

# Τεχνολογίες Πληροφοριακών Μοντέλων Κατασκευών (BIM) και η εφαρμογή τους σε μελέτες φραγμάτων

Χ. Α. Νασίκα

*Πολιτικός Μηχανικός*

Σ. Ν. Μίχας

*Πολιτικός Μηχανικός, PhD*

Ν. Μαμάσης

*Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ, Τομέας Υδατικών Πόρων*

Λέξεις κλειδιά: BIM, Πληροφοριακό Μοντέλο Κατασκευής

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ:** Στην εργασία αυτή εξετάζεται η εφαρμογή τεχνολογιών BIM (Πληροφοριακού Μοντέλου Κατασκευής) στη μελέτη φραγμάτων και συναφών έργων. Γίνεται βιβλιογραφική έρευνα σε ότι αφορά την εξέλιξη της τεχνολογίας παγκοσμίως σήμερα. Εξετάζονται οι δυνατότητες μοντελοποίησης που προσφέρουν τα διαθέσιμα σύγχρονα εργαλεία και λογισμικά. Αξιολογούνται οι μεθοδολογίες μοντελοποίησης και οι απαιτήσεις που προκύπτουν για την ανάπτυξη των αντικειμένων στα διαφορετικά στάδια ενός έργου φράγματος.

Γίνεται εφαρμογή των τεχνολογιών BIM για την περίπτωση του φράγματος Βαλσαμιώτη του νομού Χανίων, το οποίο είναι τύπου σκληρού επιχώματος, με στόχο να εντοπιστούν τα οφέλη της τεχνολογίας BIM αλλά και οι δυσκολίες εφαρμογής. Για το έργο αυτό, αναπτύσσεται μοντέλο του σώματος και των κυριότερων συναφών έργων με βάση τα διαθέσιμα σχέδια 2D. Το συνολικό έργο διακριτοποιείται με βάση τα υλικά, τη μορφή και τον τρόπο κατασκευής του. Εξετάζονται τα δυνατά σενάρια επιπέδου λεπτομερειών και επιλέγεται το κατάλληλο. Συσχετίζονται τα επί μέρους αντικείμενα με τις ιδιότητες των υλικών, τις ποσότητες, το χρόνο κατασκευής τους και τις προδιαγραφές τους. Εξετάζονται και παρουσιάζονται βοηθητικά εργαλεία μοντελοποίησης. Συντάσσεται θεωρητικό χρονοδιάγραμμα κατασκευής, λαμβάνοντας υπ' όψιν στοιχεία από τις πραγματικές εργασίες. Αναπτύσσεται μοντέλο προσομοίωσης της κατασκευής (4D) και μοντέλο ποσοτήτων φυσικού αντικειμένου (5D).

## 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη διεθνή βιβλιογραφία απαντάται πληθώρα ορισμών για το BIM (Building Information Modeling), οι οποίοι δίνουν αλληλοσυμπληρούμενες ερμηνείες [4]. Σύμφωνα με τον ορισμό του National Building Information Model Standard (NBIMS) committee τρία είναι τα βασικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας. Αυτά αναφέρονται στους περισσότερους ορισμούς και χαίρουν κοινής 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.

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.

Για το σκοπό αυτό αναπτύσσεται ένα μοντέλο με «έξυπνα» αντικείμενα που αναπαριστούν τα στοιχεία του έργου, και τα οποία περιέχουν το σύνολο των πληροφοριών που αφορούν το σχεδιασμό, την κατασκευή και τη διαχείριση του έργου. Τέτοιες πληροφορίες μπορούν να είναι, μεταξύ άλλων, η γεωμετρία των στοιχείων, τα υλικά που χρησιμοποιούνται, το χρονοδιάγραμμα της κατασκευής, οι ποσότητες και η κοστολόγηση των υλικών και των απαραίτητων εργασιών για το έργο, οι προμηθευτές και οι προδιαγραφές που αφορούν το έργο.

Η ποσότητα, η ακρίβεια, και η λεπτομέρεια της πληροφορίας που περιέχεται σε ένα μοντέλο BIM εξαρτάται από το σκοπό του μοντέλου και το στάδιο του κύκλου ζωής του έργου κατά το οποίο κατασκευάζεται το μοντέλο. Για να προσδιοριστεί το είδος και η ακρίβεια της πληροφορίας που περιλαμβάνεται σε ένα Πληροφοριακό Μοντέλο Κατασκευής χρησιμοποιούνται τα Επίπεδα Οργάνωσης και Ανάπτυξης του BIM {3}, {4}. Τέτοια είναι τα Επίπεδα Ανάπτυξης (Levels of Development) {3}, που καθορίζουν το βαθμό λεπτομέρειας που απαιτείται στα διαφορετικά στάδια του κύκλου ζωής του έργου, και τα Επίπεδα Διαστάσεων (Levels of Dimension) που αφορούν τα είδη πληροφορίας, δηλαδή τις διαστάσεις πληροφορίας που περιέχονται στο μοντέλο (γεωμετρία, χρόνος, κόστος κλπ).

Η ανάπτυξη των συναφών τεχνολογιών και η εμπειρία χρήσης τους σε όλες τις φάσεις της ζωής των τεχνικών έργων έχουν γνωρίσει ραγδαίους ρυθμούς την τελευταία δεκαετία. Σε πολλές από τις ανεπτυγμένες χώρες η εφαρμογή τους έχει αποκτήσει θεσμικό χαρακτήρα και είναι υποχρεωτική σε διάφορα στάδια, ιδιαίτερα μελετών και δημοπράτησης ενώ με βάση τον γνωστό μακροπρόθεσμο σχεδιασμό τους, αναμένεται να εξελιχθεί σε ότι αφορά τις δομές των ομοιομάτων και την έκταση της πληροφορίας που ενσωματώνουν {7}. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα του Ηνωμένου Βασιλείου όπου έχει αναπτυχθεί ένα από τα πιο φιλόδοξα κυβερνητικά προγράμματα στον κόσμο {9}.

Για να διαπιστωθούν τα προτερήματα της εφαρμογής τεχνολογίας BIM για την υλοποίηση ενός έργου υποδομής, αλλά και για να εντοπιστούν τα προβλήματα στη μετάβαση από τις παραδοσιακές τεχνολογίες και τα μειονεκτήματα της νέας τεχνολογίας, εφαρμόστηκαν μεθοδολογίες BIM στη μελέτη ενός μεγάλου φράγματος από σκληρό επίχωμα.

Τα λογισμικά που υποστηρίζουν την ανάπτυξη BIM, όπως αυτά που χρησιμοποιήθηκαν για την παρούσα εργασία (Autodesk Revit και Navisworks) έχουν ως στόχο τη δημιουργία μίας κεντρικής βάσης δεδομένων που περιλαμβάνει όλη την απαραίτητη πληροφορία, αποθηκευμένη με δομημένο τρόπο ώστε να μεγιστοποιείται η αξία της, και είναι προσβάσιμη από ολόκληρη την ομάδα υλοποίησης του έργου έτσι ώστε να επιτυγχάνεται υψηλό επίπεδο συνεργασίας και διαλειτουργικότητας. Τα προγράμματα BIM έχουν δυνατότητες διαφορετικές από αυτές των προγραμμάτων που παραδοσιακά χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό ενός έργου (προγράμματα CAD). Ενσωματώνουν το σχεδιασμό (σύλληψη, υπολογισμούς, μελέτες) με την αποτύπωση (τεχνικά σχέδια, βάσεις δεδομένων της κατασκευής) μέσω της ανάπτυξης ενός «έξυπνου» τρισδιάστατου μοντέλου προσομοίωσης. Το μοντέλο αυτό προσομοιώνει το ίδιο το έργο, και όχι τα σχέδια του έργου, και τα αντικείμενά μπορούν να «αντιλαμβάνονται» τη λειτουργία τους και τη σχέση τους με τα υπόλοιπα αντικείμενα του έργου. Η παραμετρική μοντελοποίηση, η αυτοματοποίηση της αλλαγής και η ενσωμάτωση της πληροφορίας στο αντικείμενο είναι τα βασικά χαρακτηριστικά αυτής της τεχνολογίας που καθιστούν τα αντικείμενα του μοντέλου «έξυπνα» και διευκολύνουν τις διαδικασίες σχεδιασμού, κατασκευής και διαχείρισης ενός έργου.

## 2. CASE STUDY: ΤΟ ΦΡΑΓΜΑ ΒΑΛΣΑΜΙΩΤΗ {1}

Το φράγμα του Βαλσαμιώτη βρίσκεται στο Νομό Χανίων, στο βορειοανατολικό άκρο του ρέματος Βαλσαμιώτη και απέχει 900 m περίπου από το χωριό Βατόλακκος. Είναι αρδευτικό φράγμα, αξονοσυμμετρικό, από σκληρό επίχωμα. Έχει ύψος 67,2 m, όγκο σώματος 600.000 m<sup>3</sup>, και όγκο ταμιευτήρα 6 hm<sup>3</sup>.

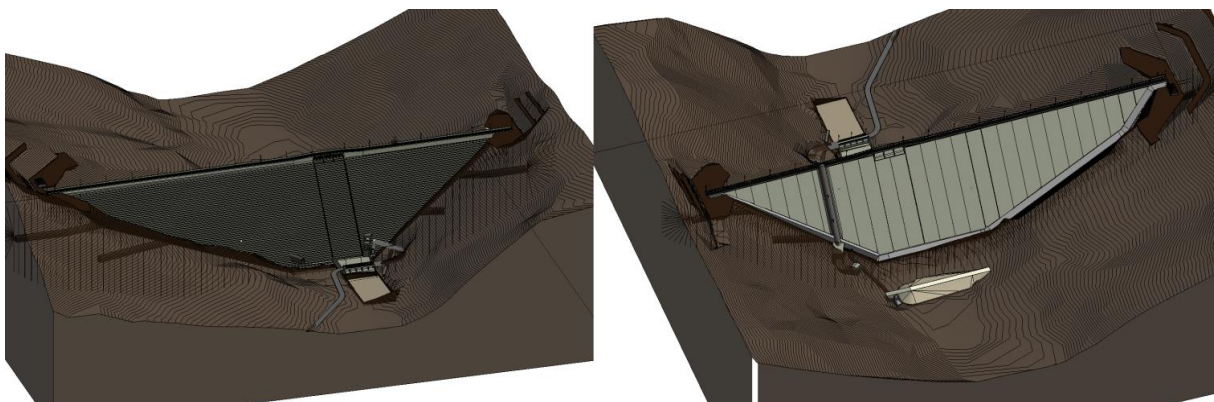
### 2.1. Μεθοδολογία

Αναπτύχθηκε το Πληροφοριακό Μοντέλο του Φράγματος Βαλσαμιώτη σε λογισμικό BIM. Χρησιμοποιήθηκαν τα παραδοτέα σχέδια της μελέτης του φράγματος {2}, για τη δημιουργία των 3-διάστατων στοιχείων του έργου. Έπειτα, κατανεμήθηκαν οι εργασίες για την κατασκευή σε δραστηριότητες και υποδραστηριότητες, και προσδιορίστηκαν οι χρονικές αλληλουχίες ανάμεσα σε αυτές. Δημιουργήθηκε λοιπόν ένα χρονοδιάγραμμα κατασκευής το οποίο συνδέθηκε με το μοντέλο (BIM 4D). Δημιουργήθηκε με τη βοήθεια λογισμικού BIM προσομοίωση της κατασκευής του φράγματος. Τέλος, χρησιμοποιώντας εργαλεία BIM και τη διαθέσιμη γεωμετρική πληροφορία, ελήφθησαν προμετρητικά στοιχεία από το μοντέλο που αφορά τα περισσότερα από τα αντικείμενα του μοντέλου, καθώς και κάποια υλικά (BIM 5D).

### 2.2. Το Πληροφοριακό Μοντέλο του φράγματος Βαλσαμιώτη

Το 3-διάστατο μοντέλο του έργου δημιουργήθηκε με μετατροπή της διαθέσιμης ψηφιακής (κατά την παραδοσιακή έννοια) δισδιάστατης πληροφορίας από την τεχνική μελέτη. Η εργασία έγινε σε περιβάλλον Autodesk Revit, πρόγραμμα που υποστηρίζει τεχνολογία BIM. Επιλέχθηκε Επίπεδο Ανάπτυξης 200 (LOD 200), δηλαδή αποδόθηκαν τα στοιχεία του έργου ως γενικά αντικείμενα με προσεγγιστικές ποσότητες, γεωμετρία και προσανατολισμό.

Στην Εικόνα 1 φαίνονται 3-διάστατες όψεις του Μοντέλου του φράγματος και των συνοδών έργων που μοντελοποιήθηκαν.



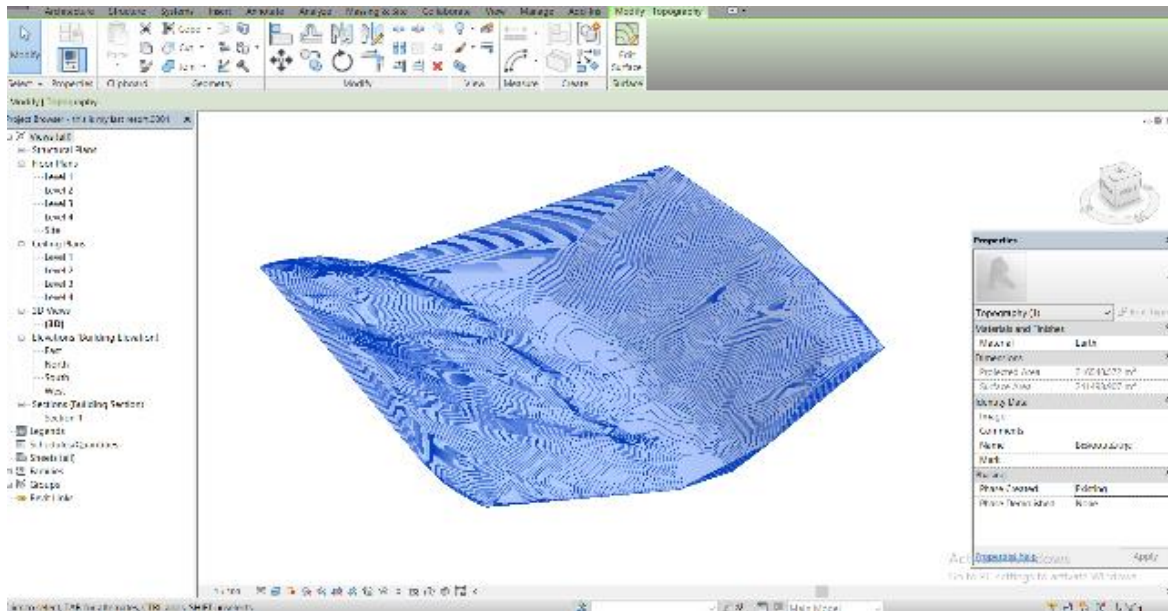
Εικόνα 1 Αριστερά: Όψη του φράγματος από τα Κατάντη. Δεξιά: Όψη του φράγματος από τα ανάντη.

Αναλυτικά, η κατασκευή διακρίνεται σε βασικά δομικά στοιχεία που την απαρτίζουν και τα οποία συγκροτούν και το 3-διάστατο ομοίωμα:

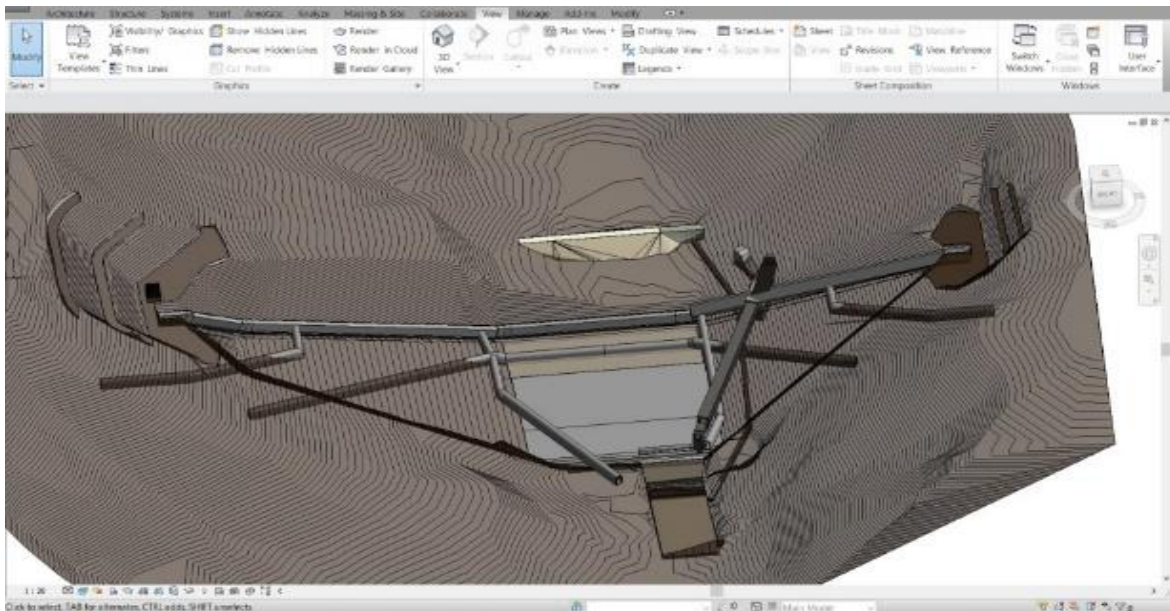
α) Αρχική επιφάνεια εδάφους (θέση του έργου όπως ήταν πριν την κατασκευή)

- β) Εκσκαφές για τη θεμελίωση του φράγματος
- γ) Έργα εκτροπής: πρόφραγμα και αγωγός εκτροπής
- δ) Σήραγγες και στοές αποστραγγίσεων και πλίνθος
- ε) Το σώμα του φράγματος από στρώσεις σκληρού επιχώματος και τα προκατασκευασμένα στοιχεία τύπου L για την προστασία της κατάντη παρειάς
- στ) Το σύστημα υπερχειλίσης: βαθμιδωτός μετωπικός υπερχειλιστής, σώμα υπερχειλιστή τύπου OGEE και λεκάνη ηρεμίας
- ζ) Πύργος υδροληψίας και στοά υδροληψίας
- η) Έργο εισόδου και εξόδου εκκένωσης, στοά εκκένωσης
- θ) Μανδύας στεγανότητας ανάντη παρειάς από πλάκα σκυροδέματος
- ι) Έργα στέγης: τοίχος αντιστήριξης, κράσπεδο και στρώση κυκλοφορίας, στηθαίο, κιγκλιδώματα, φωτισμός
- ια) Φυλάκιο (χωρίς αναφορά στο επιλεγμένο LOD).

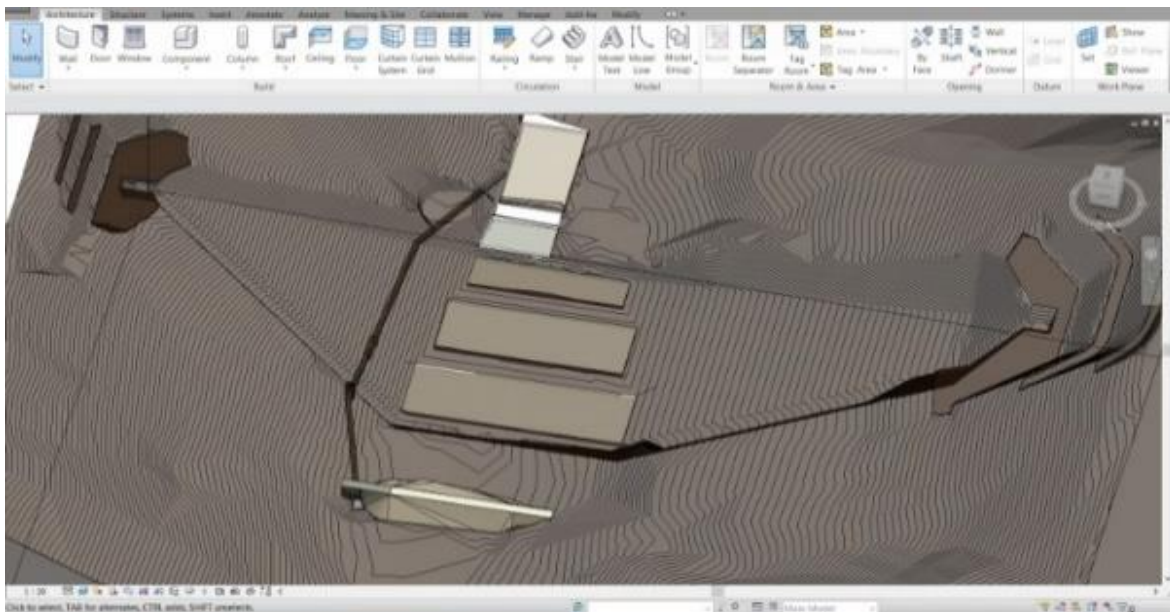
Στις Εικόνες 2 έως 7 φαίνονται τα διάφορα στοιχεία του μοντέλου και έργα του φράγματος.



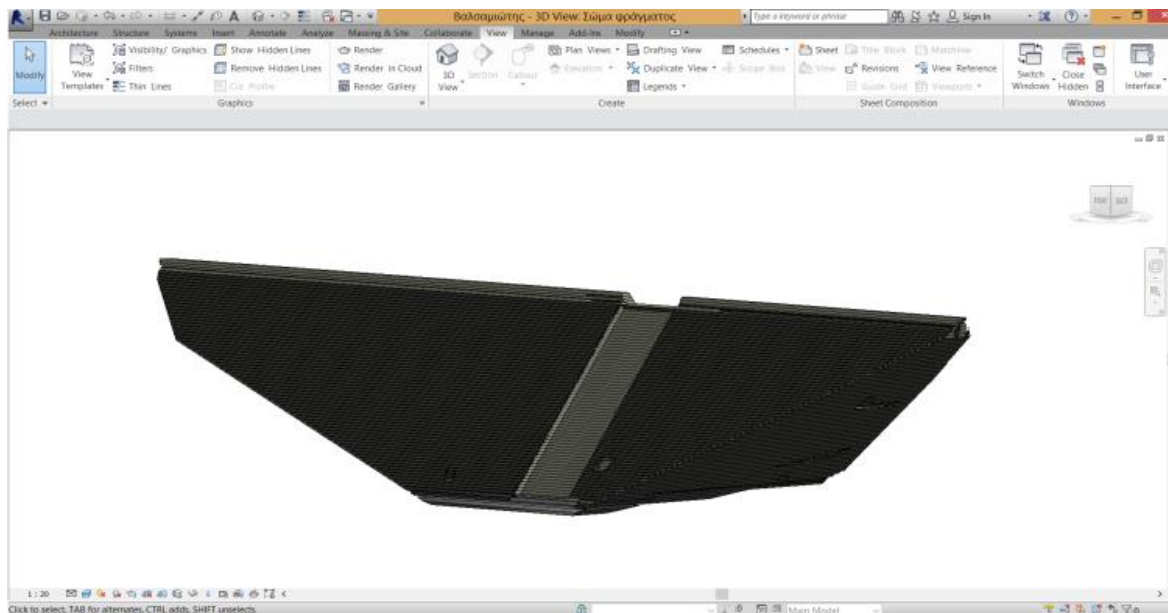
Εικόνα 2 Αρχική Επιφάνεια Εδάφους



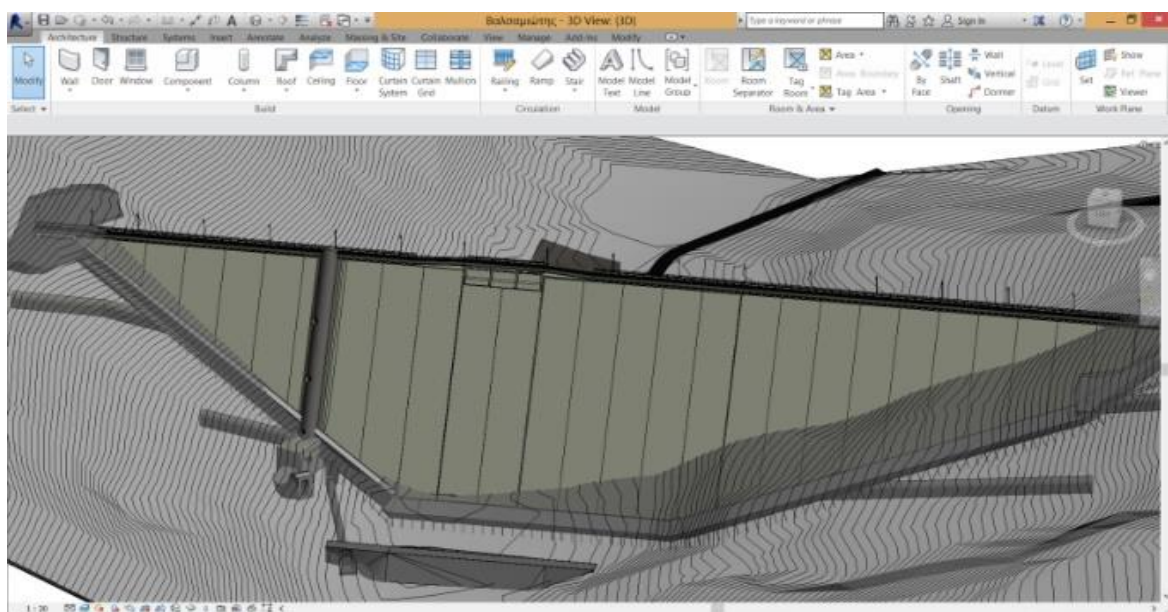
Εικόνα 3 Εκσκαφές θεμελίωσης και έργα εκτροπής



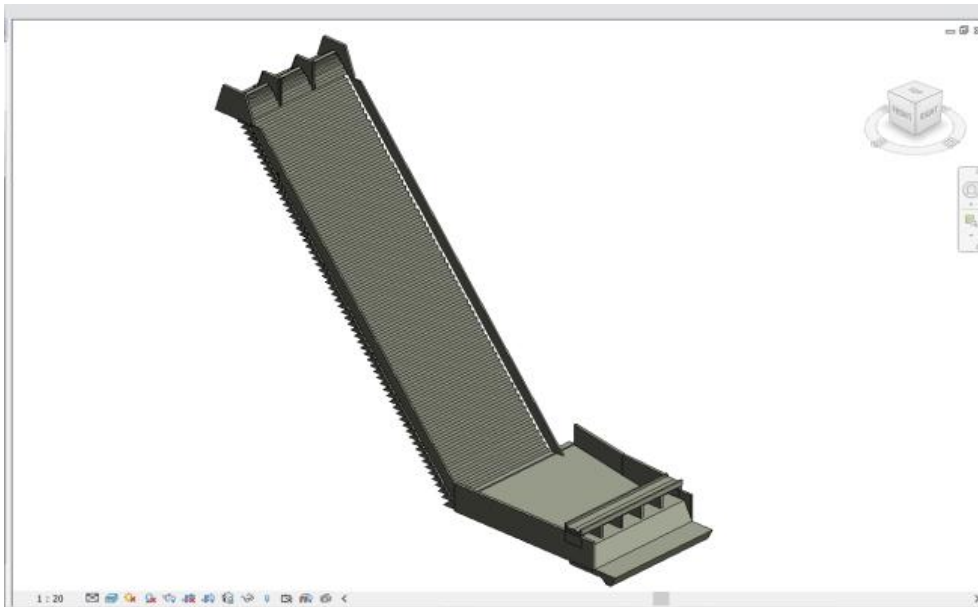
Εικόνα 4 Σήραγγες και στοές αποστράγγισης, στοά τιμμεντενέσεων, στοά εκκένωσης και υδροληψίας.



Εικόνα 5 Σώμα του φράγματος από στρώσεις σκληρού επιχώματος



Εικόνα 6 Μανδύας Στεγανότητας από λωρίδες Σκυροδέματος, Πύργος Υδροληψίας, Εργό Εισόδου Εκκένωσης



Εικόνα 7 Βαθμιδωτός Μετωπικός Υπερχειλιστής και Λεκάνη Ηρεμίας

Τα αντικείμενα μοντελοποιήθηκαν εκτός περιβάλλοντος του έργου (project) ως οικογένειες γενικευμένων μοντέλων (Generic Model Family). Έπειτα εισήχθησαν στο έργο. Για τις περιπτώσεις που απαιτούνται πολλά αντικείμενα παρεμφερούς γεωμετρίας, δημιουργήθηκαν παραμετρικές οικογένειες. Για παράδειγμα, οι στρώσεις Σκληρού Επιχώματος, μοντελοποιήθηκαν ως «πλάκες» 90 cm (αντιστοιχούν δηλαδή σε 3 στρώσεις Σκληρού Επιχώματος των 30 cm), των οποίων η γεωμετρία (μήκος, πλάτος, στάθμη) εξαρτώνται από παραμέτρους. Κατά την τοποθέτηση των αντικειμένων στο έργο ο χρήστης ορίζει τις τιμές των παραμέτρων αυτών. Η ίδια μέθοδος χρησιμοποιήθηκε και για άλλα αντικείμενα του έργου, όπως ο Μανδύας Στεγανότητας, ο Τοίχος Αντιστήριξης, το Κράσπεδο και το Σηθαίο της Στέψης. Τα αντικείμενα του φωτισμού και του κιγκλιδώματος ελήφθησαν από βιβλιοθήκες ελεύθερα διαθέσιμων αντικειμένων BIM.

Για τη μοντελοποίηση κάποιων αντικειμένων του μοντέλου χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Autodesk Civil 3D, τα εργαλεία του οποίου κρίθηκαν πιο κατάλληλα σε κάποιες περιπτώσεις. Το Civil 3D παρέχει χρήσιμα εργαλεία για τη μοντελοποίηση αντικειμένων τοπογραφίας με ακρίβεια. Έτσι η επιφάνεια εδάφους μοντελοποιήθηκε σε περιβάλλον Civil 3D και έπειτα εισήχθη στο Autodesk Revit. Ένα κομμάτι της οδοποιίας μοντελοποιήθηκε επίσης σε περιβάλλον Civil 3D, λόγω της ιδιαίτερης γεωμετρίας του.

Η συνεργασία μεταξύ των διαφορετικών λογισμικών, παρουσιάζει κάποιες δυσχέρειες, όπως είναι αναμενόμενο. Ωστόσο είναι προφανές πως για την μοντελοποίηση πληθώρας ειδικών στοιχείων και κατασκευών που συνήθως απαιτεί ένα έργο υποδομής όπως το φράγμα, η διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών εργαλείων BIM είναι απαραίτητη.

### 2.3.Χρονικός Προγραμματισμός του έργου

Μετά τη δημιουργία του Πληροφοριακού Μοντέλου του φράγματος, έγινε η σύνδεσή του με το Χρονοδιάγραμμα Κατασκευής. Η διαδικασία αυτή αναφέρεται ως BIM 4D, δηλαδή ο χρόνος θεωρείται ως η 4<sup>η</sup> διάσταση πληροφορίας στο μοντέλο.

Αρχικά δημιουργήθηκε η Δομή Ανάλυσης Εργασιών (Work Breakdown Structure), ένας κατάλογος δηλαδή των εργασιών για την κατασκευή του έργου, δομημένων σε δραστηριότητες και υποδραστηριότητες. 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 Π.Μ.Κ. και τη διευκόλυνση της ψηφιοποίησης.

Έπειτα καταρτίστηκε το Χρονοδιάγραμμα Εργασιών του έργου, με βάση διαθέσιμα σχετικά δεδομένα από τις φάσεις κατασκευής και μελέτης του φράγματος Βαλσαμιάτη, αλλά και κάνοντας εύλογες υποθέσεις όπου απαιτούνταν. Το Χρονοδιάγραμμα αναπτύχθηκε σε περιβάλλον Microsoft Project.

Τέλος για να συνδεθεί η πληροφορία που αφορά το χρόνο με το Πληροφοριακό Μοντέλο, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Autodesk Navisworks, ένα ακόμη λογισμικό BIM. Το μοντέλο εισήχθη στο Navisworks, και το αρχείο MS Project που περιέχει το Χρονοδιάγραμμα συνδέθηκε δυναμικά με το Μοντέλο στο Navisworks. Χρησιμοποιώντας το εργαλείο TimeLiner του Navisworks, η κάθε δραστηριότητα του χρονοδιαγράμματος αντιστοιχήθηκε με ένα ή περισσότερα αντικείμενα του μοντέλου. Έτσι δημιουργήθηκε η Προσομοίωση Κατασκευής. Το Navisworks, επιτρέπει στο χρήστη να δημιουργεί προσομοιώσεις κατασκευής, δηλαδή να παρακολουθεί την εικονική κατασκευή του έργου σύμφωνα με το Χρονοδιάγραμμα που έχει εισάγει. Το αποτέλεσμα της εφαρμογής της προσομοίωσης κατασκευής είναι ιδιαίτερος 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.

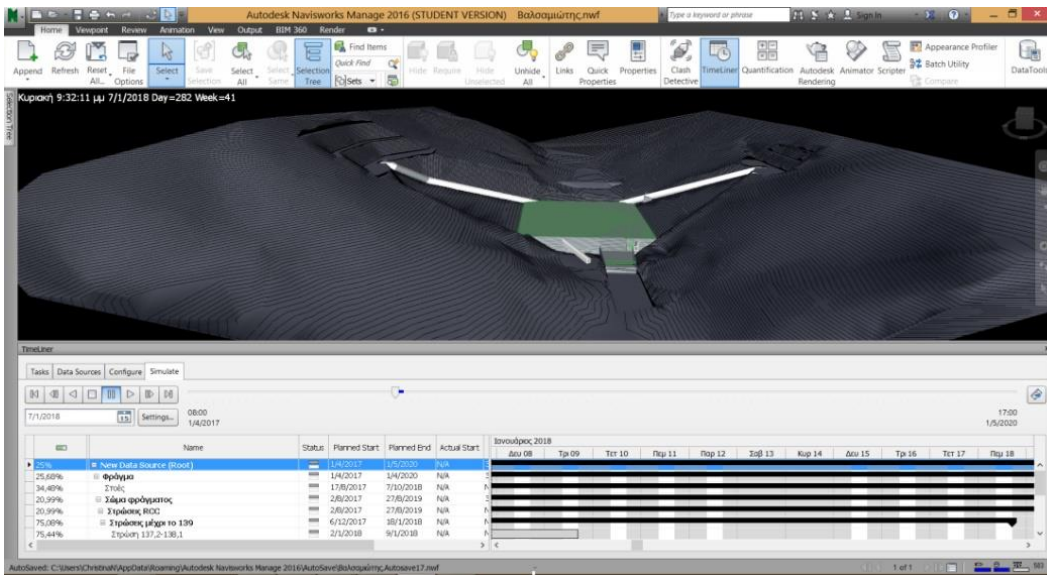
Στην Εικόνα 8 Στιγμιότυπο από την προσομοίωση κατασκευής. Ποσοστό ολοκλήρωσης: 25%



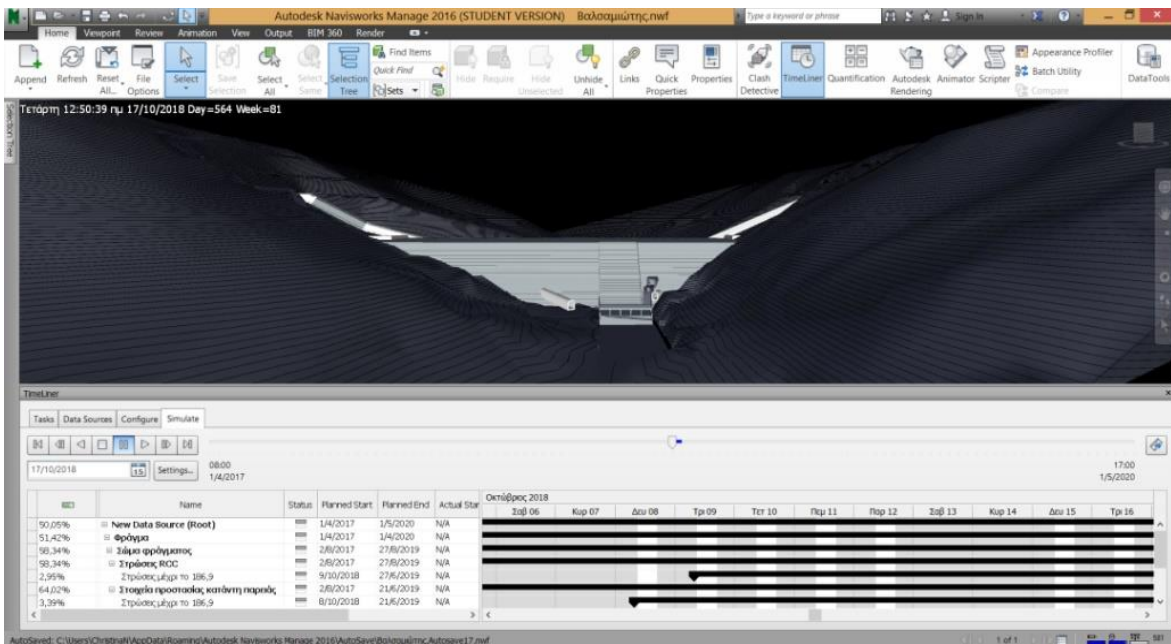
και

Εικόνα φαίνονται στιγμιότυπα από την προσομοίωση κατασκευής σε διαφορετικά στάδια της κατασκευής.





Εικόνα 8 Στιγμιότυπο από την προσομοίωση κατασκευής. Ποσοστό ολοκλήρωσης: 25%



Εικόνα 9 Στιγμιότυπο από την προσομοίωση κατασκευής. Ποσοστό ολοκλήρωσης: 50%

## 2.4.Εξαγωγή στοιχείων προμέτρησης από το Πληροφοριακό Μοντέλο Έργου

Κατά τη συνήθη σύμβαση, η συσχέτιση του μοντέλου με δεδομένα κόστους, αποτελεί την 5<sup>η</sup> διάσταση πληροφορίας που περιέχεται σε ένα μοντέλο BIM. Στην παρούσα εργασία, στα πλαίσια της εφαρμογής κάποιων τεχνολογιών BIM 5D, έγινε εξαγωγή πληροφορίας που αφορά την ποσότητα και κάποια υλικά, από το Πληροφοριακό Μοντέλο του έργου. Έγιναν δηλαδή, ενδεικτικά και για διερευνητικούς λόγους, τα απαραίτητα βήματα για την Προμέτρηση του φράγματος.

Χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο Quantification του Navisworks. Δημιουργήθηκε αρχικά το Item Catalog σε ειδική φόρμα (Excel Catalog Template Tool). Στο πεδίο Item Catalog ο χρήστης μπορεί να οργανώσει τα αντικείμενα και τις εργασίες που θέλει να συμπεριλάβει στην προμέτρηση, με οποιαδήποτε επιθυμητή ομαδοποίηση. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, χρησιμοποιήθηκε απλοποιημένη μορφή του καταλόγου αντικειμένων που είχε αναπτυχθεί για τον χρονικό προγραμματισμό του έργου, δηλαδή το WBS, καθώς και κατάλογος υλικών – εργασιών, στη βασική γραμμή των ομάδων και εργασιών του προϋπολογισμού μελέτης, ο οποίος εισήχθη στο πρόγραμμα στο πεδίο Resource. Δημιουργήθηκε κατάλογος όλων των βασικών υλικών, που αποτελούν και σημαντικό τμήμα του συνολικού κόστους του έργου.

Στη συνέχεια οργανώνεται το πεδίο Quantification Workbook. Εδώ τα αντικείμενα του μοντέλου αντιστοιχίζονται με τα αντικείμενα (ή εργασίες) του Item Catalog, και με τα υλικά (υπηρεσίες, εργασίες) του Resource Catalog. Συγκεντρώνεται δηλαδή και δομείται όλη η πληροφορία. Το εργαλείο Quantification παρέχει τη δυνατότητα να εισαχθεί και η παράμετρος του κόστους, κάτι που δεν έγινε στην παρούσα εργασία. Ωστόσο με την προσθήκη τιμών μονάδας για κάθε υλικό ή υπηρεσία θα μπορούσε εύκολα η προμετρική πληροφορία που εξήχθη να μετατραπεί σε Προϋπολογισμό του έργου.

Στην Εικόνα 10 **Error! Reference source not found.** 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.

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 Επίπεδο (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		Ανάσχυο Κορυφή 2	194,003	922,423	624,208	1,000 ea	624,208 m³
2.5.1.8		Ανάσχυο Κορυφή 2	116,984	493,244	319,391	1,000 ea	319,391 m³
2.5.1.9		Ανάσχυο Κάτω	90,572	8.809,666	7.510,909	1,000 ea	7.510,909 m³
2.5.1.10		Ανάσχυο Κάτω	95,270	9.129,716	7.760,639	1,000 ea	7.760,639 m³
2.5.1.11		Ανάσχυο Κάτω	85,874	8.481,001	7.328,868	1,000 ea	7.328,868 m³
2.5.1.12		Ανάσχυο Κάτω	99,968	9.822,949	7.967,592	1,000 ea	7.967,592 m³
2.5.1.13		Ανάσχυο Κάτω	104,666	10.162,288	8.423,569	1,000 ea	8.423,569 m³
2.5.1.14		Ανάσχυο Κάτω	109,364	10.549,905	8.773,537	1,000 ea	8.773,537 m³
2.5.1.15		Ανάσχυο Κάτω	114,062	10.646,387	9.090,159	1,000 ea	9.090,159 m³
2.5.1.16		Ανάσχυο Κάτω	118,760	10.864,413	9.452,913	1,000 ea	9.452,913 m³
2.5.1.17		Ανάσχυο Κάτω	123,458	11.062,835	9.506,191	1,000 ea	9.506,191 m³
2.5.1.18		Ανάσχυο Κάτω	128,156	11.306,907	9.702,129	1,000 ea	9.702,129 m³
2.5.1.19		Ανάσχυο Κάτω	151,646	12.185,696	10.422,602	1,000 ea	10.422,602 m³

### 3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εφαρμογή τεχνολογιών BIM συνεπάγεται δραστικές αλλαγές στον τρόπο εργασίας του κατασκευαστικού κλάδου. Οι αλλαγές αυτές αφορούν τόσο τη στρατηγική και τη μέθοδο οργάνωσης και εργασίας, όσο και τα τεχνολογικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται.

Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας μείωσης της αποδοτικότητας της εργασίας στο συνολικό κύκλο ανάπτυξης και λειτουργία των τεχνικών έργων είναι η αντικειμενική δυσκολία συντονισμού μεταξύ των πολλών και πολυπληθών ομάδων, καθώς και ο τρόπος ανταλλαγής της πληροφορίας. 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 ενιαίο σύστημα αναφοράς. Επιπλέον, 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), ενώ παράλληλα διευκολύνεται η διαδικασία λειτουργίας και διαχείρισης των εγκαταστάσεων μετά το πέρας της κατασκευής.

Στα πλαίσια της τεχνολογίας BIM έχουν αναπτυχθεί πολλά χρήσιμα τεχνολογικά εργαλεία που επιτρέπουν την αυτοματοποίηση του σχεδιασμού και του προγραμματισμού του έργου και μειώνουν τα λάθη και τις χρονοβόρες επαναλαμβανόμενες διαδικασίες όπως η εκτίμηση κόστους για διαφορετικά σενάρια. Λόγω του παραμετρικού σχεδιασμού που υποστηρίζεται από τα τεχνολογικά εργαλεία BIM, αυτοματοποιείται η ενσωμάτωση της αλλαγής αυτομάτως σε ολόκληρο το μοντέλο. Τέλος 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. Η λειτουργία αυτή, που δεν ερευνήθηκε στην παρούσα εργασία, αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά προτερήματα του BIM και αναφέρεται ως έλεγχος συγκρούσεων (clash detection).

Η εφαρμογή τεχνολογιών BIM σε μεγάλα έργα υποδομής και ειδικά σε φράγματα έχει πλεονεκτήματα που σχετίζονται με τα ειδικά χαρακτηριστικά αυτών των κατασκευών. Κάθε φράγμα είναι ένα πολύ ξεχωριστό και σύνθετο έργο, οι ιδιαιτερότητες που παρουσιάζει είναι πολλές φορές απρόβλεπτες και απαιτούν εξειδικευμένες λύσεις. Ο σχεδιασμός και η κατασκευή ενός φράγματος προϋποθέτει την συνεργασία πολλών συντελεστών, που αναλαμβάνουν διαφορετικές υποομάδες εργασιών. Η ψηφιακή προκατασκευή, και το αυξημένο επίπεδο συνεργασίας λοιπόν, παρέχει το προνόμιο της πλήρους αντίληψης του έργου, ενώ η οπτικοποίηση του έργου αποκαλύπτει προβλήματα που σε διαφορετική περίπτωση θα γινόντουσαν αντιληπτά στο εργοτάξιο.

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 εφόδια 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.

Τα προηγμένα εργαλεία χρονικού προγραμματισμού, αποκτούν ιδιαίτερη σημασία σε ένα έργο σύνθετο, η κατασκευή του οποίου απαιτεί πολλές διαφορετικές δραστηριότητες που συχνά πραγματοποιούνται παράλληλα στο εργοτάξιο. Ειδικά στα φράγματα από σκληρό επίχωμα, η ταχύτητα

της κατασκευής είναι πολύ σημαντική, καθότι αποτελεί βασικό πλεονέκτημα και κριτήριο επιλογής αυτού του τύπου φράγματος.

Τέλος η χρήση BIM ως εργαλείο βιώσιμης ανάπτυξης και λειτουργίας, μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής (αναφέρεται και ως η 6<sup>η</sup> διάσταση του BIM) βρίσκει ευρύ πεδίο εφαρμογής, αφού 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 για την εξασφάλιση της λειτουργικότητας και της ασφάλειάς τους.

Παρά τα αδιαμφισβήτητα πλεονεκτήματά του, η εφαρμογή του BIM στην πράξη παρουσιάζει σημαντικές προκλήσεις και δυσκολίες. Η μετάβαση από την παραδοσιακή μέθοδο εργασίας στην χρήση τεχνολογιών BIM είναι 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 απαιτούν μεγάλο χρονικό διάστημα εκμάθησης και πρακτικής εξάσκησης πριν από την επαγγελματική χρήση {6}.

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 σε κεντρικό επίπεδο κυβερνητικά προγράμματα προώθησης και στήριξης της εφαρμογής της τεχνολογίας, πέρα από την ιδιωτική πρωτοβουλία που τείνει να παρακολουθεί τις τεχνολογικές εξελίξεις {7}, {8}.

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. Έτσι, για την πλέον προσοδοφόρα εφαρμογή του Π.Μ.Κ., 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. Αν και τελικά το αρχικό κόστος αναμένεται να αποσβεσθεί γρήγορα και με μεγάλα περιθώρια, αυτός είναι άλλος ένας παράγοντας αμηχανίας του τεχνικού κλάδου μπροστά στη μετάβαση {6}.

Τέλος υπάρχουν και άλλα κωλύματα, που σχετίζονται με τον τρόπο που υλοποιούνται τα δημόσια έργα, τόσο στην Ελλάδα, όσο και σε άλλες χώρες, αλλά και νομικά ζητήματα. Σε κάθε περίπτωση, θεωρούμε ότι κανένα από τα υφιστάμενα εμπόδια δεν φαίνεται ικανά να αναχαιτίσουν την σταθερή διάδοση και εξέλιξη της τεχνολογίας BIM, καθώς και την σταδιακή εδραίωσή τους στον κλάδο των τεχνικών έργων και σε όλα τα στάδια ανάπτυξης και λειτουργίας τους.

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- 1 Νασίκα, Χ. 2016. Εφαρμογή τεχνολογιών Πληροφοριακού Μοντέλου Έργου (για την κατασκευή φράγματος από σκληρό επίχωμα).
- 2 Συμβατικά Τεύχη Φράγματος Βαλσαμιώτη, Σχέδια Μελέτης, Τεχνική Περιγραφή, Προϋπολογισμός.
- 3 BIMFORUM. 2013. Level of Development Specification. Version 2013.
- 4 British Standards Institution & BuildingSMART UK. 2010. Constructing the Building Case. Building Information Modeling. British Standards Institution 2010.

- 5 Eastman, C., Teicholz, P., Sachs, R. and Liston, K.. 2008. BIM HANDBOOK. A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and contractors. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken.
- 6 National BIM Standards, NBS. 2016. NBS International BIM Report 2016, RIBA Enterprises Ltd.
- 7 Wong, A. K.D., Wong, F. K.W., Nadeem, A. 2011. Comparative roles of major stakeholders for the implementation of BIM in various countries, Department of Building and Real Estate, The Hong Kong Polytechnic University.
- 8 Smith, P., Dr.. 2014. BIM implementation-global strategies, Creative Construction Conference.
- 9 HM GOVERNMENT. 2015. Digital Built Britain. Level 3 Building Information Modeling-Strategic Plan.