24				Στρώση180,6-181,5	15/2/2007	15/2/2007	1
340	2.7.3.6.25				Στρώση181,5-182,4	22/2/2007	22/2/2007	1
341	2.7.3.6.26				Στρώση182,4-183,3	1/3/2007	1/3/2007	1
342	2.7.3.6.27				Στρώση183,3-184,2	8/3/2007	8/3/2007	1
343	2.7.3.6.28				Στρώση184,2-185,1	15/3/2007	15/3/2007	1
344	2.7.3.6.29				Στρώση185,1-186,0	22/3/2007	22/3/2007	1
345	2.7.3.6.30				Στρώση186,0-186,9	29/3/2007	29/3/2007	1
346	2.7.4				Λεκάνη Καταστροφής Ενέργειας	4/3/2006	14/4/2006	41
347	2.7.5				Γέφυρα (πάνω από τη λεκάνη καταστροφής ενέργειας)	15/4/2006	30/4/2006	15
348	2.7.6				Μεσόβαθρα	5/5/2007	15/5/2007	10
349	2.7.7				Ακρόβαθρα	16/5/2007	25/5/2007	9
350	2.8				<b>Έργα στέψης</b>			
351	2.8.1				Τοίχος αντιστήριξης	11/4/2007	22/6/2007	72
352	2.8.2				Κράσπεδο και Στρώση κυκλοφορίας	30/8/2007	12/11/2007	74
353	2.8.3				Κιγκλιδώματα (κατάντη)	12/11/2007	21/11/2007	9
354	2.8.4				Στηθαίο (ανάντη)	13/11/2007	12/1/2008	60
355	2.9				<b>Υδροληψία και εκκενωτής</b>			
356	2.9.1				Πύργος	18/7/2007	17/8/2007	30
357	2.9.2				Σημεία υδροληψίας	28/9/2007	9/10/2007	11
358	2.9.3				Έργο εισόδου εκκένωσης	10/10/2007	31/10/2007	21
359	2.9.4				Έργο εξόδου εκκένωσης	15/4/2006	5/5/2006	20
360	2.9.5				Θάλαμος	30/12/2005	20/1/2006	21
361	2.9.6				Στοά υδροληψίας και εκκένωσης	2/2/2006	16/3/2006	42
362	2.10				<b>Τσιμεντενέσεις</b>			
363	2.10.1				Προκαταρκτικές	25/6/2005	27/9/2005	94
364	2.10.2				Τελικές	8/10/2005	18/1/2006	102
365	3				<b>Προσπελάσεις οδοποιία</b>	13/1/2008	22/2/2008	40
366	4				<b>Οικίσκος/κτίριο ελέγχου</b>	23/2/2008	4/4/2008	41
367	5				<b>Φωτισμός</b>			
368	5.1				Στέψης	23/2/2008	4/4/2008	41
369	5.2				Γέφυρας	5/4/2008	25/4/2008	20

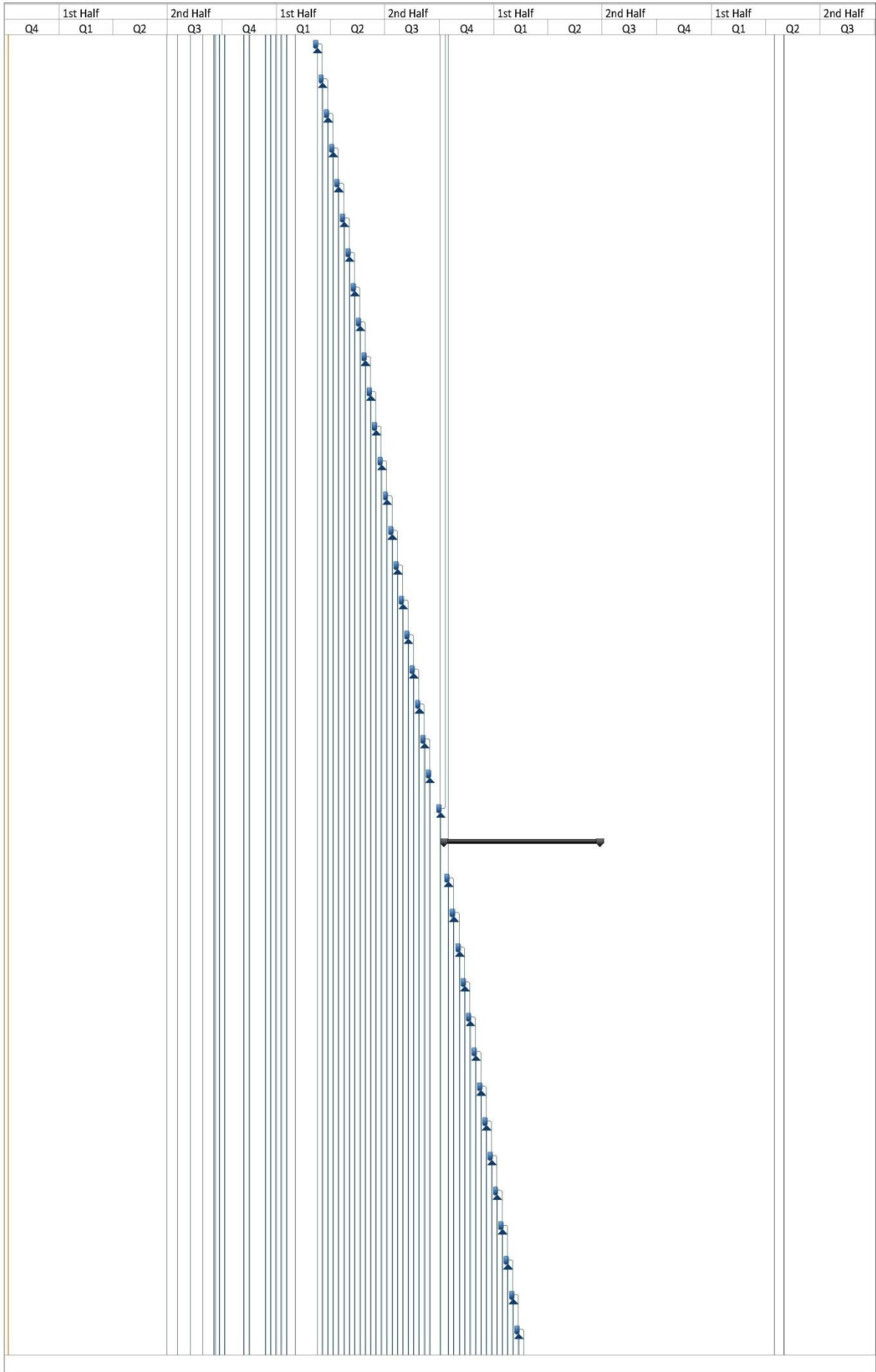


## Παράρτημα Β. Χρονοδιάγραμμα Κατασκευής σε MS Project

ID	WBS	Task Name	Duration	Start	Finish
1	1	<b>Εκτροπή</b>	<b>62 days</b>	<b>Sat 1/4/17</b>	<b>Thu 1/6/17</b>
2	1.1	Πρόφραγμα	20 days	Sat 13/5/17	Thu 1/6/17
3	1.2	<b>Αγωγός Εκτροπής</b>	<b>52 days</b>	<b>Sat 1/4/17</b>	<b>Mon 22/5/17</b>
4	1.2.1	Έργο Εισόδου	42 days	Sat 1/4/17	Fri 12/5/17
5	1.2.2	Σωλήνας και Εγκιβωτισμός Σωλήνα	10 days	Sat 13/5/17	Mon 22/5/17
6	2	<b>Φράγμα</b>	<b>1097 days</b>	<b>Sat 1/4/17</b>	<b>Wed 1/4/20</b>
7	2.1	Εκκαφές	123 days	Sat 1/4/17	Tue 1/8/17
8	2.2	Ολοκλήρωση Εκκαφών	1 day	Wed 2/8/17	Wed 2/8/17
9	2.2	<b>Σήραγγες</b>	<b>143 days</b>	<b>Wed 2/8/17</b>	<b>Fri 22/12/17</b>
10	2.3.1	Αριστερά Πάνω	39 days	Wed 2/8/17	Sat 9/9/17
11	2.3.2	Αριστερά Κάτω	29 days	Sun 10/9/17	Sun 8/10/17
12	2.3.3	Δεξιά πάνω	34 days	Mon 9/10/17	Sat 11/11/17
13	2.3.4	Δεξιά κάτω	41 days	Sun 12/11/17	Fri 22/12/17
14	2.3.5	Γεωτρήσεις αποστράγγισης	31 days	Mon 30/10/17	Wed 29/11/17
15	2.3	<b>Στοιές</b>	<b>417 days</b>	<b>Thu 17/8/17</b>	<b>Sun 7/10/18</b>
16	2.4.1	Συνδετήρια Στοά Αριστερά Πάνω	4 days	Thu 4/10/18	Sun 7/10/18
17	2.4.2	Συνδετήρια Στοά Δεξιά Πάνω	9 days	Sun 16/9/18	Mon 24/9/18
18	2.4.3	Συνδετήρια Στοά Κάτω	24 days	Thu 17/8/17	Sat 9/9/17
19	2.4.4	Στοά Προσπέλασης Αριστερά	18 days	Fri 17/11/17	Mon 4/12/17
20	2.4.5	Στοά Προσπέλασης Δεξιά	23 days	Sat 7/10/17	Sun 29/10/17
21	2.5	Πλίνθος	67 days	Sat 8/7/17	Tue 12/9/17
22	2.5	<b>Σώμα φράγματος</b>	<b>756 days</b>	<b>Wed 2/8/17</b>	<b>Tue 27/8/19</b>
23	2.5.1	<b>Στρώσεις RCC</b>	<b>756 days</b>	<b>Wed 2/8/17</b>	<b>Tue 27/8/19</b>
24	2.6.1.1	Στρώσεις μέχρι το 130	15 days	Wed 2/8/17	Wed 16/8/17
25	2.5.1.2	<b>Στρώσεις μέχρι το 132,7</b>	<b>26 days</b>	<b>Mon 11/9/17</b>	<b>Fri 6/10/17</b>
26	2.6.1.2.1	Στρώση 130-130,9	8 days	Mon 11/9/17	Mon 18/9/17
27	2.6.1.2.2	Στρώση 130,9-131,8	8 days	Wed 20/9/17	Wed 27/9/17
28	2.6.1.2.3	Στρώση 131,8-132,7	8 days	Fri 29/9/17	Fri 6/10/17
29	2.5.1.3	<b>Στρώσεις μέχρι το 134,5</b>	<b>17 days</b>	<b>Tue 31/10/17</b>	<b>Thu 16/11/17</b>
30	2.6.1.3.1	Στρώση 132,7-133,6	8 days	Tue 31/10/17	Tue 7/11/17
31	2.6.1.3.2	Στρώση 133,6-134,5	8 days	Thu 9/11/17	Thu 16/11/17
32	2.5.1.4	<b>Στρώσεις μέχρι το 139</b>	<b>44 days</b>	<b>Wed 6/12/17</b>	<b>Thu 18/1/18</b>
33	2.6.1.4.1	Στρώση 134,5-135,4	8 days	Wed 6/12/17	Wed 13/12/17
34	2.6.1.4.2	Στρώση 135,4-136,3	8 days	Fri 15/12/17	Fri 22/12/17
35	2.6.1.4.3	Στρώση 136,3-137,1	8 days	Sun 24/12/17	Sun 31/12/17
36	2.6.1.4.4	Στρώση 137,2-138,1	8 days	Tue 2/1/18	Tue 9/1/18
37	2.6.1.4.5	Στρώση 138,1-139,00	8 days	Thu 11/1/18	Thu 18/1/18
38	2.5.1.5	<b>Στρώσεις μέχρι το 158,9</b>	<b>197 days</b>	<b>Sat 3/3/18</b>	<b>Sat 15/9/18</b>

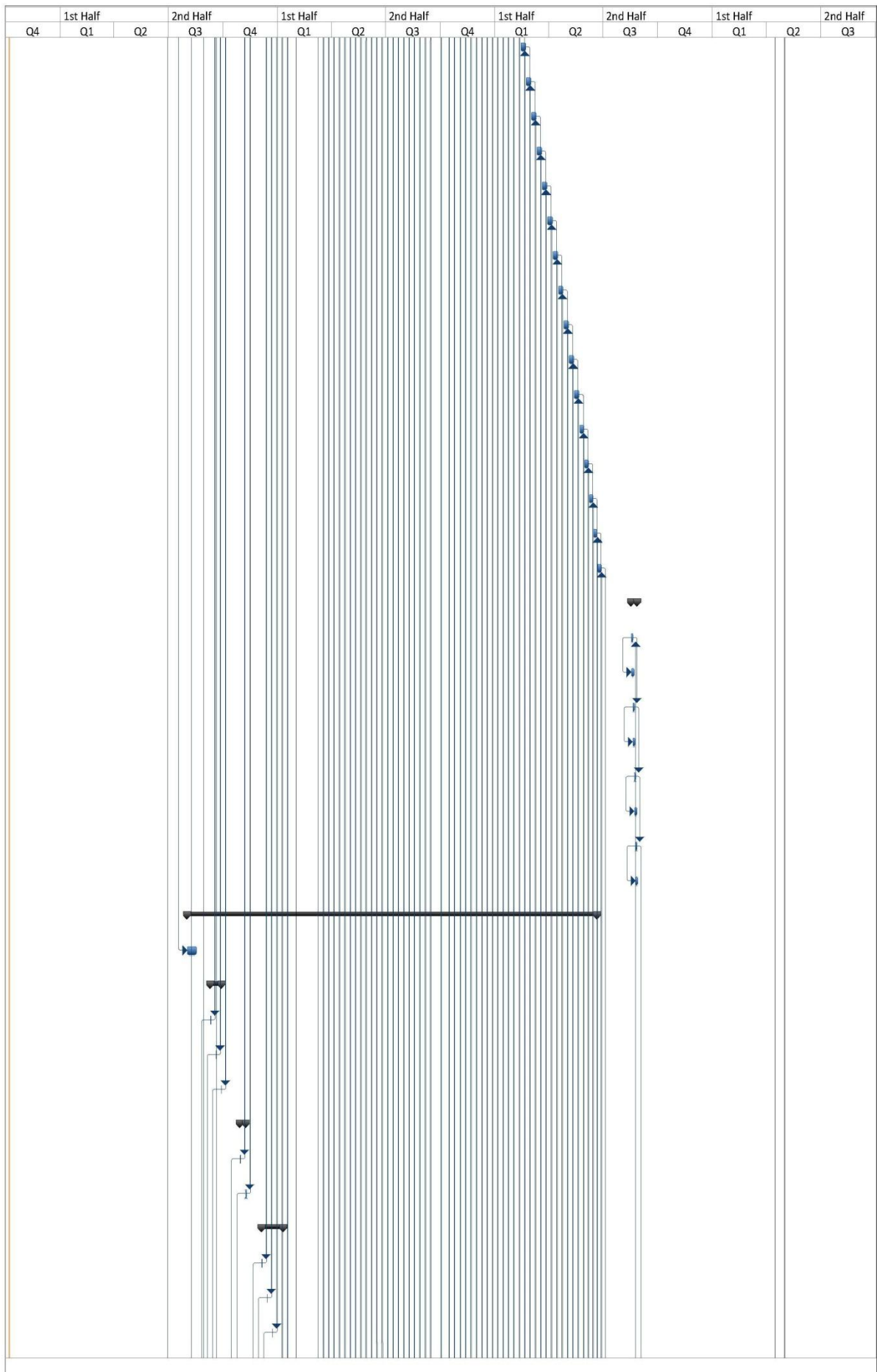


ID	WBS	Task Name	Duration	Start	Finish
39	2.6.1.5.1	Στρώση 139,0-139,9	8 days	Sat 3/3/18	Sat 10/3/18
40	2.6.1.5.2	Στρώση 139,9-140,8	8 days	Mon 12/3/18	Mon 19/3/18
41	2.6.1.5.3	Στρώση 140,8-141,7	8 days	Wed 21/3/18	Wed 28/3/18
42	2.6.1.5.4	Στρώση 141,7-142,6	8 days	Fri 30/3/18	Fri 6/4/18
43	2.6.1.5.5	Στρώση142,6-143,5	8 days	Sun 8/4/18	Sun 15/4/18
44	2.6.1.5.6	Στρώση143,5-144,4	8 days	Tue 17/4/18	Tue 24/4/18
45	2.6.1.5.7	Στρώση144,4-145,3	8 days	Thu 26/4/18	Thu 3/5/18
46	2.6.1.5.8	Στρώση145,3-146,2	8 days	Sat 5/5/18	Sat 12/5/18
47	2.6.1.5.9	Στρώση146,2-147,1	8 days	Mon 14/5/18	Mon 21/5/18
48	2.6.1.5.10	Στρώση147,1-148,0	8 days	Wed 23/5/18	Wed 30/5/18
49	2.6.1.5.11	Στρώση148,0-148,9	8 days	Fri 1/6/18	Fri 8/6/18
50	2.6.1.5.12	Στρώση148,9-149,8	8 days	Sun 10/6/18	Sun 17/6/18
51	2.6.1.5.13	Στρώση149,8-150,7	8 days	Tue 19/6/18	Tue 26/6/18
52	2.6.1.5.14	Στρώση150,8-151,7	8 days	Thu 28/6/18	Thu 5/7/18
53	2.6.1.5.15	Στρώση151,7-152,6	8 days	Sat 7/7/18	Sat 14/7/18
54	2.6.1.5.16	Στρώση152,6-153,5	8 days	Mon 16/7/18	Mon 23/7/18
55	2.6.1.5.17	Στρώση153,5-154,4	8 days	Wed 25/7/18	Wed 1/8/18
56	2.6.1.5.18	Στρώση154,4-155,3	8 days	Fri 3/8/18	Fri 10/8/18
57	2.6.1.5.19	Στρώση155,3-156,2	8 days	Sun 12/8/18	Sun 19/8/18
58	2.6.1.5.20	Στρώση156,2-157,1	8 days	Tue 21/8/18	Tue 28/8/18
59	2.6.1.5.21	Στρώση157,1-158,00	8 days	Thu 30/8/18	Thu 6/9/18
60	2.6.1.5.22	Στρώση158,0-158,9	8 days	Sat 8/9/18	Sat 15/9/18
61	2.6.1.6	Στρώση 158,9-159,8	8 days	Wed 26/9/18	Wed 3/10/18
62	<b>2.5.1.7</b>	<b>Στρώσεις μέχρι το 186,9</b>	<b>262 days</b>	<b>Tue 9/10/18</b>	<b>Thu 27/6/19</b>
63	2.6.1.7.1	Στρώση159,8-160,7	8 days	Tue 9/10/18	Tue 16/10/18
64	2.6.1.7.2	Στρώση160,7-161,6	9 days	Thu 18/10/18	Fri 26/10/18
65	2.6.1.7.3	Στρώση161,6-162,5	8 days	Sun 28/10/18	Sun 4/11/18
66	2.6.1.7.4	Στρώση162,5-163,4	8 days	Tue 6/11/18	Tue 13/11/18
67	2.6.1.7.5	Στρώση163,4-164,3	8 days	Thu 15/11/18	Thu 22/11/18
68	2.6.1.7.6	Στρώση164,3-165,2	8 days	Sat 24/11/18	Sat 1/12/18
69	2.6.1.7.7	Στρώση165,2-166,1	8 days	Mon 3/12/18	Mon 10/12/18
70	2.6.1.7.8	Στρώση166,1-167,1	8 days	Wed 12/12/18	Wed 19/12/18
71	2.6.1.7.9	Στρώση167,1-168,0	8 days	Fri 21/12/18	Fri 28/12/18
72	2.6.1.7.10	Στρώση168,0-168,9	8 days	Sun 30/12/18	Sun 6/1/19
73	2.6.1.7.11	Στρώση168,9-169,8	8 days	Tue 8/1/19	Tue 15/1/19
74	2.6.1.7.12	Στρώση169,8-170,7	8 days	Thu 17/1/19	Thu 24/1/19
75	2.6.1.7.13	Στρώση170,7-171,6	8 days	Sat 26/1/19	Sat 2/2/19
76	2.6.1.7.14	Στρώση171,6-172,5	8 days	Mon 4/2/19	Mon 11/2/19

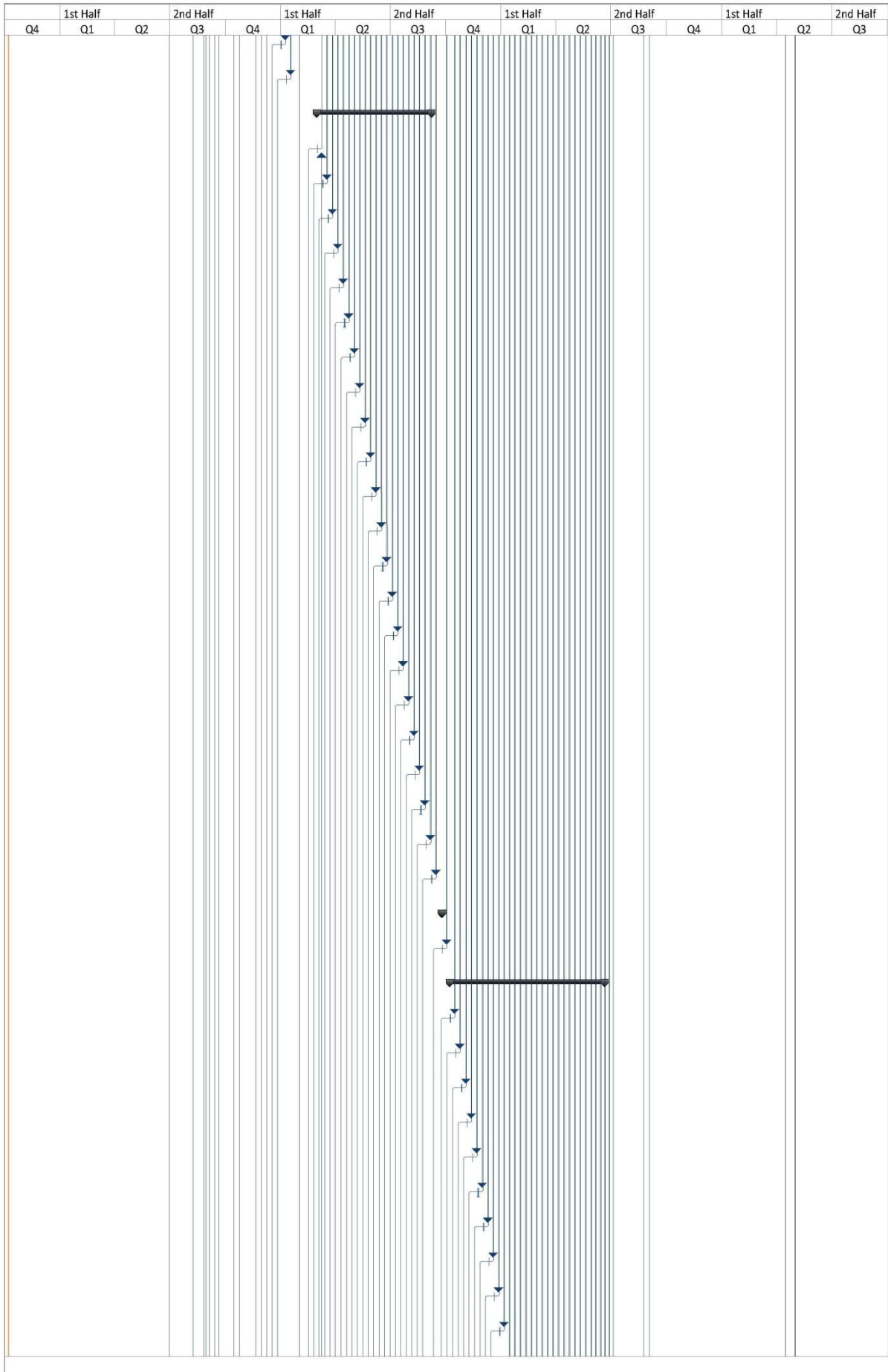


ID	WBS	Task Name	Duration	Start	Finish
77	2.6.1.7.15	Στρώση172,5-173,4	8 days	Wed 13/2/19	Wed 20/2/19
78	2.6.1.7.16	Στρώση173,4-174,3	8 days	Fri 22/2/19	Fri 1/3/19
79	2.6.1.7.17	Στρώση174,3-175,2	8 days	Sun 3/3/19	Sun 10/3/19
80	2.6.1.7.18	Στρώση175,2-176,1	8 days	Tue 12/3/19	Tue 19/3/19
81	2.6.1.7.19	Στρώση176,1-177,0	8 days	Thu 21/3/19	Thu 28/3/19
82	2.6.1.7.20	Στρώση177,0-177,9	8 days	Sat 30/3/19	Sat 6/4/19
83	2.6.1.7.21	Στρώση177,9-178,8	8 days	Mon 8/4/19	Mon 15/4/19
84	2.6.1.7.22	Στρώση178,8-179,7	8 days	Wed 17/4/19	Wed 24/4/19
85	2.6.1.7.23	Στρώση179,7-180,6	8 days	Fri 26/4/19	Fri 3/5/19
86	2.6.1.7.24	Στρώση180,6-181,5	8 days	Sun 5/5/19	Sun 12/5/19
87	2.6.1.7.25	Στρώση181,5-182,4	8 days	Tue 14/5/19	Tue 21/5/19
88	2.6.1.7.26	Στρώση182,4-183,3	7 days	Thu 23/5/19	Wed 29/5/19
89	2.5.1.7.27	Στρώση183,3-184,2	7 days	Fri 31/5/19	Thu 6/6/19
90	2.5.1.7.28	Στρώση184,2-185,1	6 days	Sat 8/6/19	Thu 13/6/19
91	2.5.1.7.29	Στρώση185,1-186,0	6 days	Sat 15/6/19	Thu 20/6/19
92	2.5.1.7.30	Στρώση186,0-186,9	6 days	Sat 22/6/19	Thu 27/6/19
93	<b>2.5.1.8</b>	<b>Στρώσεις μέχρι τη Στέψη</b>	<b>10 days</b>	<b>Sun 18/8/19</b>	<b>Tue 27/8/19</b>
94	2.6.1.8.1	Στρώση186,9-187,8	2 days	Sun 18/8/19	Mon 19/8/19
95	2.6.1.8.2	Στρώση186,9-187,8	4 days	Sun 18/8/19	Wed 21/8/19
96	2.6.1.8.3	Στρώση187,9-188,8	3 days	Tue 20/8/19	Thu 22/8/19
97	2.6.1.8.4	Στρώση187,8-188,7	4 days	Tue 20/8/19	Fri 23/8/19
98	2.6.1.8.5	Στρώση188,8-189,7	2 days	Fri 23/8/19	Sat 24/8/19
99	2.6.1.8.6	Στρώση188,7-189,6	4 days	Fri 23/8/19	Mon 26/8/19
100	2.6.1.8.7	Στρώση189,7-190,6	2 days	Sun 25/8/19	Mon 26/8/19
101	2.6.1.8.8	Στρώση189,9-190,5	3 days	Sun 25/8/19	Tue 27/8/19
102	<b>2.5.2</b>	<b>Στοιχεία προστασίας κατόντη παρειάς</b>	<b>689 days</b>	<b>Wed 2/8/17</b>	<b>Fri 21/6/19</b>
103	2.6.2.1	Στρώσεις μέχρι 130	15 days	Wed 2/8/17	Wed 16/8/17
104	<b>2.5.2.2</b>	<b>Στρώσεις μέχρι το 132,7</b>	<b>19 days</b>	<b>Sun 10/9/17</b>	<b>Thu 28/9/17</b>
105	2.6.2.2.1	Στρώση130-130,9	1 day	Sun 10/9/17	Sun 10/9/17
106	2.6.2.2.2	Στρώση130,9-131,8	1 day	Tue 19/9/17	Tue 19/9/17
107	2.6.2.2.3	Στρώση131,8-132,7	1 day	Thu 28/9/17	Thu 28/9/17
108	<b>2.5.2.3</b>	<b>Στρώσεις μέχρι το 134,5</b>	<b>10 days</b>	<b>Mon 30/10/17</b>	<b>Wed 8/11/17</b>
109	2.6.2.3.1	Στρώση132,7-133,6	1 day	Mon 30/10/17	Mon 30/10/17
110	2.6.2.3.2	Στρώση133,6-134,5	1 day	Wed 8/11/17	Wed 8/11/17
111	<b>2.5.2.4</b>	<b>Στρώσεις μέχρι το 139</b>	<b>37 days</b>	<b>Tue 5/12/17</b>	<b>Wed 10/1/18</b>
112	2.6.2.4.1	Στρώση134,5-135,4	1 day	Tue 5/12/17	Tue 5/12/17
113	2.6.2.4.2	Στρώση135,4-136,3	1 day	Thu 14/12/17	Thu 14/12/17
114	2.6.2.4.3	Στρώση136,3-137,2	1 day	Sat 23/12/17	Sat 23/12/17

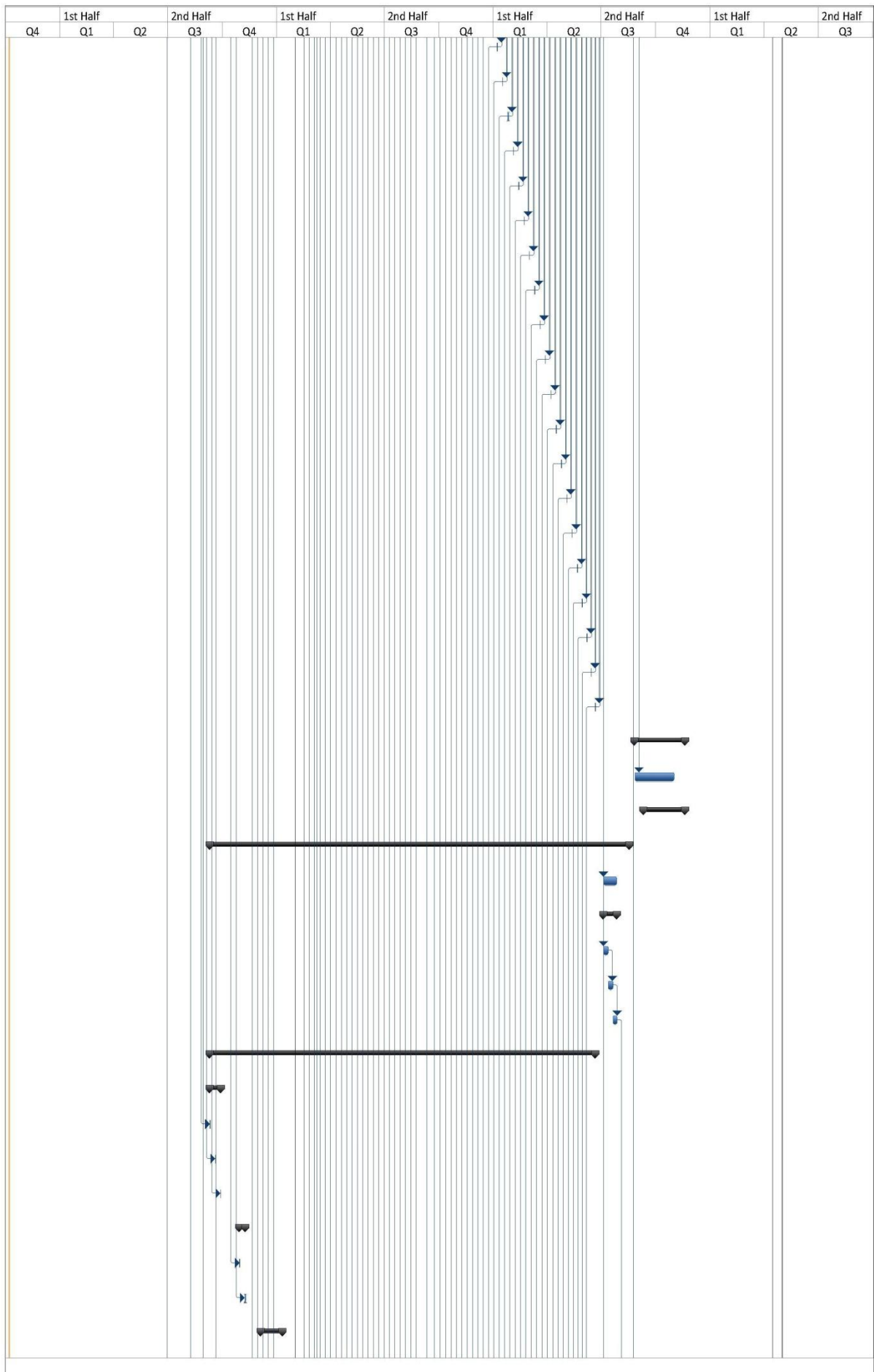




ID	WBS	Task Name	Duration	Start	Finish
115	2.5.2.4.7	Στρώση137,2-138,1	1 day	Mon 1/1/18	Mon 1/1/18
116	2.5.2.4.9	Στρώση138,1-139,00	1 day	Wed 10/1/18	Wed 10/1/18
117	<b>2.5.2.5</b>	<b>Στρώσεις μέχρι το 158,9</b>	<b>190 days</b>	<b>Fri 2/3/18</b>	<b>Fri 7/9/18</b>
118	2.6.2.5.1	Στρώση139,0-139,9	1 day	Fri 2/3/18	Fri 2/3/18
119	2.6.2.5.2	Στρώση139,9-140,8	1 day	Sun 11/3/18	Sun 11/3/18
120	2.5.2.5.7	Στρώση140,8-141,7	1 day	Tue 20/3/18	Tue 20/3/18
121	2.5.2.5.10	Στρώση141,7-142,6	1 day	Thu 29/3/18	Thu 29/3/18
122	2.5.2.5.13	Στρώση142,6-143,5	1 day	Sat 7/4/18	Sat 7/4/18
123	2.5.2.5.15	Στρώση143,5-144,4	1 day	Mon 16/4/18	Mon 16/4/18
124	2.5.2.5.17	Στρώση144,4-145,3	1 day	Wed 25/4/18	Wed 25/4/18
125	2.5.2.5.19	Στρώση145,3-146,2	1 day	Fri 4/5/18	Fri 4/5/18
126	2.5.2.5.21	Στρώση146,2-147,1	1 day	Sun 13/5/18	Sun 13/5/18
127	2.5.2.5.23	Στρώση147,1-148,0	1 day	Tue 22/5/18	Tue 22/5/18
128	2.5.2.5.25	Στρώση148,0-148,9	1 day	Thu 31/5/18	Thu 31/5/18
129	2.5.2.5.27	Στρώση148,9-149,8	1 day	Sat 9/6/18	Sat 9/6/18
130	2.5.2.5.29	Στρώση149,8-150,7	1 day	Mon 18/6/18	Mon 18/6/18
131	2.5.2.5.31	Στρώση150,8-151,7	1 day	Wed 27/6/18	Wed 27/6/18
132	2.5.2.5.33	Στρώση151,7-152,6	1 day	Fri 6/7/18	Fri 6/7/18
133	2.5.2.5.35	Στρώση152,6-153,5	1 day	Sun 15/7/18	Sun 15/7/18
134	2.5.2.5.37	Στρώση153,5-154,4	1 day	Tue 24/7/18	Tue 24/7/18
135	2.5.2.5.39	Στρώση154,4-155,3	1 day	Thu 2/8/18	Thu 2/8/18
136	2.5.2.5.41	Στρώση155,3-156,2	1 day	Sat 11/8/18	Sat 11/8/18
137	2.5.2.5.43	Στρώση156,2-157,1	1 day	Mon 20/8/18	Mon 20/8/18
138	2.5.2.5.45	Στρώση157,1-158,00	1 day	Wed 29/8/18	Wed 29/8/18
139	2.5.2.5.47	Στρώση158,0-158,9	1 day	Fri 7/9/18	Fri 7/9/18
140	<b>2.5.2.6</b>	<b>Στρώση 158,9-159,8</b>	<b>1 day</b>	<b>Tue 25/9/18</b>	<b>Tue 25/9/18</b>
141	2.6.2.6.1	Στρώση158,9-159,8	1 day	Tue 25/9/18	Tue 25/9/18
142	<b>2.5.2.7</b>	<b>Στρώσεις μέχρι το 186,9</b>	<b>257 days</b>	<b>Mon 8/10/18</b>	<b>Fri 21/6/19</b>
143	2.6.2.7.1	Στρώση159,8-160,7	1 day	Mon 8/10/18	Mon 8/10/18
144	2.6.2.7.2	Στρώση160,7-161,6	1 day	Wed 17/10/18	Wed 17/10/18
145	2.6.2.7.3	Στρώση161,6-162,5	1 day	Sat 27/10/18	Sat 27/10/18
146	2.6.2.7.4	Στρώση162,5-163,4	1 day	Mon 5/11/18	Mon 5/11/18
147	2.6.2.7.5	Στρώση163,4-164,3	1 day	Wed 14/11/18	Wed 14/11/18
148	2.6.2.7.6	Στρώση164,3-165,2	1 day	Fri 23/11/18	Fri 23/11/18
149	2.5.2.7.13	Στρώση165,2-166,1	1 day	Sun 2/12/18	Sun 2/12/18
150	2.5.2.7.15	Στρώση166,1-167,1	1 day	Tue 11/12/18	Tue 11/12/18
151	2.5.2.7.17	Στρώση167,1-168,0	1 day	Thu 20/12/18	Thu 20/12/18
152	2.5.2.7.19	Στρώση168,0-168,9	1 day	Sat 29/12/18	Sat 29/12/18



ID	WBS	Task Name	Duration	Start	Finish
153	2.5.2.7.21	Στρώση168,9-169,8	1 day	Mon 7/1/19	Mon 7/1/19
154	2.5.2.7.23	Στρώση169,8-170,7	1 day	Wed 16/1/19	Wed 16/1/19
155	2.5.2.7.25	Στρώση170,7-171,6	1 day	Fri 25/1/19	Fri 25/1/19
156	2.5.2.7.27	Στρώση171,6-172,5	1 day	Sun 3/2/19	Sun 3/2/19
157	2.5.2.7.29	Στρώση172,5-173,4	1 day	Tue 12/2/19	Tue 12/2/19
158	2.5.2.7.31	Στρώση173,4-174,3	1 day	Thu 21/2/19	Thu 21/2/19
159	2.5.2.7.33	Στρώση174,3-175,2	1 day	Sat 2/3/19	Sat 2/3/19
160	2.5.2.7.35	Στρώση175,2-176,1	1 day	Mon 11/3/19	Mon 11/3/19
161	2.5.2.7.37	Στρώση176,1-177,0	1 day	Wed 20/3/19	Wed 20/3/19
162	2.5.2.7.39	Στρώση177,0-177,9	1 day	Fri 29/3/19	Fri 29/3/19
163	2.5.2.7.41	Στρώση177,9-178,8	1 day	Sun 7/4/19	Sun 7/4/19
164	2.5.2.7.43	Στρώση178,8-179,7	1 day	Tue 16/4/19	Tue 16/4/19
165	2.5.2.7.45	Στρώση179,7-180,6	1 day	Thu 25/4/19	Thu 25/4/19
166	2.5.2.7.47	Στρώση180,6-181,5	1 day	Sat 4/5/19	Sat 4/5/19
167	2.5.2.7.49	Στρώση181,5-182,4	1 day	Mon 13/5/19	Mon 13/5/19
168	2.5.2.7.51	Στρώση182,4-183,3	1 day	Wed 22/5/19	Wed 22/5/19
169	2.5.2.7.53	Στρώση183,3-184,3	1 day	Thu 30/5/19	Thu 30/5/19
170	2.5.2.7.55	Στρώση184,3-185,2	1 day	Fri 7/6/19	Fri 7/6/19
171	2.5.2.7.57	Στρώση185,2-186,1	1 day	Fri 14/6/19	Fri 14/6/19
172	2.5.2.7.59	Στρώση186.0-186.9	1 day	Fri 21/6/19	Fri 21/6/19
173	<b>2.6</b>	<b>Ανάντη Μανδύας Στεγανότητας</b>	<b>85 days</b>	<b>Tue 27/8/19</b>	<b>Tue 19/11/19</b>
174	2.7.1	Έργα Αποστράγγισης Ανάντη Μανδύα Στεγανότητας	66 days	Tue 27/8/19	Thu 31/10/19
175	<b>2.6.2</b>	<b>Σκυροδέτηση Μανδύα Στεγανότητας σε Λωρίδες</b>	<b>70 days</b>	<b>Wed 11/9/19</b>	<b>Tue 19/11/19</b>
204	<b>2.7</b>	<b>Υπερχειλιστής</b>	<b>707 days</b>	<b>Sun 10/9/17</b>	<b>Sat 17/8/19</b>
205	2.8.1	Πλευρικά Τοιχεία Υπερχειλιστή	22 days	Fri 5/7/19	Fri 26/7/19
206	<b>2.7.2</b>	<b>Σώμα υπερχειλιστή</b>	<b>23 days</b>	<b>Fri 5/7/19</b>	<b>Sat 27/7/19</b>
207	2.8.2.1	Oggee 1	8 days	Fri 5/7/19	Fri 12/7/19
208	2.8.2.2	Oggee 2	8 days	Sat 13/7/19	Sat 20/7/19
209	2.8.2.3	Oggee 3	7 days	Sun 21/7/19	Sat 27/7/19
210	<b>2.7.3</b>	<b>Βαθμιδωτές Πτώσεις Υπερχειλιστή</b>	<b>650 days</b>	<b>Sun 10/9/17</b>	<b>Fri 21/6/19</b>
211	<b>2.7.3.1</b>	<b>Στρώσεις μέχρι το 132,7</b>	<b>19 days</b>	<b>Sun 10/9/17</b>	<b>Thu 28/9/17</b>
212	2.8.3.1.1	Στρώση 130-130,9	1 day	Sun 10/9/17	Sun 10/9/17
213	2.8.3.1.2	Στρώση 130,9-131,8	1 day	Tue 19/9/17	Tue 19/9/17
214	2.8.3.1.3	Στρώση 131,8-132,7	1 day	Thu 28/9/17	Thu 28/9/17
215	<b>2.7.3.2</b>	<b>Στρώσεις μέχρι το 134,5</b>	<b>10 days</b>	<b>Mon 30/10/17</b>	<b>Wed 8/11/17</b>
216	2.8.3.2.1	Στρώση 132,7-133,6	1 day	Mon 30/10/17	Mon 30/10/17
217	2.8.3.2.2	Στρώση 133,6-134,5	1 day	Wed 8/11/17	Wed 8/11/17
218	<b>2.7.3.3</b>	<b>Στρώσεις μέχρι το 139</b>	<b>37 days</b>	<b>Tue 5/12/17</b>	<b>Wed 10/1/18</b>

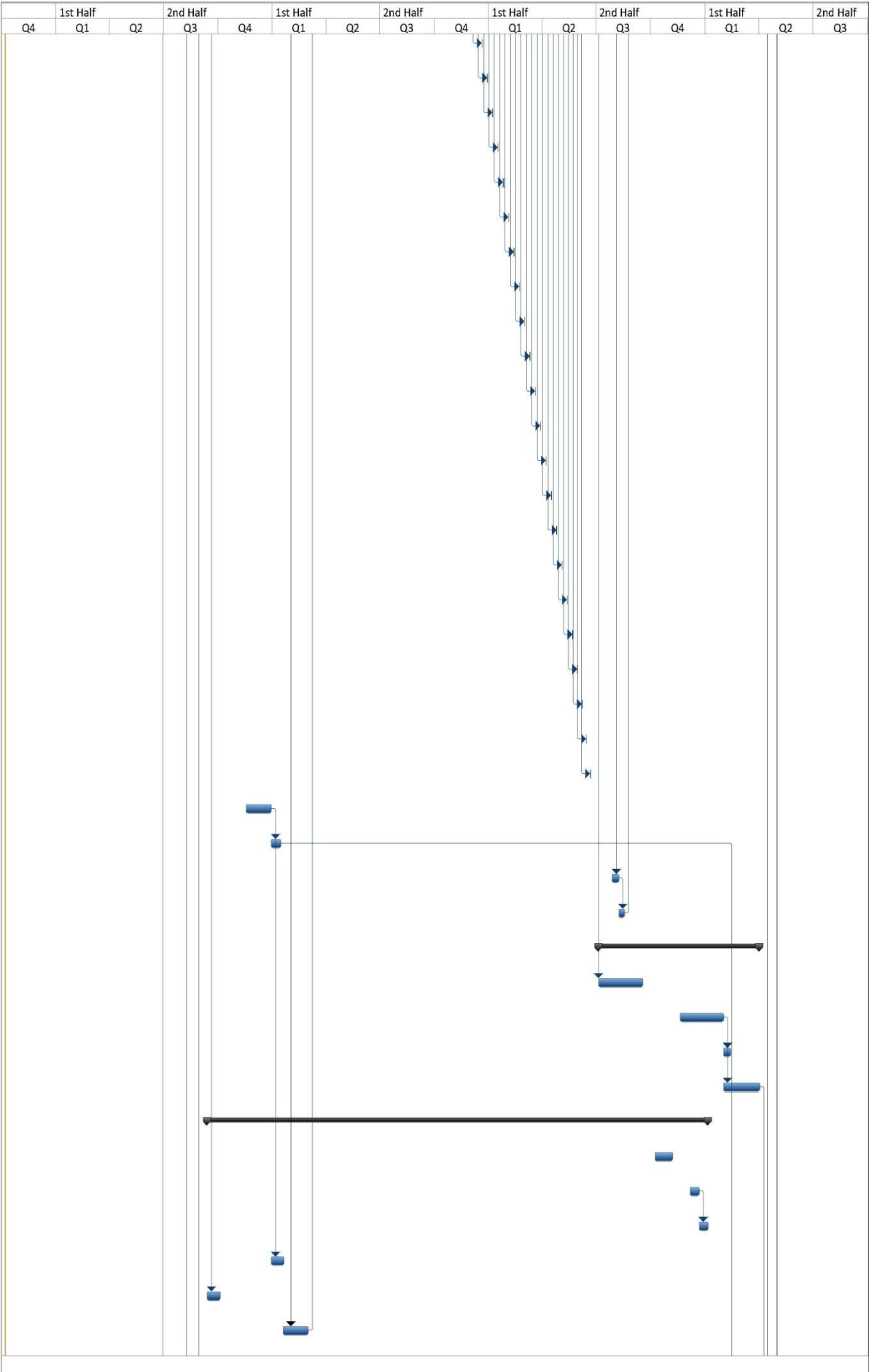


ID	WBS	Task Name	Duration	Start	Finish
219	2.8.3.3.1	Στρώση 134,5-135,4	1 day	Tue 5/12/17	Tue 5/12/17
220	2.8.3.3.2	Στρώση 135,4-136,3	1 day	Thu 14/12/17	Thu 14/12/17
221	2.8.3.3.3	Στρώση 136,3-137,1	1 day	Sat 23/12/17	Sat 23/12/17
222	2.8.3.3.4	Στρώση 137,2-138,1	1 day	Mon 1/1/18	Mon 1/1/18
223	2.8.3.3.5	Στρώση 138,1-139,00	1 day	Wed 10/1/18	Wed 10/1/18
224	<b>2.7.3.4</b>	<b>Στρώσεις μέχρι το 158,9</b>	<b>190 days</b>	<b>Fri 2/3/18</b>	<b>Fri 7/9/18</b>
225	2.8.3.4.1	Στρώση 139,0-139,9	1 day	Fri 2/3/18	Fri 2/3/18
226	2.8.3.4.2	Στρώση 139,9-140,8	1 day	Sun 11/3/18	Sun 11/3/18
227	2.8.3.4.3	Στρώση 140,8-141,7	1 day	Tue 20/3/18	Tue 20/3/18
228	2.8.3.4.4	Στρώση 141,7-142,6	1 day	Thu 29/3/18	Thu 29/3/18
229	2.8.3.4.5	Στρώση 142,6-143,5	1 day	Sat 7/4/18	Sat 7/4/18
230	2.8.3.4.6	Στρώση 143,5-144,4	1 day	Mon 16/4/18	Mon 16/4/18
231	2.8.3.4.7	Στρώση 144,4-145,3	1 day	Wed 25/4/18	Wed 25/4/18
232	2.8.3.4.8	Στρώση 145,3-146,2	1 day	Fri 4/5/18	Fri 4/5/18
233	2.8.3.4.9	Στρώση 146,2-147,1	1 day	Sun 13/5/18	Sun 13/5/18
234	2.8.3.4.10	Στρώση 147,1-148,0	1 day	Tue 22/5/18	Tue 22/5/18
235	2.8.3.4.11	Στρώση 148,0-148,9	1 day	Thu 31/5/18	Thu 31/5/18
236	2.8.3.4.12	Στρώση 148,9-149,8	1 day	Sat 9/6/18	Sat 9/6/18
237	2.8.3.4.13	Στρώση 149,8-150,7	1 day	Mon 18/6/18	Mon 18/6/18
238	2.7.3.4.14	Στρώση 150,8-151,7	1 day	Wed 27/6/18	Wed 27/6/18
239	2.7.3.4.15	Στρώση 151,7-152,6	1 day	Fri 6/7/18	Fri 6/7/18
240	2.7.3.4.16	Στρώση 152,6-153,5	1 day	Sun 15/7/18	Sun 15/7/18
241	2.7.3.4.17	Στρώση 153,5-154,4	1 day	Tue 24/7/18	Tue 24/7/18
242	2.7.3.4.18	Στρώση 154,4-155,3	1 day	Thu 2/8/18	Thu 2/8/18
243	2.7.3.4.19	Στρώση 155,3-156,2	1 day	Sat 11/8/18	Sat 11/8/18
244	2.7.3.4.20	Στρώση 156,2-157,1	1 day	Mon 20/8/18	Mon 20/8/18
245	2.7.3.4.21	Στρώση 157,1-158,00	1 day	Wed 29/8/18	Wed 29/8/18
246	2.7.3.4.22	Στρώση 158,0-158,9	1 day	Fri 7/9/18	Fri 7/9/18
247	2.8.3.5	Στρώση 158,9-159,8	1 day	Tue 25/9/18	Tue 25/9/18
248	<b>2.7.3.6</b>	<b>Στρώσεις μέχρι το 186,9</b>	<b>257 days</b>	<b>Mon 8/10/18</b>	<b>Fri 21/6/19</b>
249	2.8.3.6.1	Στρώση 159,8-160,7	1 day	Mon 8/10/18	Mon 8/10/18
250	2.8.3.6.2	Στρώση 160,7-161,6	1 day	Wed 17/10/18	Wed 17/10/18
251	2.8.3.6.3	Στρώση 161,6-162,5	1 day	Sat 27/10/18	Sat 27/10/18
252	2.8.3.6.4	Στρώση 162,5-163,4	1 day	Mon 5/11/18	Mon 5/11/18
253	2.8.3.6.5	Στρώση 163,4-164,3	1 day	Wed 14/11/18	Wed 14/11/18
254	2.8.3.6.6	Στρώση 164,3-165,2	1 day	Fri 23/11/18	Fri 23/11/18
255	2.8.3.6.7	Στρώση 165,2-166,1	1 day	Sun 2/12/18	Sun 2/12/18
256	2.8.3.6.8	Στρώση 166,1-167,1	1 day	Tue 11/12/18	Tue 11/12/18



ID	WBS	Task Name	Duration	Start	Finish
257	2.8.3.6.9	Στρώση167,1-168,0	1 day	Thu 20/12/18	Thu 20/12/18
258	2.8.3.6.10	Στρώση168,0-168,9	1 day	Sat 29/12/18	Sat 29/12/18
259	2.8.3.6.11	Στρώση168,9-169,8	1 day	Mon 7/1/19	Mon 7/1/19
260	2.8.3.6.12	Στρώση169,8-170,7	1 day	Wed 16/1/19	Wed 16/1/19
261	2.8.3.6.13	Στρώση170,7-171,6	1 day	Fri 25/1/19	Fri 25/1/19
262	2.8.3.6.14	Στρώση171,6-172,5	1 day	Sun 3/2/19	Sun 3/2/19
263	2.8.3.6.15	Στρώση172,5-173,4	1 day	Tue 12/2/19	Tue 12/2/19
264	2.8.3.6.16	Στρώση173,4-174,3	1 day	Thu 21/2/19	Thu 21/2/19
265	2.8.3.6.17	Στρώση174,3-175,2	1 day	Sat 2/3/19	Sat 2/3/19
266	2.8.3.6.18	Στρώση175,2-176,1	1 day	Mon 11/3/19	Mon 11/3/19
267	2.8.3.6.19	Στρώση176,1-177,0	1 day	Wed 20/3/19	Wed 20/3/19
268	2.7.3.6.20	Στρώση177,0-177,9	1 day	Fri 29/3/19	Fri 29/3/19
269	2.7.3.6.21	Στρώση177,9-178,8	1 day	Sun 7/4/19	Sun 7/4/19
270	2.7.3.6.22	Στρώση178,8-179,7	1 day	Tue 16/4/19	Tue 16/4/19
271	2.7.3.6.23	Στρώση179,7-180,6	1 day	Thu 25/4/19	Thu 25/4/19
272	2.7.3.6.24	Στρώση180,6-181,5	1 day	Sat 4/5/19	Sat 4/5/19
273	2.7.3.6.25	Στρώση181,5-182,4	1 day	Mon 13/5/19	Mon 13/5/19
274	2.7.3.6.26	Στρώση182,4-183,3	1 day	Wed 22/5/19	Wed 22/5/19
275	2.7.3.6.27	Στρώση183,3-184,2	1 day	Thu 30/5/19	Thu 30/5/19
276	2.7.3.6.28	Στρώση184,2-185,1	1 day	Fri 7/6/19	Fri 7/6/19
277	2.7.3.6.29	Στρώση185,1-186,0	1 day	Fri 14/6/19	Fri 14/6/19
278	2.7.3.6.30	Στρώση186,0-186,9	1 day	Fri 21/6/19	Fri 21/6/19
279	2.8.4	Λεκάνη Καταστροφής Ενέργειας	43 days	Fri 17/11/17	Fri 29/12/17
280	2.8.5	Γέφυρα (πάνω από τη λεκάνη καταστροφής ενέργειας)	16 days	Sat 30/12/17	Sun 14/1/18
281	2.8.6	Μεσόβαθρα	11 days	Sun 28/7/19	Wed 7/8/19
282	2.8.7	Ακρόβαθρα	10 days	Thu 8/8/19	Sat 17/8/19
283	<b>2.8</b>	<b>Εργα στέψης</b>	<b>272 days</b>	<b>Fri 5/7/19</b>	<b>Wed 1/4/20</b>
284	2.9.1	Τοίχος αντιστήριξης	75 days	Fri 5/7/19	Tue 17/9/19
285	2.9.2	Κράσπεδο και Στρώση κυκλοφορίας	73 days	Wed 20/11/19	Fri 31/1/20
286	2.9.3	Κιγκλιδώματα (κατάντη)	12 days	Sat 1/2/20	Wed 12/2/20
287	2.9.4	Στηθαίο (ανάντη)	61 days	Sat 1/2/20	Wed 1/4/20
288	<b>2.9</b>	<b>Υδροληψία και εκκένωτής</b>	<b>845 days</b>	<b>Wed 13/9/17</b>	<b>Sun 5/1/20</b>
289	2.10.1	Πύργος	30 days	Tue 8/10/19	Wed 6/11/19
290	2.10.2	Σημεία υδροληψίας	15 days	Sat 7/12/19	Sat 21/12/19
291	2.10.3	Έργο εισόδου εκκένωσης	15 days	Sun 22/12/19	Sun 5/1/20
292	2.10.4	Έργο εξόδου εκκένωσης	21 days	Sat 30/12/17	Fri 19/1/18
293	2.10.5	Θάλαμος	22 days	Wed 13/9/17	Wed 4/10/17
294	2.10.6	Στοά υδροληψίας και εκκένωσης	42 days	Fri 19/1/18	Thu 1/3/18





ID	WBS	Task Name	Duration	Start	Finish	2nd Half	
						Q3	Q4
295	<b>2.10</b>	<b>Τσιμεντενέσεις</b>	<b>77 days</b>	<b>Tue 18/7/17</b>	<b>Mon 2/10/17</b>		
296	2.11.1	Προκαταρκτικές	14 days	Wed 2/8/17	Tue 15/8/17		
297	2.11.2	Τελικές	77 days	Tue 18/7/17	Mon 2/10/17		
298	3	Προσπελάσεις οδοποιία	31 days	Thu 9/1/20	Sat 8/2/20		
299	4	Οικίσκος/κτίριο ελέγχου	30 days	Thu 2/4/20	Fri 1/5/20		
300	<b>5</b>	<b>Φωτισμός</b>	<b>77 days</b>	<b>Sat 15/2/20</b>	<b>Fri 1/5/20</b>		
301	5.1	Στέψης	30 days	Thu 2/4/20	Fri 1/5/20		
302	5.2	Γέφυρας	15 days	Sat 15/2/20	Sat 29/2/20		



## Παράρτημα Γ. Quantification (Εξαγωγή Προμετρητικών στοιχείων από το Navisworks σε φύλλο εργασίας Excel)

Ετικέτες γραμμής	Length	Area	Volume	Count	PrimaryQuantity
= Εκτροπή					
⊖ Αγωγός Εκτροπής					
Έργο Εισόδου	0,00	83,74	32,97	1,00	32,97
Σωλήνας και Εγκιβωτισμός Σωλήνα	51,10	1748,97	548,66	3,00	51,10
⊖ (κενό)					
Πρόφραγμα	0,00	2848,78	4748,80	1,00	4748,80
= Φράγμα					
⊖ Ανάντη Μανδύας Στεγανότητας					
Σκυροδέτηση Μανδύα Στεγανότητας σε Λωρίδες	0,00	16264,36	4721,40	28,00	4721,40
⊖ Εκκαφές					
Topography	0,00	0,00	154761,03	1,00	154761,03
⊖ Έργα στέψης					
Κιγκλιδώματα (καπάνη)	362,23	0,00	0,00	5,00	362,23
Κράσπεδο και Στρώση κυκλοφορίας	361,18	3268,84	572,73	5,00	361,18
Στηθαίο (ανάπτη)	356,24	447,74	76,24	6,00	356,24
Τοίχος αντιστήριξης	295,30	2423,98	1497,88	4,00	295,30
⊖ Σήραγγες					
Αριστερά Κάτω	51,70	697,81	341,65	1,00	51,70
Αριστερά Πάνω	76,00	829,07	406,55	1,00	76,00
Δεξιά Κάτω	80,00	1076,17	528,66	1,00	80,00
Δεξιά Πάνω	39,22	869,50	401,92	1,00	39,22
⊖ Στοές					
Στοά Προσπέλασης Αριστερά	75,28	1350,78	664,56	1,00	75,28
Στοά Προσπέλασης Δεξιά	18,14	1426,22	701,66	1,00	18,14
Συνδετήρια Στοά Αριστερά Πάνω	8,50	340,73	165,30	1,00	8,50
Συνδετήρια Στοά Δεξιά Πάνω	26,26	626,11	306,36	1,00	26,26
Συνδετήρια Στοά Κάτω	33,00	1950,21	946,44	1,00	33,00
⊖ Σώμα φράγματος					
Στοιχεία προστασίας καπάνη παρειάς	0,00	22999,78	5729,92	137,00	12733,15
Στρώσεις RCC	15375,83	668012,65	570911,64	77,00	570911,64
⊖ Υδροληψία και εκκένωσης					
Έργο εισόδου εκκένωσης	0,00	422,46	418,39	1,00	418,39
Έργο εξόδου εκκένωσης	0,00	155,00	138,95	1,00	138,95
Πύργος	0,00	1096,04	515,72	1,00	515,72
Σημεία υδροληψίας	0,00	30,52	1,41	4,00	4,00
Στοά υδροληψίας και εκκένωσης	81,80	2077,11	1669,49	1,00	81,80
⊖ Υπερχειλιστής					
Ακρόβαθρα	0,00	84,17	36,06	2,00	36,06
Βαθμιδωτές Πτώσεις Υπερχειλιστή	0,00	3885,32	1956,15	63,00	63,00
Γέφυρα (πάνω από τη λεκάνη καταστροφής ενέργειας)	0,00	195,05	76,15	1,00	76,15
Λεκάνη Καταστροφής Ενέργειας	0,00	1554,57	1844,02	1,00	1844,02
Μεσόβαθρα	0,00	62,04	26,16	2,00	26,16
Πλευρικά Τοιχεία Υπερχειλιστή	0,00	325,74	84,23	2,00	84,23
Σώμα υπερχειλιστή	0,00	255,21	318,45	3,00	3,00
⊖ (κενό)					
Πλίνθος - Στοά τσιμεντέσεων	244,80	6768,22	7859,19	8,00	244,80
= Φωτισμός					
⊖ Γέφυρας					
Light-Street_SMARTBIM	0,00	5,34	0,29	3,00	3,00
⊖ Στέψης					
Light-Street_SMARTBIM	0,00	35,61	1,95	20,00	20,00