



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΠΜΣ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ ΧΡΗΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ BIM ΣΤΗΝ
ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ - ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ
ΝΑΟ ΤΟΥ ΗΦΑΙΣΤΟΥ



ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΠΟΤΣΙΟΥ ΧΡΥΣΗ

ΦΟΙΤΗΤΗΣ : ΚΑΣΚΑΜΠΑΣ Ε.ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΑΘΗΝΑ ΜΑΡΤΙΟΣ 2015

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....		3
2. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΑ BIM		4
2.1. Τι είναι τα BIM.....		4
2.2. Ιστορική εξέλιξη.....		6
2.3. Χρήση των BIM σε μνημεία (HBIM)		7
2.4 Αξιόλογες Εφαρμογές HBIM.....		8
3. ΗΦΑΙΣΤΕΙΟ		9
4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ.....		11
4.1 Μεθοδοι κατασκευής ενός HBIM.....		11
4.2. Κατασκευή μοντέλου.....		13
4.2.1.Υλικά		13
4.2.2. Κρηπίδα		14
4.2.2 Κίονες-σπόνδυλοι		15
4.2.3. Κιονόκρανα		16
4.2.4. Θριγκός.....		17
4.2.5. Αέτωμα		19
4.2.6. Εσωτερικό μνημείου		21
4.2.7. Ναός Αγ. Γεωργίου		21
4.3. Εισαγωγή πληροφοριών για αποκατάσταση.....		26
4.3.1. Εισαγωγή Decals.....		26
4.3.2 Δημιουργία Schedules		27
4.4. Phasing		32
4.5 Δυσκολίες και προβληματισμοί.....		35
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....		36
6. ΑΝΑΦΟΡΕΣ		38

ΠΕΡΙΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

- Εικόνα 1. Ενσωμάτωση διαφόρων ειδών δεδομένων σε BIM
- Εικόνα 2. Φωτογραφία και Θέση Ηφαιστείου στην Αρχαία Αγορά Αθηνών
- Εικόνα 3. Κάτοψη Ηφαιστείου 460-450 π.χ
- Εικόνα 4. Κάτοψη Αγ. Γεωργίου
- Εικόνα 5. Μεθοδολογία δημιουργίας ενός BIM
- Εικόνα 6. Υλικά : πεντελικό μάρμαρο, παριανό, ασβεστόλιθος
- Εικόνα 7. Κρηπίδα
- Εικόνα 8. Κατασκευή σπόνδουλου από AutoCAD σε Revit
- Εικόνα 9. Τρισδιάστατο και όψη κιονόκρανου
- Εικόνα 10. Τρισδιάστατα και όψη κίονα
- Εικόνα 11. Παραλλαγές επιστυλίων
- Εικόνα 12. Ταινία με κανόνα και σταγόνες
- Εικόνα 13. Τρίγλυφα και μετόπες
- Εικόνα 14. Οριζόντια γείσα με προμόχθους
- Εικόνα 15. Φατνωματική πλάκα ανατολικού πτερού
- Εικόνα 16. Προφίλ αετώματος, στέγη και ξύλινη οροφή
- Εικόνα 17. Εσωτερικοί κίονες ναού του Ηφαίστου
- Εικόνα 18. Σχέδια Ναού Αγ.Γεωργίου
- Εικόνα 19. Επεκτάσεις Ναού Αγ.Γεωργίου
- Εικόνα 20. Προοπτικό Β-Δ του Ναού
- Εικόνα 21. Προοπτικό Β-Α και Ν-Α του Ναού
- Εικόνα 22. Δυτική και Νότια όψη Ναού του Ηφαίστου
- Εικόνα 23. Παραστάσεις στην εσωτερική Ανατολική μετόπη
- Εικόνα 24. Παραστάσεις στην εξωτερική Ανατολική μετόπη
- Εικόνα 25. Απάντηση ερωτήματος μερών κίωνων
- Εικόνα 26. Απάντηση ερωτήματος τρίγλυφων σε καλή κατάσταση
- Εικόνα 27. Πεδίο Yes/No σχετικά με φθορές από πυρκαγιά
- Εικόνα 28. Σύνδεση με εξωτερικά αρχεία
- Εικόνα 29. Κατόψεις τριών εποχών 460/450, 5ος αι.-1832, σήμερα
- Εικόνα 30. Προσθήκες και τροποποιήσεις από την πρώτη εποχή στην δεύτερη και από την δεύτερη στην τρίτη

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο τα συστήματα BIM στον τομέα της αρχιτεκτονικής, της μηχανικής και των κατασκευών. Είναι συστήματα τα οποία ξεφεύγουν από την λογική των CAD και αφορούν τόσο στο στάδιο της προμελέτης και της κατασκευής όσο και στην παρακολούθηση της ζωής ενός κτιρίου ή μιας εγκατάστασης. Παράλληλα διερευνώνται οι δυνατότητες για ένταξη τέτοιων συστημάτων στον τομέα της καταγραφής και διατήρησης πολιτιστικής κληρονομιάς. Η παρούσα εργασία έχει σαν σκοπό την δημιουργία ενός BIM για τον Ναό του Ηφαίστου στην Αρχαία αγορά των Αθηνών και την διερεύνηση των δυνατοτήτων και της χρησιμότητας ενός τέτοιου συστήματος στην τεκμηρίωση του μνημείου.

Στο δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται αρχικά αναφορά σε γενικά στοιχεία για τα BIM, της δομής τους και της διαφορετικής φιλοσοφίας που έχουν, ενώ ακολούθως δίδονται δύο ορισμοί για τα BIM. Στην συνέχεια μελετάται η ιστορική εξέλιξη τους και γίνεται αναφορά στα Historical BIM (HBIM), που αποτελούν BIM που κατασκευάζονται για την μελέτη πολιτιστικής κληρονομιάς. Στο τέλος του κεφαλαίου γίνεται μια αναφορά σε μερικές αξιολογες εφαρμογές στα HBIM.

Στο Τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται το αντικείμενο της μελέτης, ο Ναός του Ηφαίστου στην Αρχαία Αγορά των Αθηνών. Αναλύονται τα τυπολογικά χαρακτηριστικά του ναού καθώς και οι τροποποιήσεις που υπέστη σε διαδοχικές χρονικές εποχές.

Το τέταρτο κεφάλαιο περιλαμβάνει την εφαρμογή. Αρχικά περιγράφονται συνοπτικά οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ενός BIM, επιλέγεται το σύστημα στο οποίο θα δημιουργηθεί το BIM και στην συνέχεια αναλύονται τα μέρη του ναού που μοντελοποιήθηκαν ώστε να προκύψει το μοντέλο. Στο επόμενο στάδιο γίνεται αναφορά στις δυνατότητες για τα είδη των πληροφοριών που μπορούν να εισαχθούν στο σύστημα, ενώ στο τέλος παρουσιάζεται η δυνατότητα της παρακολούθησης της χρονολογικής εξέλιξης του ναού (phasing) και μερικές δυσκολίες και προβληματισμοί.

Το πέμπτο κεφάλαιο περιλαμβάνει τα συμπεράσματα της εργασίας και τις προοπτικές που υπάρχουν για την χρήση ενός τέτοιου συστήματος BIM στην τεκμηρίωση ενός μνημείου.

2. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΑ BIM

2.1. Τι είναι τα BIM

Τα μοντέλα πληροφοριών κτισμάτων ή αλλιώς BIM (Building Information Models) είναι μια από τις πιο υποσχόμενες εξελίξεις στον τομέα της αρχιτεκτονικής της μηχανικής και της βιομηχανίας των κατασκευών. Μέσα από τα BIM, κατασκευάζονται ένα η περισσότερα ακριβή εικονικά ψηφιακά μοντέλα ενός κτιρίου, υποστηρίζοντας τον σχεδιασμό μέσα από τις διάφορες φάσεις της κατασκευής δημιουργώντας προϋποθέσεις για καλύτερη ανάλυση και έλεγχο απ' ότι η χειροκίνητη διαδικασία. Με την ολοκλήρωση του BIM, τα παραγόμενα ψηφιακά μοντέλα περιέχουν ακριβή γεωμετρία και δεδομένα χρήσιμα για το στάδιο της κατασκευής. *(BIM Handbook)*

Στην συνέχεια παρατίθενται δύο ορισμοί των BIM ώστε να προκύψει μια καλύτερη αντίληψη του τι ορίζεται σαν BIM.

Σύμφωνα με τον ορισμό της US National Building Information Model Standard Project Committee το BIM είναι μια ψηφιακή αναπαράσταση των φυσικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών μιας εγκατάστασης. Αποτελεί μια πηγή πληροφοριών για ένα κτίριο ή μια εγκατάσταση δημιουργώντας μια αξιόπιστη βάση για την λήψη αποφάσεων σχετικά με τον κύκλο ζωής της εγκατάστασης ξεκινώντας από την σύλληψη της ιδέας για την κατασκευή μέχρι την καθαίρεσή της.

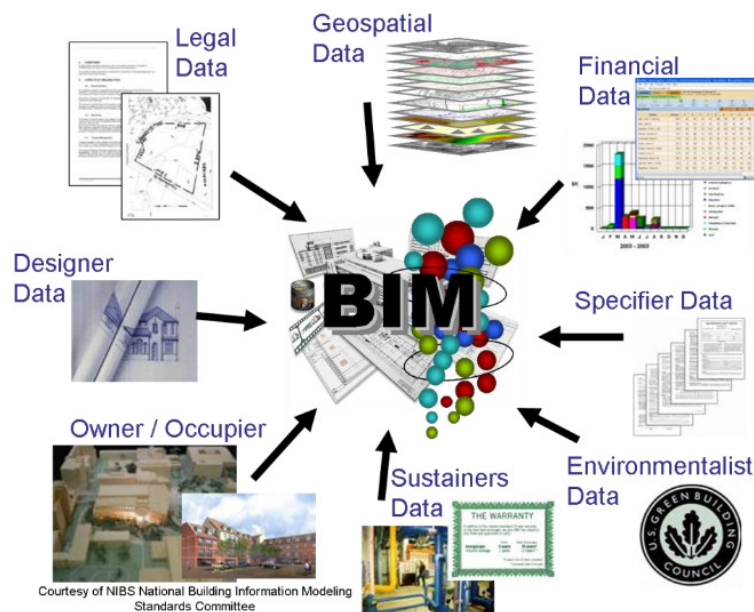
Σύμφωνα με τον ορισμό από την ACG 2005, το BIM είναι μια πλούσια σε δεδομένα, αντικειμενοστραφής, έξυπνη και παραμετρική ψηφιακή αναπαράσταση μιας εγκατάστασης από την οποία μπορούν να εξαχθούν και να αναλυθούν δεδομένα προκειμένου να παραχθούν πληροφορίες που θα χρησιμοποιηθούν ώστε να ληφθούν αποφάσεις και να βελτιστοποιήσουν την διαδικασία της παράδοσης του έργου.

Η ουσιαστική αλλαγή που έφεραν τα BIM δεν έχει να κάνει τόσο με την αλλαγή της τεχνολογίας αλλά με την αλλαγή της φιλοσοφίας. Η κάθε κατασκευή αποτελείται και απεικονίζεται μέσω ενός συνόλου "έξυπνων αντικειμένων" που φέρουν λεπτομερείς πληροφορίες για τον εαυτό τους καθώς και τις σχέσεις τους με τα άλλα αντικείμενα που αποτελούν το μοντέλο. Τα παραπάνω έξυπνα αντικείμενα είναι παραμετρικά με συγκεκριμένες διαστάσεις, ιδιότητες και περιορισμούς. Η τροποποίηση των παραμέτρων των αντικειμένων μπορούν να δώσουν παραλλαγές στον τύπο του ίδιου αντικειμένου οι οποίες

υπακούουν και υιοθετούν τις δεσμεύσεις και τα χαρακτηριστικά που έχει η οικογένειά τους.

Οι πληροφορίες που μπορούν να φέρουν τα αντικείμενα είναι γεωμετρικές ή μη γεωμετρικές με λειτουργικές, σημασιολογικές ή τοπολογικές πληροφορίες. Οι λειτουργικές πληροφορίες μπορούν να είναι η διάρκεια της ζωής μιας εγκατάστασης ή το κόστος εγκατάστασης, οι σημασιολογικές πληροφορίες μπορούν να είναι πληροφορίες σχετικές με την συνδεσιμότητα, την συσσωμάτωση, την συγκράτηση και την διασταύρωση ενώ οι τοπολογικές αφορούν την θέση του αντικειμένου, την γειτνίαση, την συνεπιπεδότητα ή την καθετότητα. Απο τις παραπάνω πληροφορίες μπορεί να μοντελοποιηθεί ο χρόνος ζωής της κάθε κατασκευής διευκολύνοντας την διαδικασία της απόφασης είτε πρόκειται για επεμβάσεις, νέες δυνατότητες σχεδιασμού ή άλλες αλλαγές στην χρήση του κτιρίου.

Μια σημαντική παράμετρος που περιλαμβάνουν τα BIM είναι η υποστήριξη μιας καταναμημένης ομάδας ώστε όλες οι ειδικότητες, τα εργαλεία και οι υποχρεώσεις να μοιράζονται αποτελεσματικά στα διάφορα μέρη εξαλείφοντας τον πλεονασμό δεδομένων και την επανεισαγωγή δεδομένων και διασφαλίζοντας την καλή επικοινωνία και την εξάλειψη λαθών. Ακόμα με τα BIM δόθηκε η δυνατότητα για μετάβαση από τα 2-Δ μοντέλα και τα 3-Δ μοντέλα στα n-D μοντέλα με τέταρτη διάσταση τον χρόνο και πέμπτη διάσταση το κόστος.



Εικόνα 1. Ενσωμάτωση διαφόρων ειδών δεδομένων σε BIM

Η χρήση ενός συστήματος BIM ειδικά για νέες κατασκευές παρουσιάζει πολλά προτερήματα τόσο στην φάση του σχεδιασμού και της κατασκευής όσο και κατά την διάρκεια της ζωής της κατασκευής.

Αρχικά κατά την φάση του σχεδιασμού, είναι δυνατή η παράλληλη εργασία των διαφόρων ειδικοτήτων των μηχανικών (μηχανολόγος, στατικός, αρχιτέκτονας) σε ένα μοντέλο επιταχύνοντας τις διαδικασίες και μειώνοντας λάθη κατά την μεταφορά δεδομένων. Το μοντέλο αυτό αποτελούμενο από παραμετροποιησιμα αντικείμενα δίνει την δυνατότητα με την αλλαγή των παραμέτρων της αυτόματης ενημέρωσης όλων των σχεδίων, των αναφορών και των χρονοδιαγραμμάτων διευκολύνοντας την λήψη αποφάσεων όταν χρειαστεί. Επιπροσθέτως το τρισδιάστατο μοντέλο είναι εύκολα κατανοητό από κάποιο μη ειδικό. Επειδή το μοντέλο δεν περιέχει απλά γραφικά αλλά και πληροφορίες σχετικές με υλικά και κόστη διευκολύνει τον εργολάβο κατά το στάδιο της κατασκευής στον έλεγχο της προόδου αλλά και του κόστους του έργου ενώ η ανάλυση των δεδομένων δίνει αποτελέσματα σχετικά με την ενεργειακή συμπεριφορά που έχει το κτίριο μετά την κατασκευή. Ένα άλλο σημαντικό προτέρημα που εμφανίζουν τα BIM είναι η παρακολούθηση της ζωής του κτιρίου. Υπάρχει έλεγχος για την θέση και τα χαρακτηριστικά κάθε αντικειμένου, διευκολύνοντας πιθανές επιδιορθώσεις και εντοπισμό βλαβών.

Σήμερα η διάδοση των BIM είναι ευρεία, με χαρακτηριστικά παραδείγματα την ανάπτυξη της National BIM Library (NBL) στο Ηνωμένο Βασίλειο που αποτελεί κοινή ανοικτή βιβλιοθήκη παραμετρικών αντικειμένων, μέσω της οποίας διασφαλίζεται μια κοινή προσέγγιση σχετικά με τα πρότυπα της βιομηχανίας των κατασκευών. Ακόμα στην Ιταλία με την δημιουργία της INNOVance δημιουργείται μια αντίστοιχη βάση δεδομένων που αφορά στον κατασκευαστικό κλάδο της Ιταλίας με την ολοκλήρωση της οποίας θα διασφαλιστεί ενιαία και προτυποποιημένη αντιμετώπιση από τους κατασκευαστές διασφαλίζοντας την ποιότητα των έργων.

2.2. Ιστορική εξέλιξη

Μια πλήρης αναφορά στην ιστορική εξέλιξη των BIM δίδεται από το Άρθρο του Michael S.Bergin δημοσιευμένο στο architectureresearchlab από το οποίο προκύπτουν και οι παρακάτω πληροφορίες.

Η ιστορική αρχή των BIM τοποθετείται περίπου στο 1962 οπότε ο Douglas Engelbart αναφέρεται ουσιαστικά σε ένα αντικειμενοστραφή

παραμετρικό σχεδιασμό συνδεδεμένο με μια βάση δεδομένων. Μεταξύ του 1970-1980 εμφανίστηκαν τα προγράμματα μοντελοποίησης στερεών που χρησιμοποιούσαν μια από τις δύο μεθόδους CGS (constructive solid geometry) και B-REP (boundary representation) καθώς και τα προγράμματα CAD (computer aided design). Παράλληλα ο Charles Eastman, δημιούργησε το BDS (Building Description System) το οποίο είναι το πρώτο λογισμικό που περιέχει βιβλιοθήκη από επιμέρους στοιχεία του κτιρίου σε μια βάση δεδομένων, τα οποία μπορούν να προστεθούν και να αφαιρεθούν από το μοντέλο. Στην αρχή της δεκαετίας του 1980 δημιουργήθηκαν στην Αγγλία αρκετά λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν στις κατασκευές όπως είναι το GDS, EdCAAD, Cedar, RUCAPS κ.α. Ωστόσο η μορφή των BIM όπως είναι γνωστή σήμερα, δόθηκε από τους Leonid Raiz και Gabor Bojar, οι οποίοι χρησιμοποιώντας μια τεχνολογία παρόμοια με αυτή του (BDS) δημιούργησαν το 1984 το λογισμικό Radar CH για λειτουργικό σύστημα Apple, το οποίο είναι ο προκάτοχος του ArchiCAD της Graphisoft, του πρώτου λογισμικού BIM που χρησιμοποιήθηκε σε P.C. Το 2000 αναπτύχθηκε το λογισμικό Revit από τους Leonid Raiz, Irwin Jungreis και David Conant το οποίο είναι το πρώτο λογισμικό που επιτρέπει την εισαγωγή της παραμέτρου του χρόνου κατασκευής σε ένα μοντέλο δημιουργώντας την τέταρτη διάσταση του μοντέλου και επιτρέποντας την δημιουργία προγραμμάτων χρονικής εξέλιξης εργασιών. Τα τελευταία χρόνια η κατεύθυνση για σύνθεση των αρχιτεκτονικών, μηχανολογικών και στατικών σε ένα σύστημα δημιούργησε την ανάγκη για τον ορισμό του IFC (international Foundation Class) το οποίο είναι ένα πρότυπο αρχείου που εξυπηρετεί την διαλειτουργικότητα και την ανταλλαγή δεδομένων προερχόμενων από διαφορετικά λογισμικά BIM.

2.3. Χρήση των BIM σε μνημεία (HBIM)

Αν και τα BIM έχουν αναπτυχθεί κυρίως για χρήση στην βιομηχανία των νέων κατασκευών, η φιλοσοφία πάνω στην οποία στηρίζονται δίνει την δυνατότητα για χρήση σε υφιστάμενα κτίρια. Η απάντηση για το αν ένα τέτοιο σύστημα BIM μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε θέματα πολιτιστικής κληρονομιάς, όπου υπάρχει μια διαφορετική προσέγγιση και επιπρόσθετα είδη πληροφορίας, είναι ακόμα υπό διερεύνηση και αυτό συμβαίνει καθώς η τεκμηρίωση είναι μια σύνθετη διαδικασία.

Αρχικά στο στάδιο της αποτύπωσης συνήθως χρησιμοποιούνται υβριδικές προσεγγίσεις συνδυάζοντας πολλές διαφορετικές μεθόδους συλλογής δεδομένων. Στην συνέχεια, εκτός από τα ποσοτικά

χαρακτηριστικά που προκύπτουν από τις μετρήσεις, απαιτείται η ενσωμάτωση στο σύστημα και ποιοτικών χαρακτηριστικών όπως είναι φωτογραφίες, παλαιά σχέδια οι άλλες πληροφορίες.

Η συνήθης προσέγγιση είναι η δημιουργία παραμετρικών βιβλιοθηκών αντικειμένων βασισμένων σε ιστορικά αρχεία και η τοποθέτηση τους σε μοντέλο υπό την καθοδήγηση του νέφους σημείων. Ακόμα συνήθες είναι να χρησιμοποιούνται μαζί τα συστήματα BIM με ένα σύστημα 3D GIS, ώστε να χρησιμοποιείται το GIS στην χωρική ανάλυση και το BIM στην μοντελοποίηση και την διαχείριση των πληροφοριών της κατασκευής.

2.4 Αξιολογες Εφαρμογές HBIM

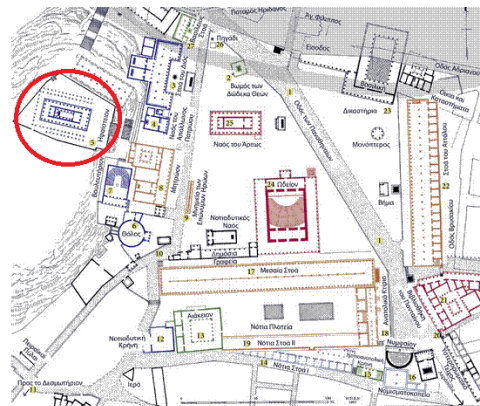
Διάφορες αξιολογες εφαρμογές έχουν δημοσιευθεί σχετικά με την χρήση των BIM στην τεκμηρίωση μνημείων. Ένα παράδειγμα είναι οι εργασίες του M.Murphy (2011 κ 2013) στις οποίες δημιουργεί παραμετρικά αντικείμενα για τα αρχιτεκτονικά στοιχεία, από τα κείμενα και τα σχέδια του Βιτρούβιου. Τα γεωμετρικά πρότυπα περιγράφονται σε γλώσσα GDL, και στην συνέχεια με χρήση των νεφών σημείων τοποθετούνται στο μοντέλο.

Μια άλλη αξιολογη εφαρμογή αποτελεί του Fai (2011) σχετικά με την περιοχή της Βαταβα, όπου δημιουργήθηκαν μοντέλα διαδοχικών εποχών της πόλης, βασισμένα σε αρχαιακά σχέδια με σκοπό την δημιουργία ενός ψηφιακού αρχείου παρακολούθησης της εξέλιξης της πόλης και επιπροσθέτως την διευκόλυνση του ελέγχου της ένταξης μελλοντικών προτάσεων επέκτασης στην πόλη.

Τέλος αρκετά ενδιαφέρουσα είναι η προσέγγιση του Davide Simeone (2014) που κατασκευάζει ένα μοντέλο BIM ενσωματωμένο με μια γνωσιακή βάση οντολογίας, η οποία φέρει κανόνες και περιορισμούς στο μοντέλο βασιζόμενη στην αρχαιολογική έρευνα καθώς και την καταγραφή στο πεδίο.

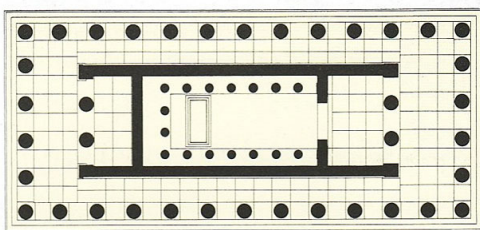
3. ΗΦΑΙΣΤΕΙΟ

Η παρούσα εργασία αφορά στον Ναό του Ηφαιστου που χτίστηκε στην κορυφή του λόφου του Αγοραίου Κολωνού, στο Δυτικό τμήμα της Αρχαίας Αγοράς των Αθηνών. Η κατασκευή του χρονολογείται περίπου στο 460-450 π.χ και πρόκειται για ένα ναό που σήμερα πιστεύεται ότι ήταν αφιερωμένος στον Θεό Ήφαιστο, προστάτη των μεταλλουργών, και στην Θεά "Εργάνη" Αθηνά προστάτρια των τεχνών και της χειροτεχνίας, όντας στον λόφο που δέσποζε πάνω από τον Εμπορικό κέντρο της πόλης.



Εικόνα 2. Φωτογραφία, και Θέση Ηφαιστείου στην Αρχαία Αγορά (Βιβλίο Graig Mauzy)

Ο ναός που έχει διαστάσεις περίπου 31,80 X 13,80μ. είναι δωρικού ρυθμού και μάλιστα διαθέτει τον πιο πλούσιο γλυπτό διάκοσμο από οποιοδήποτε άλλο δωρικό ναό. Ο τύπος του μπορεί να καθοριστεί εξετάζοντας τις παρακάτω δύο κατατάξεις: Τυπολογικά ο ναός ανήκει στους διπλούς εν παράστασιν, περιπτερούς ναούς, με την προσθήκη περιμετρικού πτερού στις δύο στενές πλευρές του, που είναι διαμορφωμένες εν παράστασιν. Η άλλη ταξινόμηση που εξετάζει τον αριθμό των κίωνων στην πρόσοψή του, τον εντάσσει στους εξάστυλους ναούς, φέροντας 6 X 13 κίονες. Η κάτοψη του ναού φαίνεται στην εικόνα παραπλεύρως.



Εικόνα 3. Κάτοψη Ηφαιστείου 460-450 π.χ

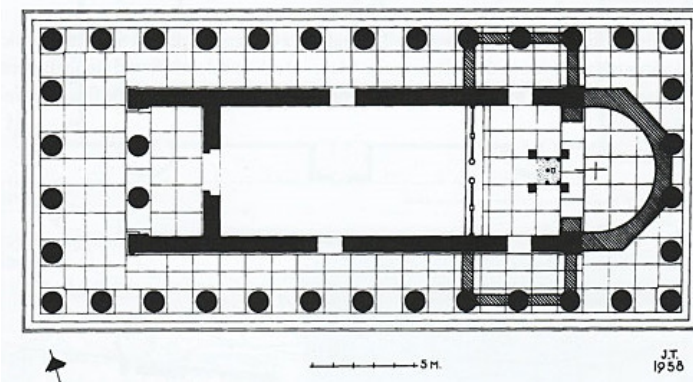
Εσωτερικά ο ναός είχε την συνήθη διαμόρφωση του πλήρως εξελιγμένου ελληνικού ναού με τρεις χώρους πρόναο, σηκό και οπισθόδομο. Στο σηκό μάλιστα φαίνεται πως υπήρχε δίτονη δωρική κιονοστοιχία σε σχήμα Π, της οποίας ελάχιστα ίχνη διατηρούνται.

Σχετικά με τα υλικά κατασκευής του, το Ηφαισείο έχει κατασκευαστεί κατ'εξοχήν από Πεντελικό μάρμαρο, εκτός από την κατώτατη βαθμίδα της

κρηπίδας η οποία έχει κατασκευαστεί από ασβεστόλιθο και τον γλυπτό διάκοσμο που έχει κατασκευαστεί από νησιωτικό μάρμαρο. Η οροφή του ναού που δεν σώζεται πλέον ήταν ξύλινη, ενώ στο πτερό του ναού είχε κατασκευαστεί λίθινη οροφή από λίθινες δοκούς και περίτεχνες φατνωματικές πλάκες.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω είναι από τους ναούς με τον πλουσιότερο διάκοσμο. Αναλυτικότερα, στις 10 μετόπες της ανατολικής πρόσοψης διακρίνονται οι άθλοι του Ηρακλή, ενώ ανά τέσσερις στο ανατολικό τμήμα των μετόπων της βόρειας και νότιας πλευράς διακρίνονται οι άθλοι του Θησέα. Τέλος στην ζωφόρο του πρόναου πάνω από το επιστύλιο διακρίνονται θεότητες να παρακολουθούν μυθικούς αγώνες ενώ στην ζωφόρο του οπισθόδομου διακρίνεται η μάχη των Λαπίθων με τους Κενταύρους.

Σχετικά με την χρήση του Ναού παρατηρείται ότι ο Ναός από τον 5ο ή 7ο αιώνα μ.Χ μετατράπηκε σε χριστιανική εκκλησία αφιερωμένη στον Αγ. Γεώργιο, λειτουργώντας μέχρι το 1835, αποφεύγοντας με αυτόν τον τρόπο την μοίρα της χρήσης του ως πηγή άντλησης οικοδομικών υλικών για τις ανάγκες των Αθηναίων.



Εικόνα 4. Κάτοψη Αγ. Γεωργίου

4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ

4.1 Μέθοδοι κατασκευής ενός HBIM

Η κατασκευή ενός HBIM περιλαμβάνει δύο στάδια, το στάδιο της συλλογής των δεδομένων και το στάδιο της μοντελοποίησης.

Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει την συλλογή των απαραίτητων δεδομένων και πληροφοριών σχετικών με το μνημείο, είτε μετρώντας στο ύπαιθρο, είτε συλλέγοντας αρχειακά έγγραφα και πληροφορίες σχετικές με υλικά και τεχνотροπίες του μνημείου. Οι μετρήσεις στο ύπαιθρο περιλαμβάνουν γεωδαιτικές μετρήσεις, φωτογραμμετρικές μετρήσεις, φωτογράφιση καθώς και σάρωση του αντικειμένου με επίγειο σαρωτή.

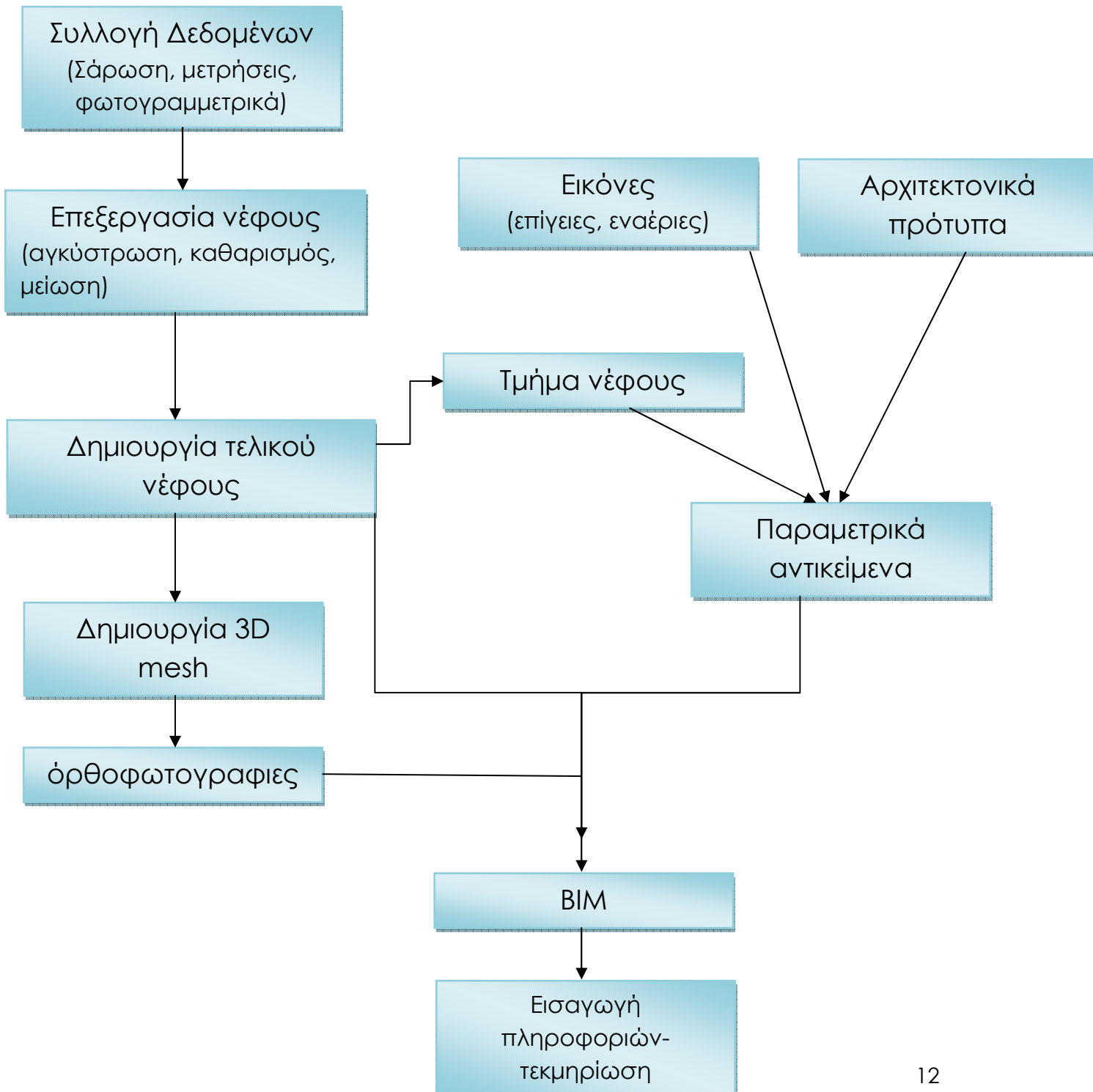
Ακολουθεί το στάδιο της επεξεργασίας των δεδομένων το οποίο περιλαμβάνει τις επιλύσεις καθώς και την επεξεργασία του νέφους σημείων με σκοπό την δημιουργία του τελικού νέφους καθαρισμένο από θορύβους και μειωμένο σε επιθυμητό επίπεδο ακριβείας, πυκνότητας και μεγέθους. Ακολουθώντας παράγεται το δίκτυο των πολυγώνων και σε συνδυασμό με τις επίγειες και εναέριες φωτογραφίες παράγονται οθροφωτογραφίες των όψεων.

Τα αρχειακά έγγραφα αποτελούνται κυρίως από παλαιά σχέδια προμελέτης ή παλαιότερης αποτύπωσης καθώς και αρχιτεκτονικά σχέδια προτύπων, όπου φαίνονται οι αναλογίες και οι δεσμεύσεις στις οποίες υπακούουν τα δομικά μέρη. Από τα παραπάνω έγγραφα και χρησιμοποιώντας επίγειες φωτογραφίες και τμήματα από το τελικό νέφος σημείων προκύπτουν οι παραμετρικές βιβλιοθήκες των αντικειμένων-μερών του κτίσματος. Είναι σύνηθες τα μέρη των μνημείων να έχουν ακανόνιστες επιφάνειες, οι οποίες μάλιστα να έχουν προκύψει από φθορές, καθιστώντας την διαδικασία της μοντελοποίησης αρκετά χρονοβόρα και δύσκολη. Η διαδικασία της μοντελοποίησης γίνεται ακόμα πιο δύσκολη αν αναλογιστεί κανένας ότι ίδια αντικείμενα μπορούν εξαιτίας των αλλοιώσεων να παρουσιάζουν εντελώς διαφορετική γεωμετρία.

Για την διευκόλυνση της παραπάνω διαδικασίας μοντελοποίησης έχει αναπτυχθεί ένα εργαλείο plugin το GreenSpider από τους S.Garagnani και A.Manferdini, το οποίο δουλεύει κάτω από το Revit. Σε αυτό ο χρήστης κόβει σε χαρακτηριστικά επίπεδα το αντικείμενο που θέλει να μοντελοποιήσει, απομονώνοντας τα σημεία του νέφους που εμπίπτουν σε κάθε επίπεδο. Στην συνέχεια με το εργαλείο GScurve υπολογίζεται η βέλτιστη καμπύλη που περνά από κάθε επίπεδο. Από την ένωση των καμπυλών των διαδοχικών επιπέδων προκύπτει ένα μοντέλο του αντικειμένου πολύ κοντά στην πραγματικότητα όπως έχει προκύψει από την σάρωση. Είναι προφανές ότι αν και το αποτέλεσμα δείχνει να είναι καλό, η συγκεκριμένη διαδικασία χρειάζεται αρκετή προπαρασκευαστική εργασία, καθώς δεν είναι εύκολη η διάκριση των μερών απευθείας από το pointcloud ούτε η δημιουργία λιστών συντεταγμένων με τις κορυφές σε διάφορα επίπεδα για κάθε αντικείμενο του μνημείου.

Μια άλλη προσέγγιση είναι η δημιουργία κοινών μοντέλων για τα όμοια στοιχεία του μνημείου και αποθήκευση των διαφοροποιήσεών τους σε συνοδευτικά αρχεία μοναδικά για κάθε μέρος. Η επιλογή της μεθόδου που θα χρησιμοποιηθεί είναι ανάλογη με τις ανάγκες του χρήστη και τους σκοπούς της μελέτης. Μετά την μοντελοποίηση ακολουθεί η εισαγωγή των πληροφοριών στο σύστημα.

Στο σχήμα που ακολουθεί διακρίνονται τα παραπάνω στάδια.



Εικόνα 5. Μεθοδολογία δημιουργίας ενός BIM

Για την δημιουργία ενός μοντέλου BIM, έχουν αναπτυχθεί αναπτυχθεί διάφορα εμπορικά λογισμικά, τα γνωστότερα από αυτά είναι το ArchiCAD και το Revit, ενώ άλλα είναι τα Tekla Structures, Bentley AECOSim Building Designer, Vectorworks και ARCHIBUS EIM with BIM.

4.2. Κατασκευή μοντέλου

Ο σκοπός της δημιουργία ενός BIM για το Ναό του Ηφαιστού είναι να προκύψει ένα ενιαίο σύστημα-υπόβαθρο στο οποίο θα εισαχθούν όλες οι απαραίτητες πληροφορίες, προερχόμενες από τις διαφορετικές ειδικότητες επιστημόνων, σχετικές με την υφιστάμενη κατάσταση των μερών του μνημείου, για την αξιολόγηση, την τεκμηρίωση και την αποκατάσταση τους.

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του BIM ήταν το Revit Architecture 2014 της Autodesk. Η αντιμετώπιση που υιοθετήθηκε ήταν η κατάτμηση του μοντέλου σε επιμέρους στοιχεία, τα οποία ανα οικογένεια θα είναι όμοια γεωμετρικά όπως όταν κατασκευάστηκαν και το κάθε ένα από αυτά θα φέρει τις πληροφορίες που το διαφοροποιεί, σχετικά με τις φθορές που έχει υποστεί, τις επεμβάσεις που χρήζει καθώς και φωτογραφική τεκμηρίωση. Αυτό αποφασίστηκε καθώς το BIM στην παρούσα εφαρμογή προορίστηκε να λειτουργήσει ως εργαλείο αποθήκευσης και διαχείρισης των δεδομένων και των αποτελεσμάτων της τεκμηρίωσης και όχι ως ένα εργαλείο από το οποίο θα προκύπτουν μετρήσεις ακριβείας, για τις οποίες σε κάθε περίπτωση ενδείκνυται να χρησιμοποιείται το μοντέλο του νέφους σημείων. Εξάλλου η τεκμηρίωση είναι μια διαδικασία θα προκύψει από μελέτη ορθοφωτογραφιών και αυτοψία και δεν μπορεί να γίνει με την μελέτη ενός μοντέλου.

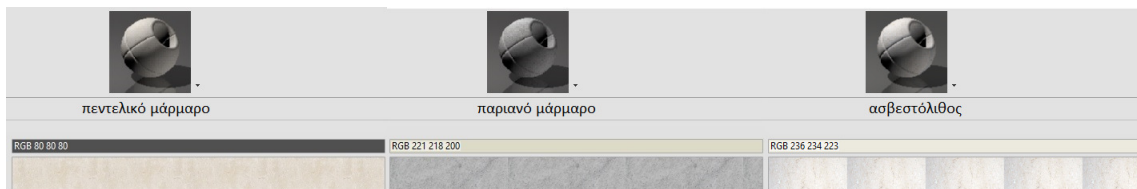
Για την μοντελοποίηση αρχικά χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις από το νέφος σημείων που είχε προκύψει από επίγεια σάρωση εσωτερικά και εξωτερικά του μνημείου με τον Leica ScanStation. Ακόμα στοιχεία και πληροφορίες προέκυψαν από τα βιβλία "Μαθήματα Ιστορίας της Αρχιτεκτονικής" του Χ.Μπούρα, "Η Αρχαία Αγορά της Αθήνας" του John M. Camp και "The classical Orders of Architecture" του Robert Chitham". Η μοντελοποίηση άρχισε από κάτω προς τα πάνω ορίζοντας πρώτα τα διάφορα επίπεδα σχεδίασης που διαχωρίζουν τα μέρη μεταξύ τους.

4.2.1.Υλικά

Ο Ναός του Ηφαιστού έχει κατασκευαστεί σχεδόν εξ' ολοκλήρου από Πεντελικό μάρμαρο. Διαφοροποίηση παρατηρείται μόνο στην κατώτατη βαθμίδα της κρηπίδας η οποία κατασκευάστηκε από ασβεστόλιθο, ενώ ο γλυπτός διάκοσμος και τμήματα της οροφής κατασκευάστηκαν από νησιωτικό μάρμαρο και πιο συγκεκριμένα παριανό μάρμαρο. Η οροφή του ναού, η οποία δεν έχει διασωθεί ήταν ξύλινη, πιθανότατα από δρυς, με επικάλυψη από

κεραμικές πλάκες. Με την μετατροπή του Ναού σε χριστιανική εκκλησία αφιερωμένη στον Αγ.Γεώργιο προστέθηκαν επεκτάσεις με εξωτερικές τοιχοποιίες σε συγκεκριμένα τμήματα του ναού καθώς και ιερό στο ανατολικό τμήμα του. Η εκκλησία φέρεται να είχε αρχικά ξύλινη στέγη, αλλά πλέον υφίσταται δίριχτη οροφή από μπετόν.

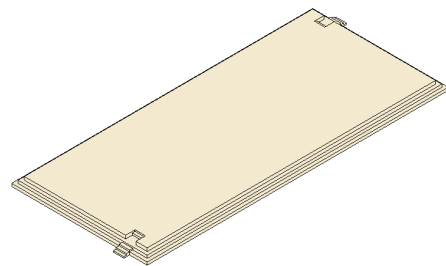
Το Revit δίνει την δυνατότητα δημιουργία υλικών με χρήση επαναλαμβανόμενης υφής. Για τα περισσότερα τμήματα του ναού χρησιμοποιήθηκε το πεντελικό μάρμαρο όπως υποδείχθηκε από τις ιστορικές πηγές. Η πληροφορία της υφής για όλα τα υλικά εμφανίζεται μόνο σε θέαση rendering. Στην εικόνα που ακολουθεί διακρίνονται τρία από τα υλικά που δημιουργήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο. Εκτός από αυτά που κατασκευάστηκαν χρησιμοποιήθηκαν και έτοιμα υλικά για την ξύλινη στέγη, τα κεραμιδιά και τις τοιχοποιίες των προσθηκών του Αγ.Γεωργίου.



Εικόνα 6. Υλικά : πεντελικό μάρμαρο, παριανο, ασβεστόλιθος

4.2.2. Κρηπίδα

Η Κρηπίδα αποτελείται από τρεις βαθμίδες - αναβαθμούς και χρησιμοποιείται για την έδραση του μνημείου. Η ευθεία στο κατώτερο τμήμα της κρηπίδας ονομάζεται ευθυντηρία ενώ στο ανώτερο αυτής στυλοβάτης. Η πρώτη από τις βαθμίδες είναι από ασβεστόλιθο ενώ οι άλλες δύο από πεντελικό μάρμαρο. Η κρηπίδα, η οποία διακρίνεται στην εικόνα που ακολουθεί, είναι παραμετροποιήσιμη σχετικά



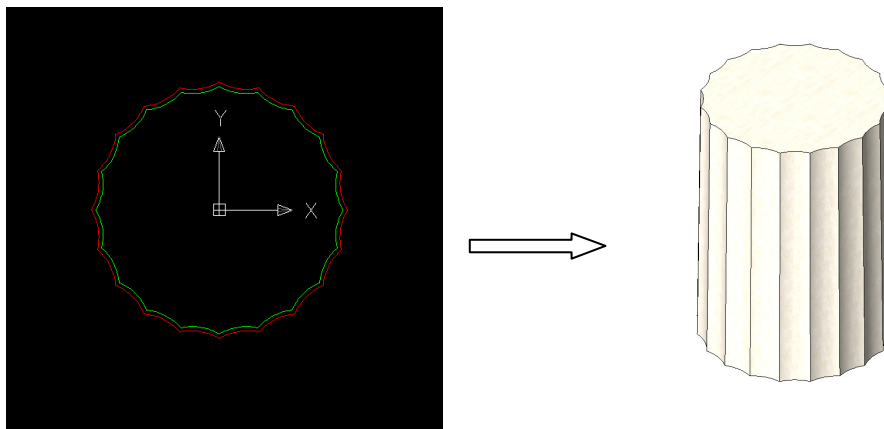
Εικόνα 7. Κρηπίδα

με το μήκος, το πλάτος και τα ύψη των αναβαθμών, με συνέπεια να μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε άλλες εργασίες με αλλαγή των παραμέτρων. Οι δύο προσβάσεις από σκαλοπάτια μοντελοποιήθηκαν μετά από μετρήσεις στο νέφος και με πρόσθεση ή αφαίρεση στερεών. Για την κατασκευή της κρηπίδας έγιναν δύο παραδοχές. Η πρώτη ήταν ότι δεν σχεδιάστηκε η κυρτότητα του στυλοβάτη, η οποία για το Ναό του Ηφαιστού έχει βέλη 1,9 και 3,17 εκατοστά αντίστοιχα στις δύο πλευρές του μνημείου και αυτό έγινε διότι ο στυλοβάτης σε αυτήν την περίπτωση δεν θα βρισκόταν σε ένα επίπεδο, γεγονός που θα

δημιουργούσε πρόβλημα στην έδραση των κίωνων. Η δεύτερη παραδοχή ήταν ότι σχεδιάστηκαν τα τρία επίπεδα των αναβαθμίδων ως ενιαία και όχι αποτελούμενα από τις πλάκες τους ξεχωριστά, διότι μεγάλωνε αρκετά το μέγεθος του αρχείου και ήταν πολύ δύσκολο διαχειρίσιμο χωρίς μάλιστα να προστεθούν άλλα μέρη.

4.2.2 Κίονες-σπόνδυλοι

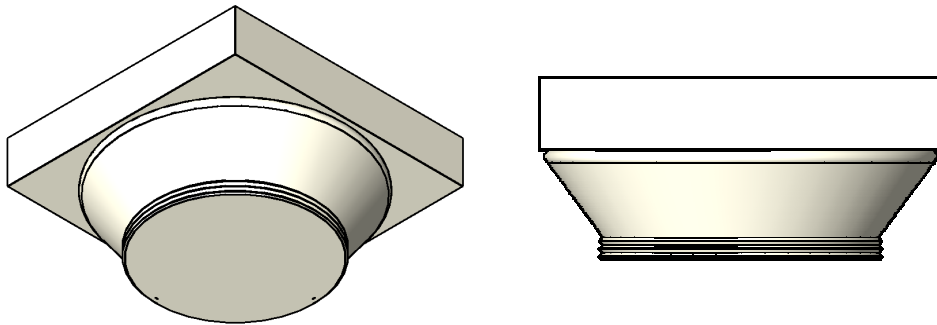
Οι κίονες αποτελούνται στον Ναό του Ηφαίστου από 7 σπόνδουλους ή σφονδύλους. Η κάτω διάμετρος του κατώτερου κίονα είναι 1,00μ. και καταλήγει σε 0,75 στο πάνω μέρος του ανώτερου σημείου του πάνω σπόνδουλου. Κάθε ένας από τους σπόνδουλους σχεδιάστηκε ξεχωριστά ως στερεό που προκύπτει από το πάνω και το κάτω μέρος του στο Autocad, εισήχθη στο Revit και μοντελοποιήθηκε με την εντολή Blend. Ο λόγος για την παραπάνω επιλογή ήταν η δυσκολία στην μοντελοποίηση της μεταβολής των ραβδώσεων ανάλογα με την τροποποίηση της ακτίνας του κίονα. Οι 20 ραβδώσεις κάθε κίονα προέκυψαν από κυκλικά τόξα ανά 18 μοίρες γωνία. Ο τρόπος με τον οποίο μοντελοποιήθηκαν όλοι οι σπόνδυλοι δεν δίνει την δυνατότητα για εφαρμογή της έντασης για του κίονες. Στην εικόνα που ακολουθεί διακρίνονται τα δύο τμήματα πάνω και κάτω του σπόνδουλου που σχεδιάστηκαν στο AutoCAD, εισήχθησαν στο Revit και το στερεό που προέκυψε από αυτά. Η συγκεκριμένη διαδικασία έγινε 7 φορές για κάθε ένα από τους σπόνδουλους. Σύμφωνα με τις μετρήσεις από το νέφος προέκυψε ότι οι σπόνδυλοι, όπως είναι χαρακτηριστικό στην κλασική περίοδο, είναι ισοϋψείς. Κατά την μοντελοποίηση δεσμεύτηκαν το ανώτατο και κατώτατο επίπεδο του σπόνδουλου να παραμετροποιούνται ανάλογα με το μοντέλο. Σχετικά με τις αποστάσεις μεταξύ των κίωνων, μετρήθηκε ότι τα μεταξόνια είναι σταθερά ανάμεσα σε όλους τους μεσαίους κίονες (2,60 μ.) και διαφοροποιούνται στους γωνιακούς κίονες (2,40 μ.).



Εικόνα 8. Κατασκευή σπόνδουλου από AutoCAD σε Revit

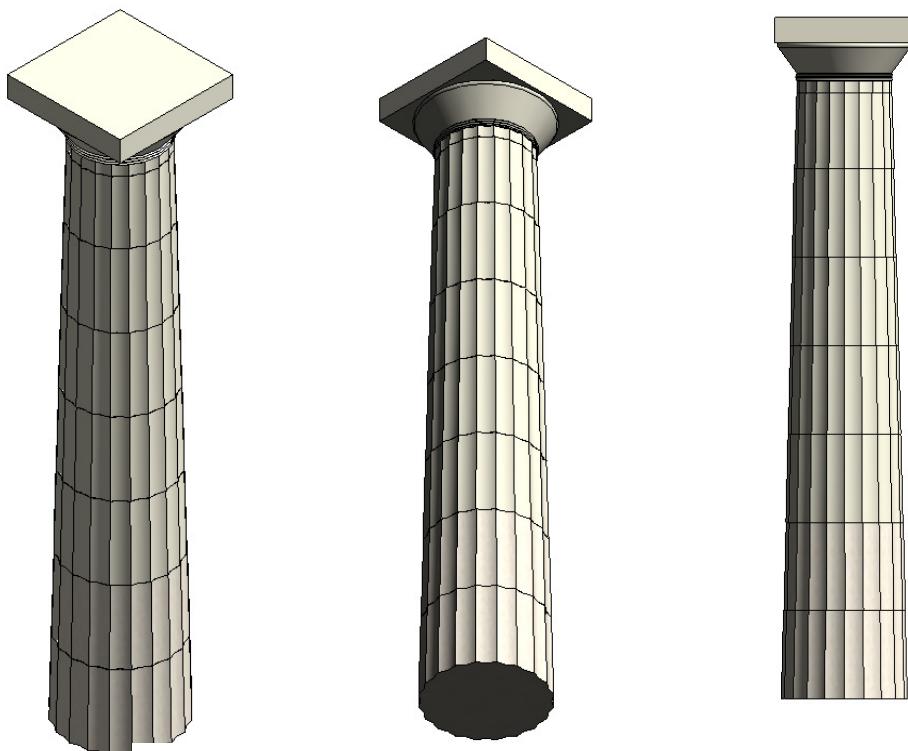
4.2.3. Κιονόκρανα

Το κιονόκρανο αποτελείται από τρία μέρη. Από κάτω προς τα επάνω αποτελείται από ένα μικρού ύψους σφόνδυλο, τον εχίνο, και τον άβακα. Για την μοντελοποίηση χρησιμοποιήθηκε η σχηματική τομή από το βιβλίο του Χ. Μπούρα. Ο άβακας είναι τετραγωνικός 1,00 X 1,00 μ. Το κιονόκρανο δημιουργήθηκε με την ενολή Revolve. Στην εικόνα που ακολουθεί διακρίνεται το κιονόκρανο που σχεδιάστηκε.



Εικόνα 9. Τρισδιάστατο και όψη κιονόκρανου

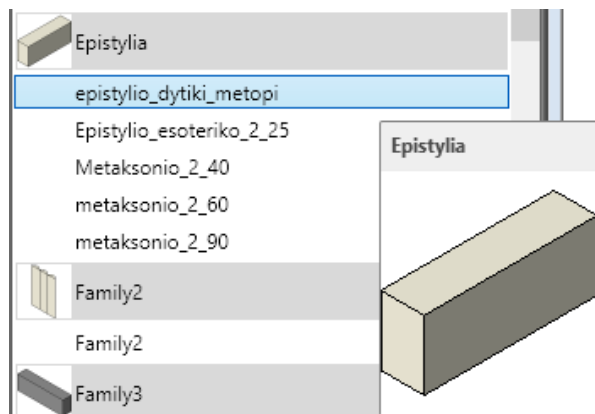
Το αποτέλεσμα της μοντελοποίησης όλων των σπόνδυλων με το κιονόκρανο φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί



Εικόνα 10. Τρισδιάστατα και όψη κίονα

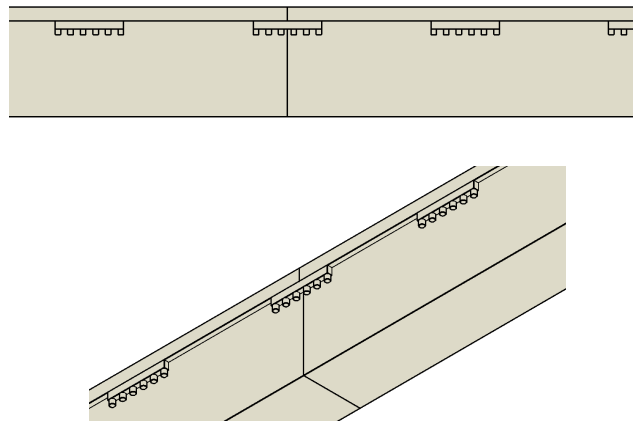
4.2.4. Θριγκός

Ο θριγκός εδράζεται στο πάνω μέρος των κιόνων και συνθέτεται από δύο επίπεδα και υψομετρικά και οριζοντιογραφικά. Στο πάνω μέρος του κιονόκρανου εδράζονται δύο οριζόντιες δοκοί, η εξωτερική από τις οποίες ονομάζεται επιστύλιο και η εσωτερική αντίθημα. Για το επιστύλιο αλλά και το αντίθημα έγιναν δύο διαφορετικές οικογένειες με διαφορετικές παραλλαγές. Οι διαστάσεις των επιστυλίων ήταν κυμαινόμενο μήκος X 0,50 πλάτος X 0,80 ύψος. Όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί δημιουργήθηκαν 5 διαφορετικά είδη επιστυλίων ανάλογα με το μήκος που μετρήθηκε. Αντίστοιχα δημιουργήθηκε και οικογένεια αντιθήματος με τις ανάλογες παραλλαγές μηκών.



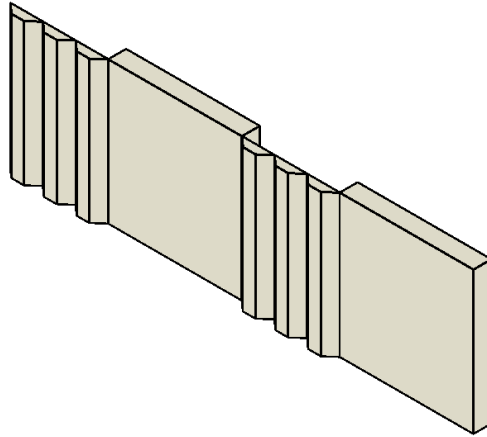
Εικόνα 11. Παραλλαγές επιστυλίων

Επί της προσόψεως του επιστυλίου και στο πάνω μέρος αυτού διακρίνονται άλλα δύο στοιχεία, η ταινία και ο κανόνας με τις σταγόνες. Η ταινία μοντελοποιήθηκε ανά τμήματα που προέκυψαν από τις εικόνες σε συνδυασμό με μετρήσεις από το νέφος σημείων. Για τα δύο παραπάνω στοιχεία εισήχθη και η δέσμευση της τοποθέτησης επί επιφάνειας. Στην εικόνα που ακολουθεί διακρίνεται ένα παράδειγμα επιστυλίου με την ταινία τον κανόνα και τις σταγόνες.



Εικόνα 12. Ταινία με κανόνα και σταγόνες

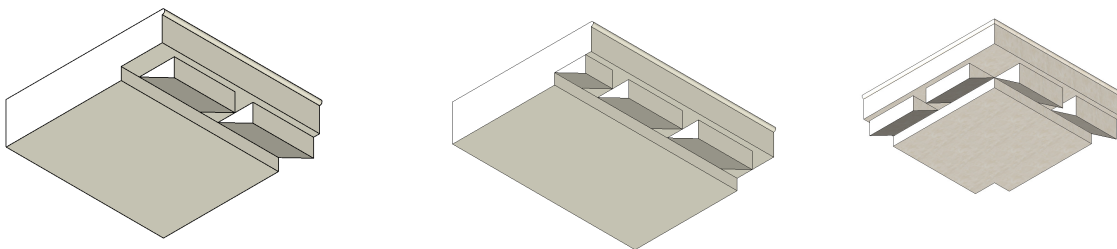
Στο πάνω μέρος των επιστυλίων και των αντιθημάτων εδράζονται τα τρίγλυφα και οι μετόπες με το αντίστοιχο αντίθημα της μετόπης να βρίσκεται στο πίσω μέρος αυτών. Οι διαστάσεις των τρίγλυφων είναι 0,55 X 0,80 μ. ενώ οι μετόπες 0,64 X 0,80 μ. Στην εικόνα που ακολουθεί διακρίνονται δύο ζεύγη τρίγλυφων και μετοπών. Πίσω από αυτά υφίσταται το αντίθημα της μετόπης για συνολικό πλάτος 1,00 μ.



Εικόνα 13. Τρίγλυφα και μετόπες

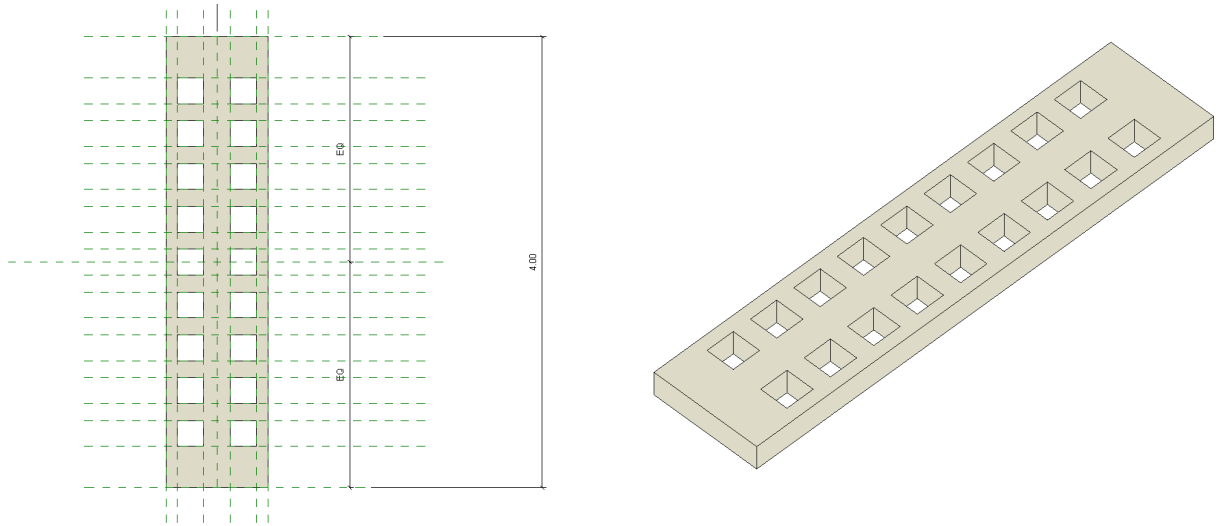
Σε ορισμένες από τις μετόπες έχουν διασωθεί γλυπτά που τις κοσμούν είτε απεικονίζοντας του άθλους του Ηρακλή, του Θησέα ή άλλες σκηνές από την Ελληνική Μυθολογία. Η πληροφορία των γλυπτών προστέθηκε στις μετόπες και θα αναλυθεί σε επόμενη παράγραφο.

Τελευταίο τμήμα του θριγκού αποτελεί το οριζόντιο γείσο το οποίο είναι κατασκευασμένο περιμετρικά του μνημείου και ελαφρώς εξωτερικά ώστε να προστατεύει τα τρίγλυφα και τις μετόπες από τα νερά της βροχής. Για την μοντελοποίηση του οριζόντιου γείσου χρησιμοποιήθηκε ένα προφίλ που προέκυψε από το βιβλίο του Χ.Μπούρα σε συνδυασμό με μετρήσεις και φωτογραφίες. Το αποτέλεσμα ήταν να δημιουργηθούν τρία διαφορετικά είδη γείσων με τις προμόχθους, το πρώτο είναι μήκους 1,30 με δύο προμόχθους, το δεύτερο 1,70 με δυο και μισή προμόχθους και τα γωνιακά γείσα. Στην εικόνα που ακολουθεί διακρίνονται τα διαφορετικά είδη οριζόντιων γείσων.



Εικόνα 14. Οριζόντια γείσα με προμόχθους

Η οροφή του πτερού πίσω απο τα γείσα αποτελείται απο δοκάρια και λαξευμένες φατνωματικές πλάκες. Αυτές είχαν τον ρόλο της μείωσης του φορτίου των πλακών. Δημιουργήθηκαν τριών ειδών φανωματικές πλάκες, η μια με 18 φατνώματα που χρησιμοποιείται στην ανατολική πλευρά του πτερού, μια με 10 φατνώματα που χρησιμοποιείται κατα μήκος της βόρειας και νότια πλευράς και μια με 16 που χρησιμοποιείται στην δυτική πλευρά του πτερού. Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται μια φατνωματική πλάκα της ανατολικής πλευράς με διαστάσεις 4,00 μ. Χ 0,90μ.

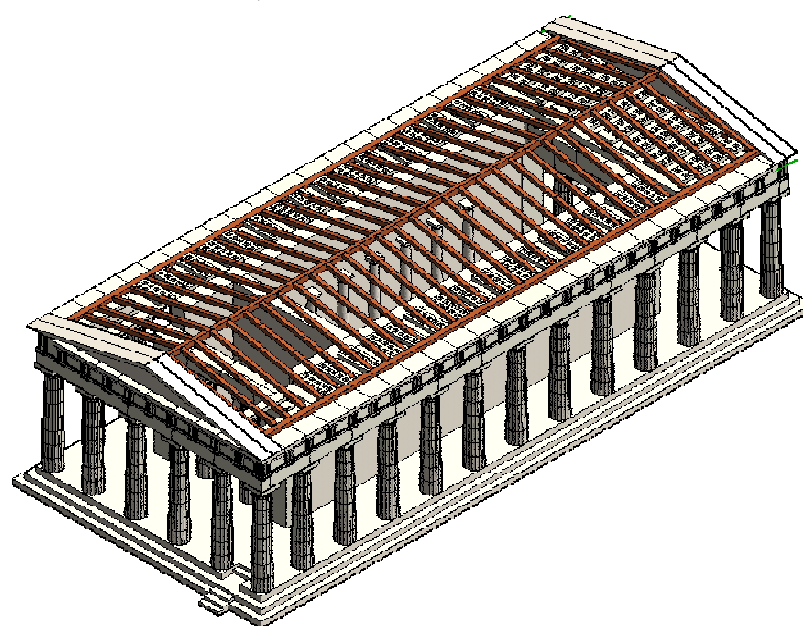
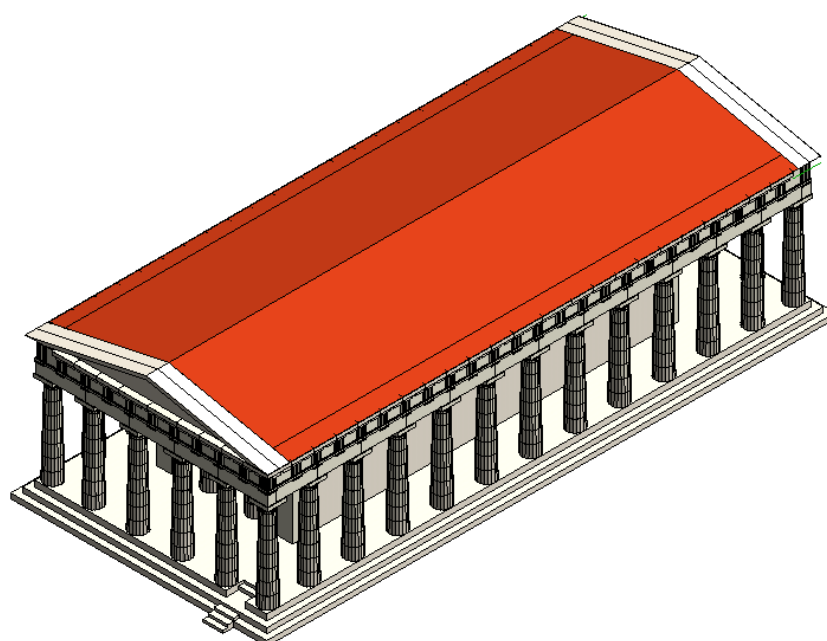
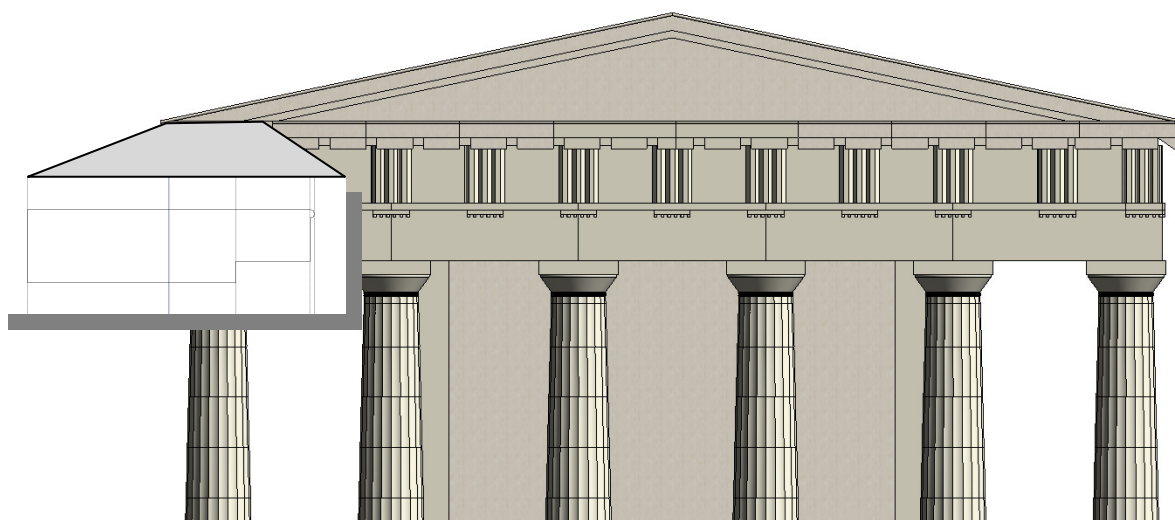


Εικόνα 15. Φατνωματική πλάκα ανατολικού πτερού

4.2.5. Αέτωμα

Για την κατασκευή του αετώματος χρησιμοποιήθηκε το προφίλ μιας διατομής αντίστοιχης με το γείσο κατά μήκος προκαθορισμένης τεθλασμένης διαδρομής. Το τύμπανο του αετώματος είναι ένα επίπεδο.

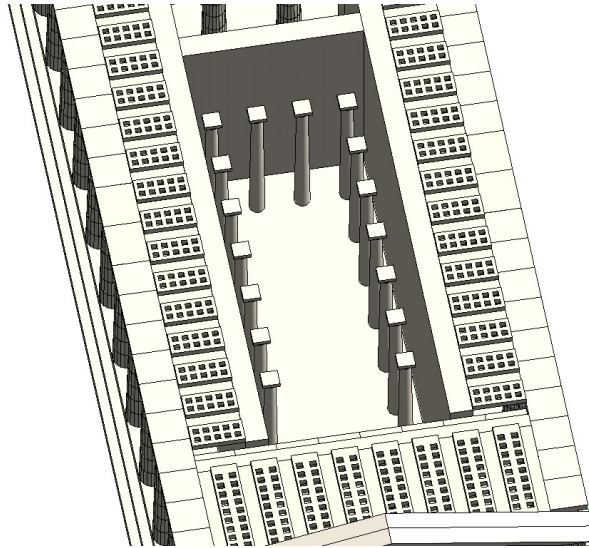
Εσωτερικά η οροφή είχε ξύλινη στέγη με επικάλυψη από πήλινα κεραμίδια. Επειδή η κατασκευή δεν διασώθηκε, μοντελοποιήθηκαν κάποια τυπικά δοκάρια με μια τυπική δίριχτη στέγη. Στις εικόνες που ακολουθούν διακρίνονται αρχικά το προφίλ του αετώματος, το αέτωμα με το τύμπανο και στην συνέχεια επικάλυψή και ο σκελετός της στέγης.



Εικόνα 16. Προφίλ αετώματος, στέγη και ξύλινη οροφή

4.2.6. Εσωτερικό μνημείου

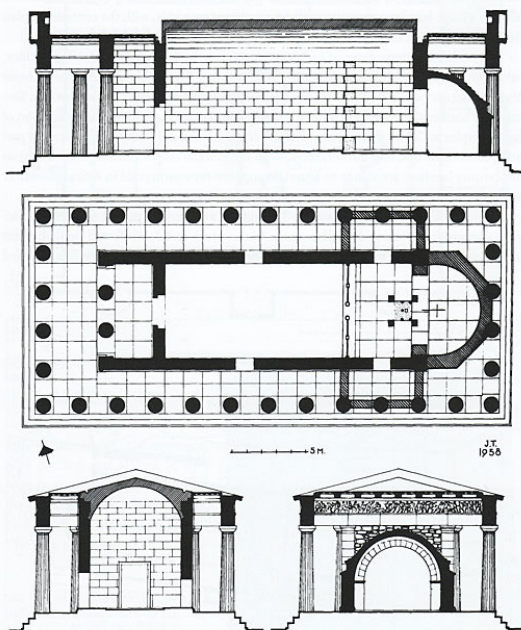
Στο εσωτερικό του πτερού του ναού υφίσταται το κυρίως τμήμα του ναού, ο πρόναος, ο σηκός και ο οπισθόδομος. Οι χώροι διαχωρίζονται από τοιχοποιία μεγάλου πλάτους ακολουθώντας το ισόδομο σύστημα. Εσωτερικά του ναού υπήρχαν κίονες σε μορφή Π προς το πίσω μέρος του σηκού όπου εκτίθετο το άγλυμα τις θεότητας. Κανένας από αυτούς τους κίονες δεν έχει διασωθεί σήμερα και ως εκ τούτου δημιουργήθηκαν σύμφωνα με τις κατόψεις του Χ.Μπούρα.



Εικόνα 17. Εσωτερικοί κίονες ναού του Ηφαίστου

4.2.7. Ναός Αγ. Γεωργίου

Μεταξύ του 5ου και του 7ου αιώνα, ο Ναός του Ηφαίστου μετατράπηκε σε χριστιανικό ναό αφιερωμένο στον Αγ. Γεώργιο. Η μετάβαση αυτή συνοδεύτηκε από επεμβάσεις στην μορφή του Ναού. Αρχικά έγιναν προσθήκες κατ'

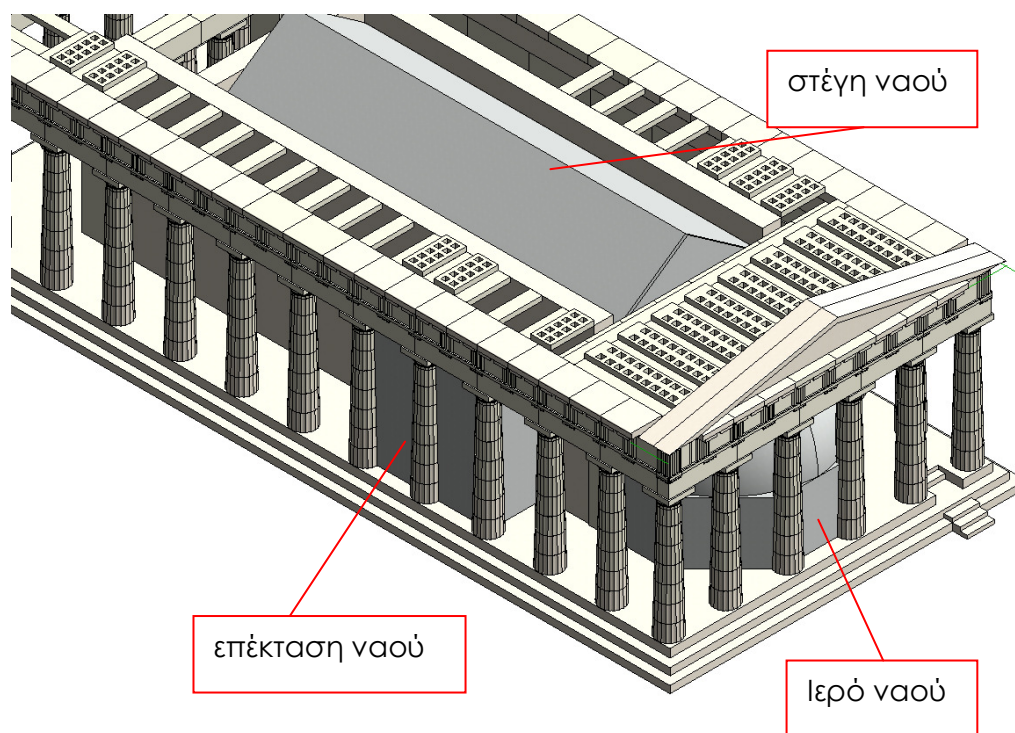


επέκταση με την κατασκευή τοίχων στο ανατολικό τμήμα της βόρειας και νότιας πλευράς καθώς και την κατασκευή ιερού με τρούλο στην ανατολική είσοδο του Ναού η οποία πλέον έκλεισε. Επιπροσθέτως ανοίχθηκαν 5 θύρες, η πρώτη ένωσε τον οπισθόδομο με τον σηκό και οι άλλες 4 ήταν ανά δύο στην βόρεια και νότια πλευρά του ναού και χρησίμευαν ως εισοδοί στον ναό ή συνέδεαν τον κυρίως χώρο του ναού με τις επεκτάσεις. Την εποχή εκείνη η ξύλινη στέγη που είχε κατασκευαστεί

Εικόνα 18. Σχέδια Ναού Αγ.Γεωργίου

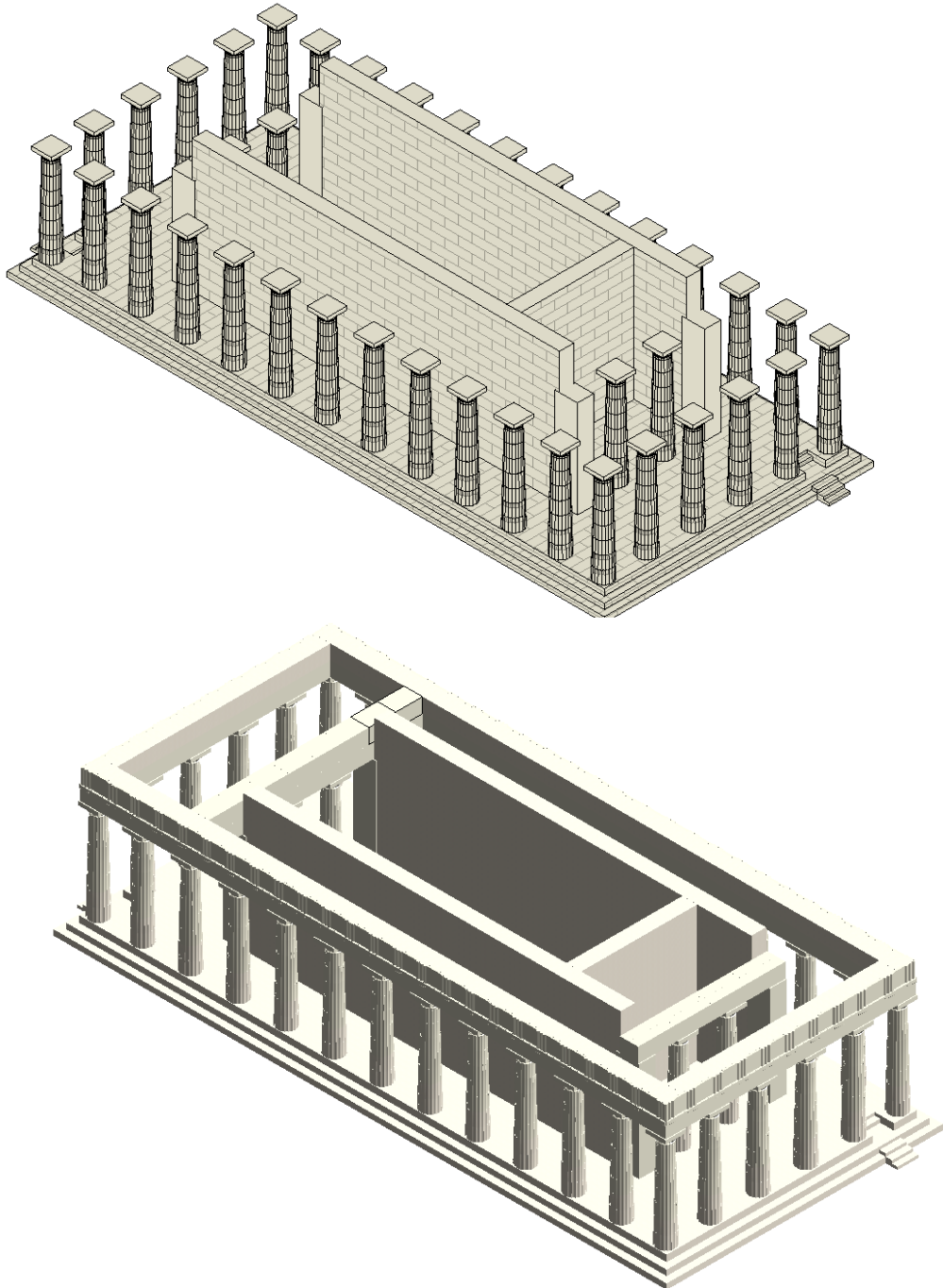
το 460 π.Χ πρέπει να είχε καταστραφεί και αντικατασταθεί από άλλη. Σήμερα οι επεκτάσεις και το ιερό δεν υφίστανται, ενώ τρεις από τις πέντε θύρες έχουν κλείσει χωρίς ωστόσο να μην είναι εμφανής η θέση τους. Σχετικά με την στέγη, σήμερα υφίσταται στέγη δίριχτη από μπετόν κυλινδρική εσωτερικά, η οποία καταλαμβάνει όλη την έκταση του σηκού. Στην παραπάνω εικόνα διακρίνονται κάποια σχέδια της πιθανής μορφής που είχαν τα στοιχεία αυτά.

Η μοντελοποίηση έγινε από τα σχέδια αυτά και ουσιαστικά δημιουργήθηκαν τρία στερεά, το ιερό, οι τοίχοι και η στέγη, ενώ για τα ανοίγματα των θυρών χρησιμοποιήθηκαν ανοίγματα στους τοίχους (Openings). Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνονται τα μέρη του ναού που προστέθηκαν

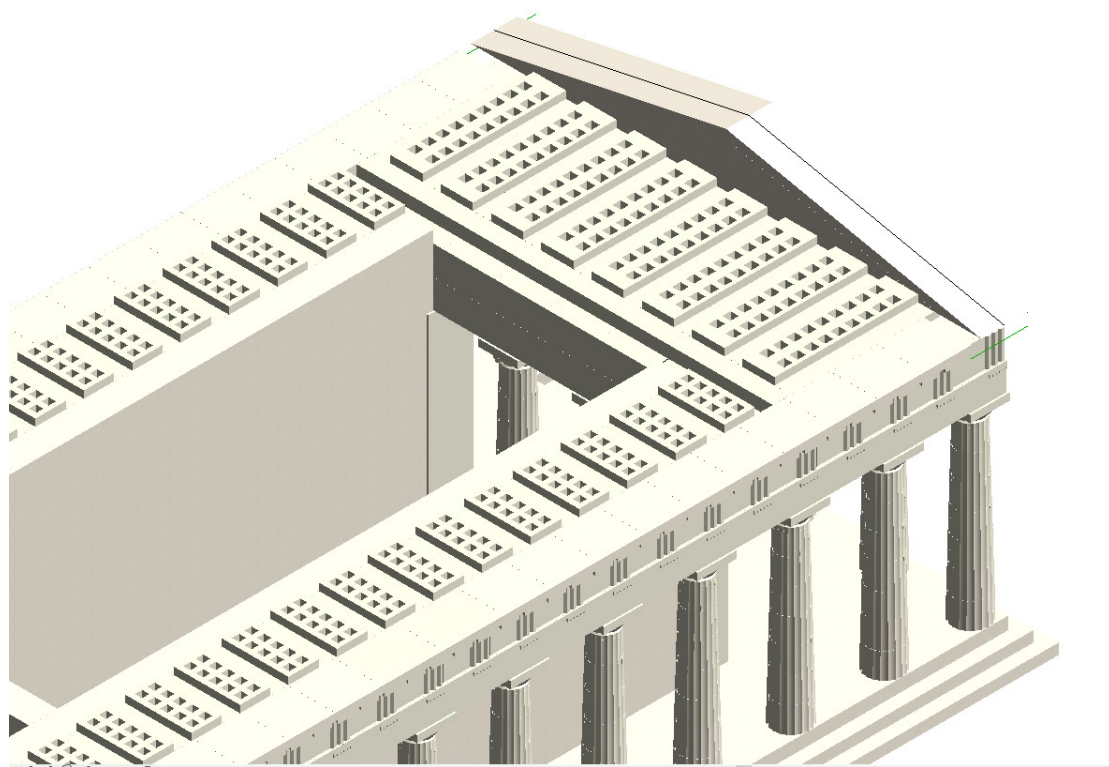


Εικόνα 19. Επεκτάσεις Ναού Αγ.Γεωργίου

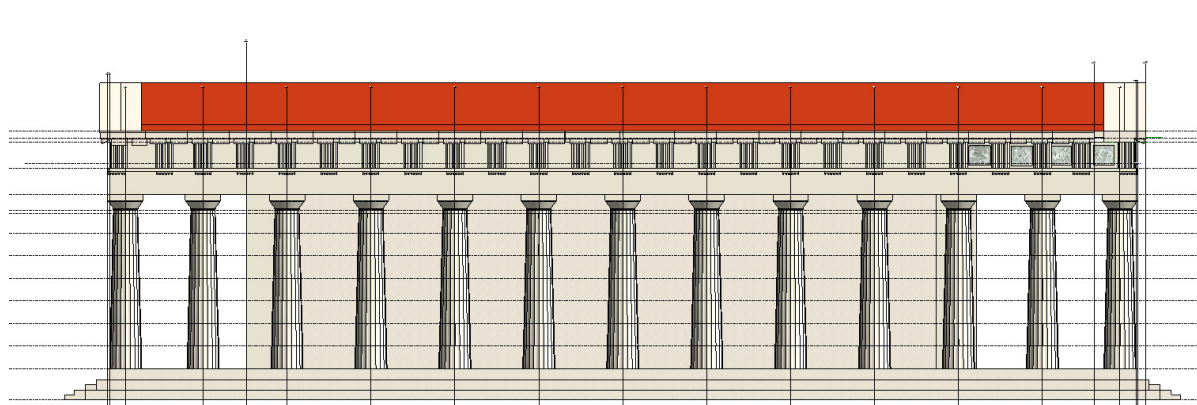
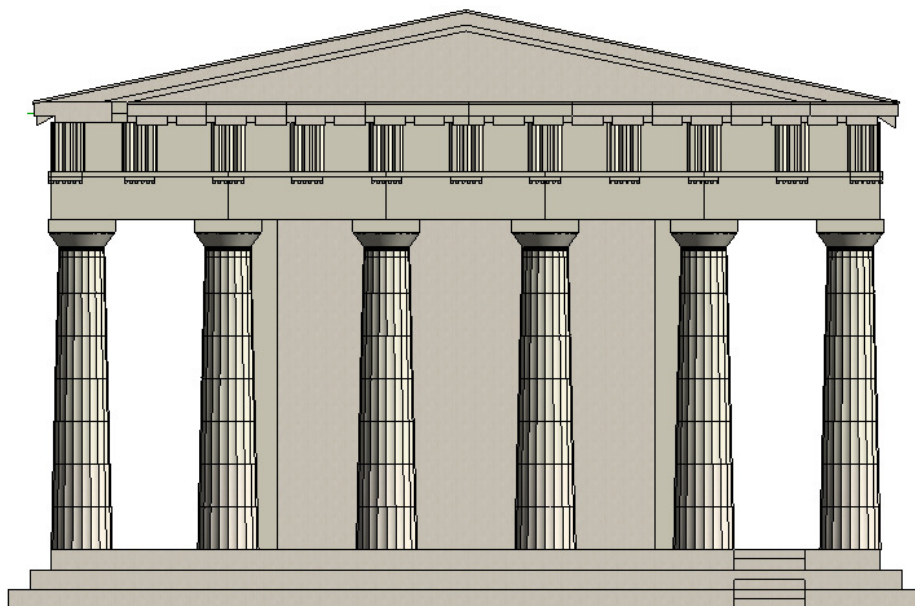
Μετά την μοντελοποίηση όλων των μερών του Ναού του Ηφαιστου, όλα συντέθηκαν στην δημιουργία του BIM. Στις σελίδες που ακολουθούν φαίνονται εικόνες από τα στάδια της κατασκευής του μοντέλου στο σύνολό του.



Εικόνα 20. Προοπτικό Β-Δ του Ναού



Εικόνα 21. Προοπτικό Β-Α και Ν-Α του Ναού

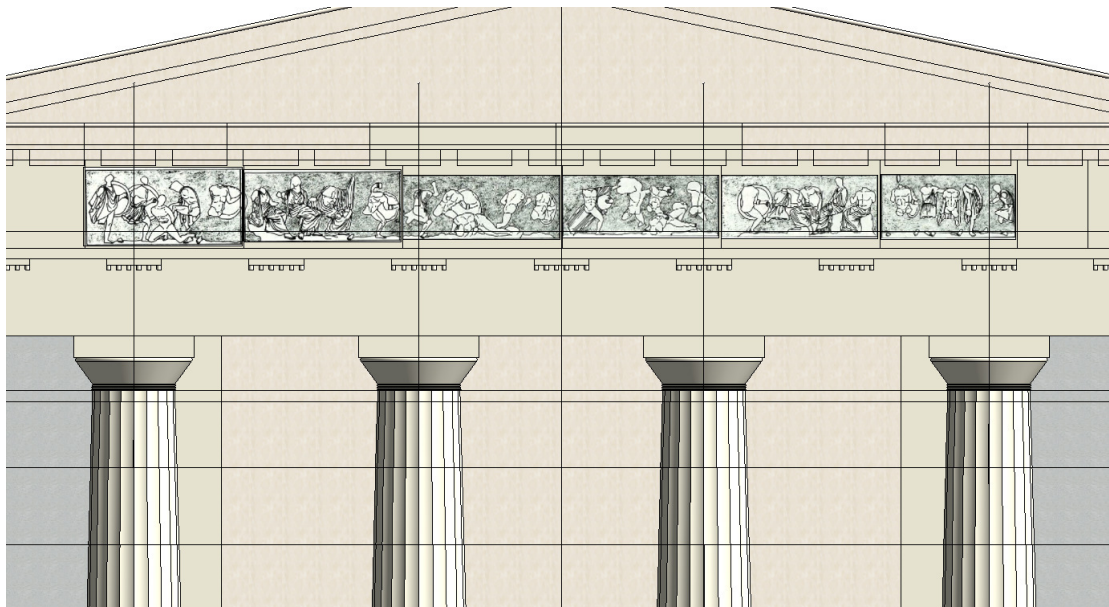


Εικόνα 22. Δυτική και Νότια όψη Ναού του Ηφαίστου

4.3. Εισαγωγή πληροφοριών για αποκατάσταση

4.3.1. Εισαγωγή Decals

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, σε μερικές από τις μετόπες έχουν διατηρηθεί μερικές παραστάσεις είτε από άθλους του Ηρακλή και του Θησέα είτε από άλλες μυθολογικές σκηνές. Η προσθήκη αυτής της πληροφορίας επετεύχθη με την χρήση decals, που είναι αρχεία εικόνων που εφαρμόζονται σε επίπεδες επιφάνειες. Οι εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν προέκυψαν από γραμμικά σχέδια των παραστάσεων, τα οποία απομονώθηκαν σε ξεχωριστές εικόνες. Η τοποθέτησή τους αλλά και η κλίμακά τους, ορίζονται προσεγγιστικά, ενώ δεν υπάρχει δυνατότητα να διαβαστεί κάποιο αρχείο γεωαναφοράς. Η απεικόνιση ωστόσο αυτή φαίνεται να είναι αρκετή για να δώσει την απαραίτητη πληροφορία. Τα decals είναι ορατά μόνο σε θέαση rendering, ενώ το αρχείο με την χρήση τους, αν και είναι μικρές εικόνες jpg επιβραδύνεται αρκετά. Μια χρήσιμη εφαρμογή, η οποία δεν δοκιμάστηκε, θα ήταν η χρήση μιας ορθοφωτογραφίας ως decal στην επίπεδη επιφάνεια του τοίχου. Φυσικά κάτι τέτοιο θα μεγάλωνε αρκετά το μέγεθος του αρχείου, καθιστώντας το ακόμα πιο δύσχρηστο. Συνολικά τοποθετήθηκαν 26 decals, 10 στις εξωτερικές ανατολικές μετόπες, 4 σε κάθε μια από τις εξωτερικές βόρειες και νότιες μετόπες και 4 σε κάθε μια από τις εσωτερικές μετόπες δυτικές και ανατολικές μετόπες. Στις εικόνες που ακολουθούν διακρίνονται οι εσωτερικές και εξωτερικές μετόπες στην ανατολική είσοδο του ναού.



Εικόνα 23. Παραστάσεις στην εσωτερική Ανατολική μετόπη



Εικόνα 24. Παραστάσεις στην εξωτερική Ανατολική μετόπη

4.3.2 Δημιουργία Schedules

Η δημιουργία των schedules είναι η οπτικοποίηση σε πίνακα συγκεκριμένων πεδίων της βάσης δεδομένων με καταγραφές τα μέρη που αποτελούν το μοντέλο. Η βάση είναι συνδεδεμένη με το μοντέλο και μπορεί να οπτικοποιεί τα αποτελέσματα των ερωτημάτων στο μοντέλο. Τα ερωτήματα δίδονται με ένα απλό interface και έχουν την σύνταξη και την μορφή των ερωτημάτων sql που συναντώνται σε οποιαδήποτε βάση δεδομένων. Το revit διαθέτει μάλιστα και ένα εργαλείο που οπτικοποιεί τις απαντήσεις σε διαδοχικές διαφορετικές γωνίες θεάσης κάτι που είναι αρκετά χρήσιμο όταν υπάρχουν αντικείμενα που κρύβονται από άλλες γεωμετρίες.

Στην συγκεκριμένη εφαρμογή ο σκοπός της δημιουργίας του BIM είναι η ενσωμάτωση πληροφοριών σχετικών με την τεκμηρίωση και την αποκατάσταση. Σε αυτό το πλαίσιο κινήθηκε ο σχεδιασμός του πίνακα και η δημιουργία συγκεκριμένων στηλών και ερωτημάτων.

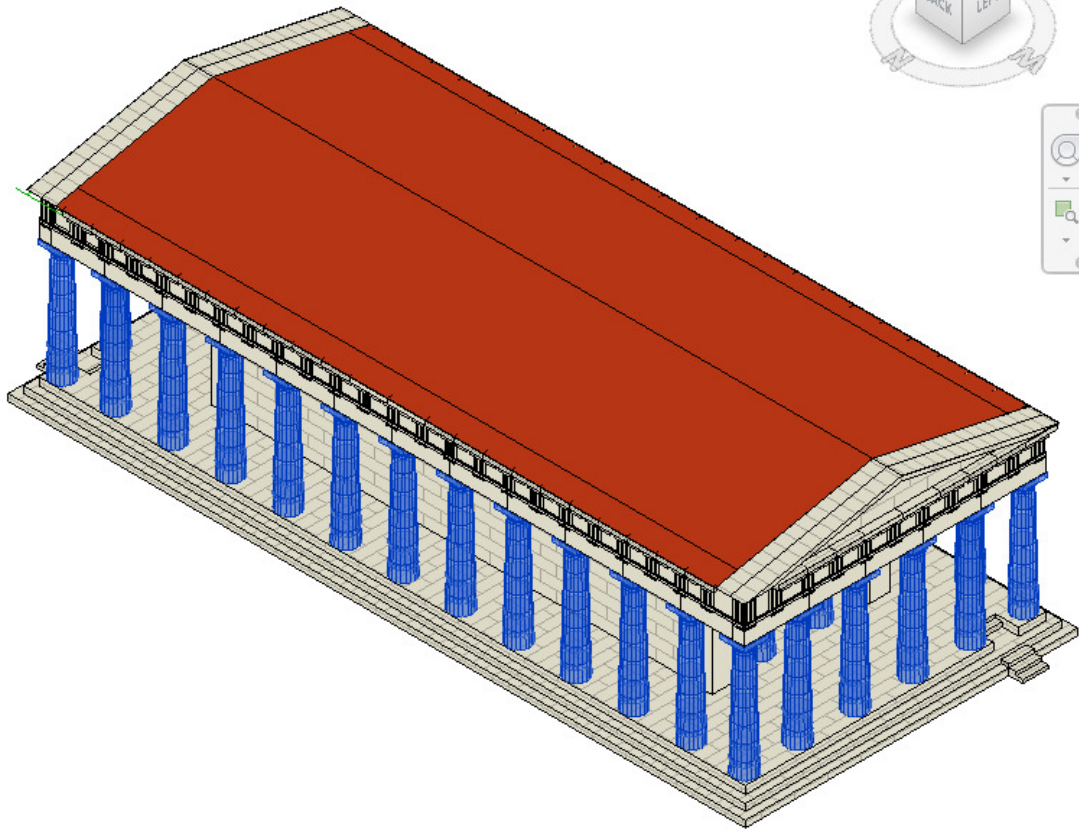
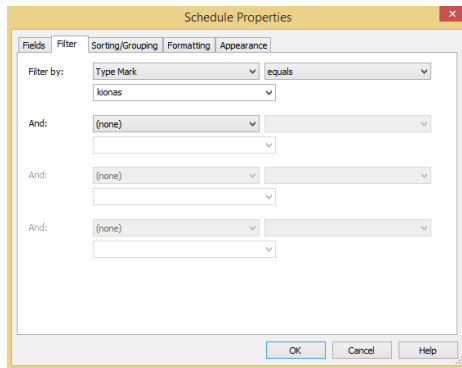
Παρακάτω θα αναφερθούν διάφορα είδη πληροφορίας και τα ερωτήματα.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1.

Χρήση του πεδίου Type Mark

Στο πεδίο Type Mark εισάγεται μια εγγραφή η οποία υιοθετείται από όλα τα αντικείμενα που ανήκουν στην ίδια οικογένεια. Επιλέχθηκε σε αυτό το πεδίο να καταγραφεί το τμήμα του ναού στο οποίο ανήκει το αντικείμενο ανάμεσα στην κρηπίδα, τον κίονα, τον θριγκό ή το αέτωμα. Η ερώτηση που συντάχθηκε της

οποίας το αποτέλεσμα φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί ήταν να εμφανιστούν στον πίνακα όσα αντικείμενα ανήκουν στους κίονες.



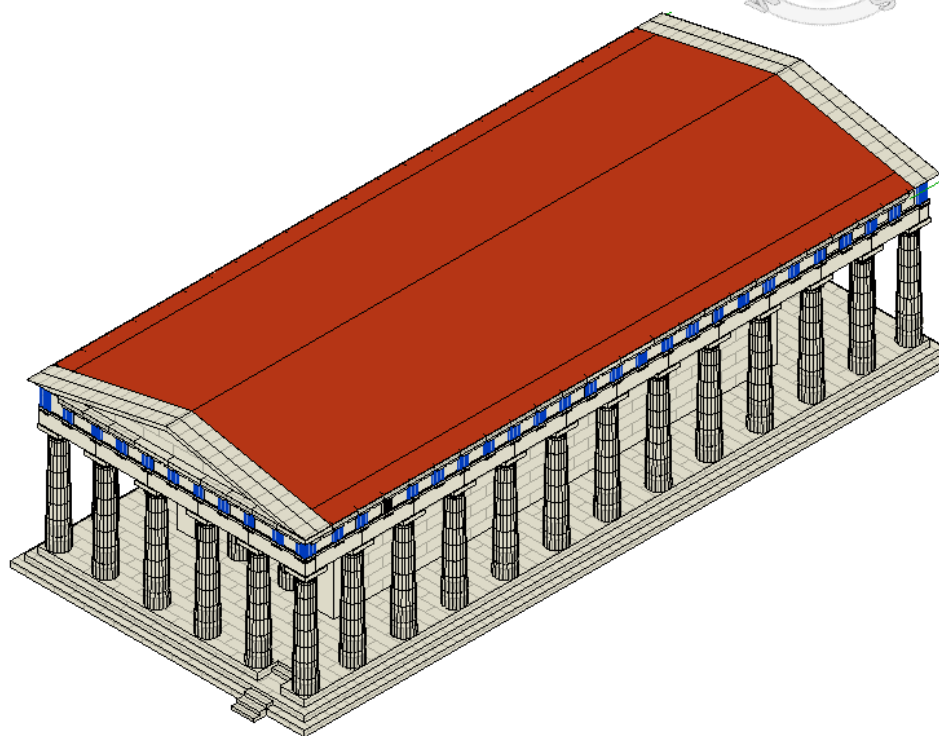
Εικόνα 25. Απάντηση ερωτήματος μερών κίωνων

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2.

Χρήση του πεδίου text με autocomplete

Μια άλλη πληροφορία που εισήχθη στο σύστημα με την μορφή κειμένου ήταν η αξιολόγηση της κατάστασης του κάθε τμήματος. Χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις διαφορετικές επιλογές καλή, μέτρια, κακή και κατεστραμμένο. Προφανώς κάποιος ειδικός μπορεί να προσθέσει δικούς του διαχωρισμούς για την περιγραφή της κατάστασης των αντικειμένων. Η ερώτηση που ετέθη ήταν να εμφανίσει τα τρίγλυφα του θριγκού που είναι σε καλή κατάσταση, να τα ομαδοποιήσει και να τα αθροίσει.

Schedule: Multi-Category Schedule - THISEIO_BIM_me_epoxes.rvt					
<Multi-Category Schedule>					
A	B	C	D	E	F
Type Mark	Family and Type	Family	Count	Comments	katastash
thrigkos		Epistylia	3		kalh
thrigkos	kanonas_me_stagones: kanonas	kanonas_me_s	9		kalh
thrigkos	triglyfa: triglyfa	triglyfa	71		kalh
Grand total: 83					



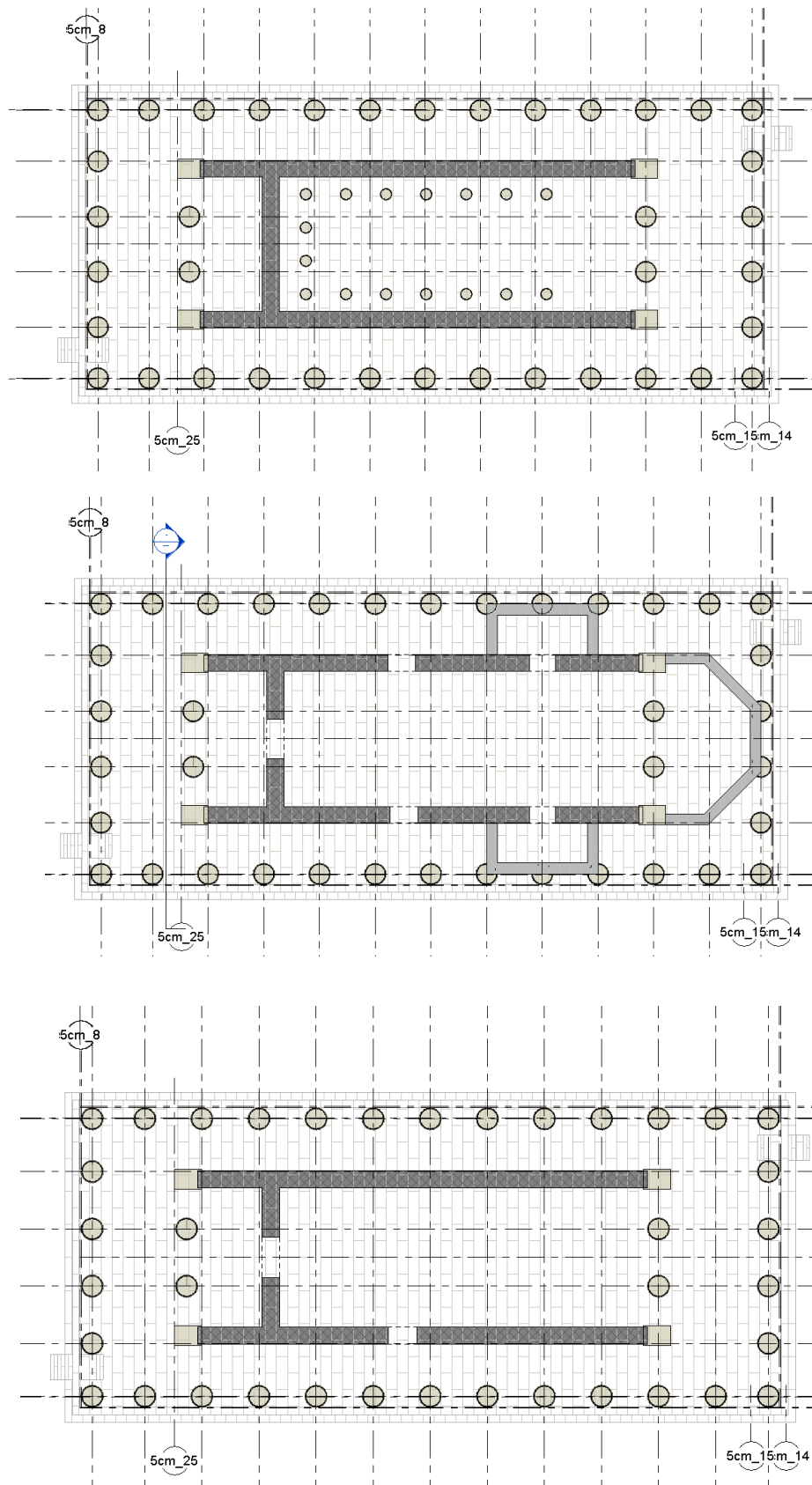
Εικόνα 22. Απάντηση ερωτήματος τρίγλυφων σε καλή κατάσταση

4.4. Phasing

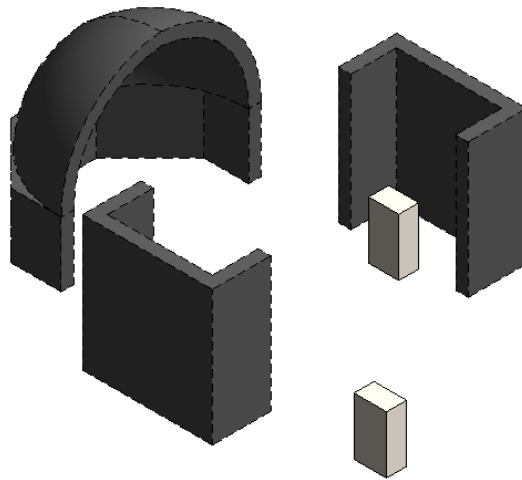
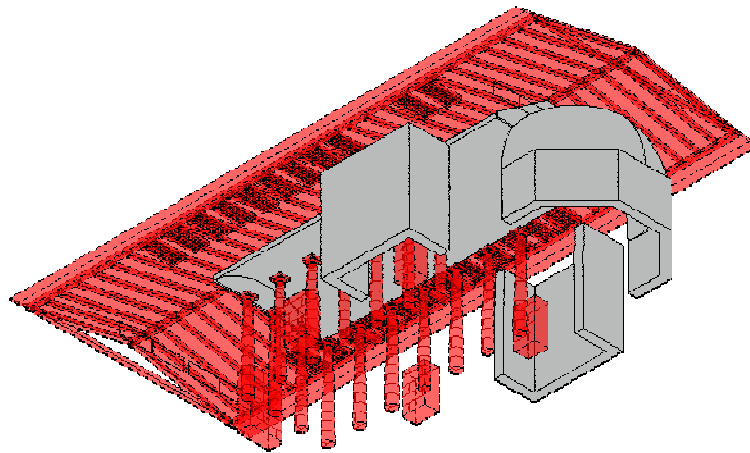
Η δυνατότητα της διαδικασίας του phasing είναι πολύ χρήσιμη τόσο για τις νέες προσθήκες σε υπάρχουσες κατασκευές αλλά και φυσικά στην παρακολούθηση της εξέλιξης ενός μνημείου το οποίο έχει υποστεί τροποποιήσεις στην μορφή και την χρήση σε διαδοχικές χρονικές περιόδους. Η λογική του είναι η παράλληλη σχεδίαση στο ίδιο μοντέλο όλων των τμημάτων με συμπλήρωση την εποχή της κατασκευής του ή της κατεδάφισης/καταστροφής του. Κάθε view του μοντέλου είτε πρόκειται για κατόψεις, τομές, όψεις ή 3D οπτικοποιεί μια συγκεκριμένη εποχή σαν βάση αναφοράς και ακολούθως επιλέγεται ο τρόπος με τον οποίο θα αναδειχθεί είτε η υφιστάμενη για την εποχή κατάσταση, οι προσθήκες, οι τροποποιήσεις κα.

Για την συγκεκριμένη εφαρμογή διακρίθηκαν τρεις διαφορετικές εποχές (phases) η πρώτη ήταν 460-450 π.Χ οπότε και κατασκευάστηκε το μνημείο. Η επόμενη ήταν 5ος αι. έως 1832 οπότε και ο ναός είχε μετατραπεί σε χριστιανική εκκλησία και η τρίτη εποχή σήμερα. Στις εικόνες που ακολουθούν παρατίθενται κάποια παραδείγματα των συνδυασμών και του οπτικού αποτελέσματος των φάσεων.

Αρχικά παρατίθενται οι τρεις κατόψεις στο επίπεδο του στυλοβάτη για τις τρεις φάσεις. Στην συνέχεια για την εποχή 5ος αι. - 1832 φαίνονται σε 3D μόνο οι προσθήκες (γκρι) και οι τροποποιήσεις (κόκκινο) και για την τρίτη εποχή οι τροποποιήσεις (λευκό) και κατεδαφίσεις (μαύρο)



Εικόνα 29. Κατόψεις τριών εποχών 460/450, 5ος αι.-1832, σήμερα



Εικόνα 30. Προσθήκες και τροποποιήσεις απο την πρώτη εποχή στην δεύτερη και απο την δεύτερη στην τρίτη

4.5 Δυσκολίες και προβληματισμοί

Κλείνοντας το κεφάλαιο της εφαρμογής θεωρείται σκόπιμη η ανάδειξη κάποιων δυσκολιών και προβληματισμών που προέκυψαν από την εκπόνηση της παραπάνω εργασίας. Πρώτος από τους προβληματισμούς ήταν κατά πόσο τελικά είναι χρήσιμη η γεωμετρική ακρίβεια μεγάλης κλίμακας στο BIM ενός μνημείου. Η χρήση του laser scanner για να αντληθεί η πληροφορία ειδικά για τις σύνθετες γεωμετρίες με μεγάλη ακρίβεια, προϋποθέτει μεγάλο όγκο μετεπεξεργασίας που δεν είναι ξεκάθαρο αν είναι σκόπιμη. Σε αυτό το ερώτημα πρέπει να κληθεί να απαντήσει και ένας αναστηλωτής που θα αναλάβει την τεκμηρίωση και θα έρθει αντιμέτωπος με ένα 3D και πολλές θεάσεις του μοντέλου τις οποίες πρέπει να διαχειριστεί. Εάν το BIM χρησιμεύει πρωτίστως στην ταξινόμηση και ενσωμάτωση της πληροφορίας είναι λογικό να χρησιμοποιηθεί ένα μοντέλο που δεν θα φέρει ακρίβεια της κλίμακας 1:50 αλλά 1:00 με μερικές γενικεύσεις.

Το παραπάνω θέμα της ακρίβειας προέκυψε και κατά το στάδιο της μοντελοποίησης. Δημιουργώντας πολλά στον αριθμό αντικείμενα με συγκεκριμένη γεωμετρία και παραλλαγές αυτής, μικρά σφάλματα στην μέτρηση των διαστάσεων μπορούν να οδηγήσουν σε κενά ή επικαλύψεις. Το πρόβλημα αυτό εμφανίστηκε πολλές φορές σε διάφορα επίπεδα του μοντέλου, όπως στην ταύτιση του μήκους που προκύπτει από τα επιστύλια με αυτό που προκύπτει από τα τρίγλυφα και τις μετόπες και από τα φατνώματα με τα δοκάρια τους. Ενδεχόμενες παραδοχές επηρεάζουν τον τρόπο που δένουν όλα μεταξύ τους. Το πρόβλημα αυτό δεν βρίσκει εφαρμογή σε πιο σύγχρονες κατασκευές από τοίχους και ανοίγματα και εφόσον δεν μοντελοποιείται ο τοίχος από ξεχωριστά μέρη.

Από τα παραπάνω προκύπτει το συμπέρασμα ότι η τεκμηρίωση ενός μνημείου πρέπει να εκμεταλλεύεται όλα τα διαθέσιμα εργαλεία για τον σκοπό που εξυπηρετεί καλύτερα το κάθε ένα. Ως εκ τούτου, είναι αναγκαία η χρήση ορθοφωτογραφίας για μέτρηση στοιχείων σε μια όψη και δεν μπορεί να αντικατασταθεί από ένα μοντέλο. Ακόμα το νέφος των σημείων δίνει την μεγαλύτερη ακρίβεια στην απεικόνιση μιας ακανόνιστης επιφάνειας και κάθε είδους γενίκευση μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια ακρίβειας και πληρότητας. Αντίστοιχα τα BIM είναι εργαλεία που έχουν την δομή για την ενσωμάτωση ετερογενών πληροφοριών σε στερεά και δίνουν την δυνατότητα της παρακολούθησης της χρονικής εξέλιξης μιας κατασκευής.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα εργασία έχει σαν σκοπό την διερεύνηση των δυνατοτήτων και της χρησιμότητας των συστημάτων BIM στην τεκμηρίωση της πολιτιστικής κληρονομιάς. Η απάντηση δεν είναι απλή. Η διαδικασία της τεκμηρίωσης ενός μνημείου είναι αρκετά χρονοβόρα και σύνθετη εξαιτίας των προδιαγραφών που πρέπει να πληρεί. Η πρόκληση της ενσωμάτωσης ετερογενών πληροφοριών σε ένα ενιαίο σύστημα αυξάνει ακόμα τον συντελεστή δυσκολίας. Από την παρούσα εργασία προκύπτει ότι τα συστήματα BIM μπορούν να ενσωματώσουν στην γεωμετρία ποιοτικές πληροφορίες σημαντικές για την τεκμηρίωση όπως φωτογραφίες, τεχνικές εκθέσεις δίνοντας μάλιστα την δυνατότητα των ερωτήσεων και της οπτικοποίησης των απαντήσεων. Εμφανίζουν δε πλεονεκτήματα σχετικά με τα GIS τόσο στην δημιουργία των παραμετρικών αντικειμένων όσο και των σχέσεων μεταξύ τους που είναι αρκετά σημαντική στην τεκμηρίωση. Στο πλαίσιο της χωρικής ανάλυσης είναι σαφές ότι τα GIS έχουν το πλεονέκτημα. Για τους παραπάνω λόγους προτείνεται ως βέλτιστη η χρήση συνδυασμού των δύο συστημάτων εφόσον προκύπτει βέβαια κάτι τέτοιο από τις ανάγκες του έργου.

Το μείζον θέμα που προκύπτει ωστόσο είναι το κατά πόσο μπορεί να γίνει τεκμηρίωση ενός μνημείου μόνο από το BIM χωρίς να υπάρχει ανάγκη για μελέτη του νέφους ή ορθοφωτογραφιών. Η αδυναμία της χρήσης φωτοϋφής στα αντικείμενα (εκτός από τις απλές επιφάνειες) καθώς και η δυσκολία που παρουσιάζει η εργασία σε ένα τρισδιάστατο σύστημα σχετικά με μετρητικές πληροφορίες, δημιουργεί αναγκαία την παρουσία ορθοφωτογραφιών για την μελέτη.

Σχετικά με την αποτύπωση της γεωμετρίας υπάρχουν δύο δυνατότητες. Η πρώτη περιλαμβάνει την ξεχωριστή μοντελοποίηση κάθε αντικείμενου από το νέφος σημείων δημιουργώντας πολλά μοναδικά αντικείμενα, ενώ η δεύτερη περιλαμβάνει την χρήση όμοιων μοντέλων για αντικείμενα ίδιας αρχικής μορφής και διαφοροποίησή τους στο επίπεδο της ποιοτικής πληροφορίας. Η πρώτη αν και γεωμετρικά ορθότερη είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα και δύσκολη να εφαρμοστεί δημιουργώντας μάλιστα ένα αποτέλεσμα μικρότερης μετρητικής αξιοπιστίας από το αρχικό μοντέλο νέφους, το οποίο θα είναι πάλι αναγκαίο. Η δεύτερη, που υιοθετήθηκε και στην παρούσα εργασία, έχει την κατεύθυνση της πιο απλοϊκής και ομοιόμορφης γεωμετρίας και χρήση του BIM ως ενός εργαλείου αποθήκευσης και διαχείρισης πληροφοριών και όχι μοντέλου

μετρητικά αξιόπιστου. Η επιλογή της κατάλληλης μεθοδολογίας σχετίζεται πρωτίστως με τις προδιαγραφές και τις ανάγκες του χρήστη.

Συμπερασματικά, για την τεκμηρίωση ενός μνημείου προτείνεται μια συνδυαστική λύση χρησιμοποιώντας παράλληλα το BIM, ένα σύστημα GIS, το μοντέλο του νέφους και ορθοφωτογραφίες με την λογική της χρήσης καθενός στον τομέα που παρουσιάζει συγκριτικό πλεονέκτημα έναντι των άλλων. Έτσι το BIM δεν θα αποτελέσει πηγή μετρητικής πληροφορίας και λεπτομερειών οι οποίες σε κάθε περίπτωση θα προκύπτουν από τα ακριβή γεωμετρικά μοντέλα των νεφών και τις ορθοφωτογραφίες, αλλά θα αποτελεί το εργαλείο καταγραφής, διαχείρισης και επεξεργασίας των διαφόρων ετερογενών πληροφοριών.

6. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ

1. Fai, S., Graham, K., Duckworth, T., Wood, N., Attar, R., *Building Information Modeling and Heritage Documentation*, CIPA 2011 XXIII International Symposium, Prague, Czech
2. Garagnani, S., Manfredini, A. M., *Parametric Accuracy: Building Information Modeling Process Applied to the Cultural Heritage Preservation*, 4th ISPRS International Workshop "3D-ARCH" 2013, Trento, Italy
3. F.I. Apollonio , M. Gaiani , Z. Sun, *3D MODELING AND DATA ENRICHMENT IN DIGITAL RECONSTRUCTION OF ARCHITECTURAL HERITAGE* , 2013
4. Matteo Del Giudice , Anna Osello, *BIM FOR CULTURAL HERITAGE*,
5. *IMPROVING TRADITIONAL BUILDING REPAIR CONSTRUCTION QUALITY USING HISTORIC BUILDING INFORMATION MODELING CONCEPT*, T. C. Wua , Y.C. Lin, M. F. Hsu, N. W. Zheng, W. L. Chen ,2013
6. *Integration of Historic Building Information Modeling (HBIM) and 3D GIS for Recording and Managing Cultural Heritage Sites* Conor Dore,M.Murphy,2012
7. M.Murphy, Eugene McGovern, Sara Pavia, *Historic Building Information Modelling - Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture*, ISPRS, Jan.2013
8. Simeone, Davide, Stefano Cursi, Ilaria Toldo, Gianfranco Carrara, *"B(H)IM - Built Heritage Information Modelling - Extending BIM approach to historical and archaeological heritage representation."* In Fusion, Proceedings of the 32nd International Conference on Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe, 613-622. Vol. 1. eCAADe: Conferences 1. Newcastle upon Tyne, UK: Northumbria University, 2014.

ΒΙΒΛΙΑ

1. Robert Chitham, *The classical orders of architecture*, Rizzoli New York 1985
2. Χαράλαμπος Μπούρας, *Μαθήματα Ιστορίας Αρχιτεκτονικής*, Συμμετρία 1999
3. John M. Camp, *Η αρχαία αγορά της Αθήνας*, Μορφ. Ίδρυμα Εθν. Τραπέζης 2004
4. Πέτρος Κουφόπουλος, *Σημειώσεις Μαθήματος Αποκαταστάσεις Κτηρίων 1*, Τμήματος Αρχιτεκτόνων Παν.Πατρών,2003

5. Craig A. Mauzy, *Οι ανασκαφές στην Αγορά της Αθήνας 1931-2006*, ΑΣΚΣΑ 2006
6. Διπλωματική εργασία "*BIM Development for Cultural Heritage Management*", Bregianni A., 2013
7. Eastman et.al, *BIM HANDBOOK*, John WWiley & Sons Inc, 2011
8. AGC (Associated General Contractors) of America, *The Contractors' Guide to BIM Edition 1*, 2005