



Πανεπιστήμιο Πειραιώς – Τμήμα Πληροφορικής  
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών  
«Προηγμένα Συστήματα Πληροφορικής»

Μεταπτυχιακή Διατριβή

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Τίτλος Διατριβής      | <b>Συστηματικός εντοπισμός βλαβών και διαχείριση της πληροφορίας με χρήση ψηφιακών μεθόδων και μοντέλων δομικών πληροφοριών για ιστορικές κατασκευές (HBIM)</b><br><b>Systematic fault detection and information management using digital methods and structural information models for historic structures (HBIM)</b> |
| Όνοματεπώνυμο Φοιτητή | <b>Ελένη Ζαρογιάννη</b>  |
| Πατρώνυμο             | <b>Ιωάννης</b>   |
| Αριθμός Μητρώου       | <b>ΜΠΣΠ/17022</b>  |
| Επιβλέπων             | <b>Δημήτριος Βέργαδος, Καθηγητής</b>   |

**Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή**

(υπογραφή)

(υπογραφή)

(υπογραφή)

Δημήτριος Βέργαδος  
Καθηγητής

Άγγελος Μιχάλας  
Καθηγητής

Ιωάννης Αναγνωστόπουλος  
Αναπληρωτής. Καθηγητής

## Περίληψη

Η μεταπτυχιακή εργασία είναι αποτέλεσμα έρευνας πάνω στην διαχείριση της πληροφορίας με χρήση σύγχρονων ψηφιακών μεθόδων και μοντέλων δομικών πληροφοριών σε ιστορικές κατασκευές, όπως αυτή προέκυψε μετά από εκτενή βιβλιογραφική έρευνα, αλλά και στη διερεύνηση εφαρμογής της μεθόδου σε μία ιστορική κατασκευή στο πλαίσιο εκπόνησης μιας μελέτης αποκατάστασης. Στο πλαίσιο της εργασίας πραγματοποιείται βιβλιογραφική έρευνα σχετικά με την εφαρμογή του μοντέλου κτηριακών πληροφοριών (BIM) στη διαχείριση της Πολιτιστικής Κληρονομιάς, μία μέθοδος που αναπτύσσεται ολοένα και περισσότερο, προκαλώντας θετικές αντιδράσεις από τους εμπλεκόμενους φορείς, ενώ το ερευνητικό ενδιαφέρον για την εξάπλωση και βελτίωση της μεθόδου μεγαλώνει διαρκώς. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε στην περίπτωση μιας υπάρχουσας ιστορικής κατασκευής, στο πλαίσιο εκπόνησης μιας μελέτης αποκατάστασης, εξετάζοντας και αναλύοντας τα στάδια για την συλλογή των απαιτούμενων στοιχείων, την κατασκευή του μοντέλου προσομοίωσης, τους ελέγχους και τα αποτελέσματα που λαμβάνονται. Η εργασία καταλήγει στην παραγωγή του 3D μοντέλου της εκκλησίας στο πρόγραμμα REVIT της Autodesk, όπου τελικά γίνεται και η φωτορεαλιστική απόδοση του τρισδιάστατου μοντέλου, προκειμένου να είναι εφικτός στη συνέχεια ο εμπλουτισμός του με όλες τις επιπρόσθετες πληροφορίες που μπορούν να συμπεριληφθούν σε BIM μοντέλα.

**Abstract**

Building Information Modeling (BIM) is the most modern, effective and functional technology applied in the AEC field nowadays, since it has numerous possibilities in combining data of multiple kinds in a readable format accessible by different scientists and experts. Research and discussion on Heritage BIM, an effort of describing the application of BIM technology in historic buildings, is being carried out at an increasing scale lately, as most countries realise that preservation of cultural heritage is closely related to the future and prosperity of humanity. By its definition BIM seems to be ideal for issues regarding existing structures and monuments in particular, because it has the ability to integrate different type of data, from architectural design to historical and structural information, as well as pathology and intervention techniques. However, the complexity of this combination from computational point of view as well as architectural one is the main reason for its slow integration in the field of restoration of monuments. Specifically, BIM's difficulty in sustaining the highest architectural accuracy of the construction, regarding shape irregularities like wall inclinations, severe pathology on its structure, etc is preventing its wide implementation from restorers. This thesis focuses on a restoration project in a byzantine church on the island of Crete in Greece, a monument with frescos of significant value. Architectural survey was executed by using Faro's 3D Multisensor Focus Laser Scanner, whereas highly accurate architectural designs were made in Autocad using Bentley Pointools View. As far as the pathology diagnosis, in order to deal with issues concerning the highest possible level of accuracy, a methodology using digital processing of selected orthophotos was followed. This methodology can be used not only on pathology survey, but also on monitoring of the structure through time, arriving to significant conclusions about gradual deterioration of a building and necessity of urgent interventions. The procedure allows scientists in the field of cultural heritage restoration to document accurately a historic building and collect pathology information that can be used on an HBIM central repository. Thesis ends with the creation of a 3D model in Revit Architecture 2021, that can be enriched in the future with all the necessary restoration information and documentation.

**ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....   | 7  |
| 2     | ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑ – ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΜΝΗΜΕΙΑ .....  | 8  |
| 2.1   | Γενικά - ορισμοί.....   | 8  |
| 2.2   | Χάρτες – Κανόνες και αρχές προστασίας και επεμβάσεων .....  | 8  |
| 2.3   | Ελληνικό νομικό καθεστώς προστασίας μνημείων – αρχαιολογικός νόμος .....                            | 9  |
| 2.3.1 | Πνευματικά δικαιώματα επί μνημείων και έργων σε αυτά.....   | 9  |
| 2.3.2 | Εθνικό Αρχείο Μνημείων .....  | 11 |
| 2.4   | Μεταδεδομένα – πρακτικές τεκμηρίωσης ακίνητων μνημείων .....  | 13 |
| 3     | ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ BIM .....  | 16 |
| 3.1   | Ιστορικά στοιχεία - Εμφάνιση .....  | 16 |
| 3.2   | Ορισμός.....  | 17 |
| 3.3   | Λογισμικά BIM - Διαφορές από CAD .....  | 17 |
| 3.4   | Χαρακτηριστικά – περιγραφή .....  | 19 |
| 3.5   | Διαλειτουργικότητα .....  | 22 |
| 3.6   | Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου .....   | 22 |
| 3.7   | Ανάπτυξη του BIM σε παγκόσμιο επίπεδο – Παραδείγματα εφαρμογών .....                                | 24 |
| 4     | HERITAGE BIM.....   | 29 |
| 4.1   | Ορισμός του Η(Heritage ή Historic)BIM - Γενικά χαρακτηριστικά.....                                  | 29 |
| 4.2   | Νομοθεσία μεθοδολογίας μελετών σε μνημεία .....   | 31 |
| 4.3   | Στάδια διαδικασίας εφαρμογής του BIM σε ιστορικές κατασκευές .....                                  | 33 |
| 4.3.1 | Ιστορική και επιτόπια έρευνα .....  | 36 |
| 4.3.2 | Αποτύπωση .....   | 36 |
| 4.3.3 | Διαχείριση δεδομένων αποτύπωσης.....  | 37 |
| 4.3.4 | Μοντελοποίηση .....   | 37 |
| 4.4   | Παραδείγματα από τη βιβλιογραφική έρευνα.....   | 39 |
| 4.5   | Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της εφαρμογής BIM στη διαχείριση της Πολιτιστικής Κληρονομιάς ..... | 43 |
| 5     | ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ – ΙΕΡΟΣ ΝΑΟΣ ΑΓΙΟΥ ΙΩΑΝΝΗ ΠΡΟΔΡΟΜΟΥ ΡΕΘΥΜΝΟΥ .....                                | 46 |

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>5.1</b> | <b>Ιστορικά στοιχεία .....</b>                                 | <b>46</b> |
| <b>5.2</b> | <b>Αρχιτεκτονική του ναού - περιγραφή.....</b>                 | <b>48</b> |
| 5.2.1      | Εξωτερικό του Ναού –υλικά και τρόπος δόμησης.....              | 49        |
| 5.2.2      | Εσωτερικό του Ναού – Εικονογραφικός διάκοσμος.....             | 52        |
| <b>5.3</b> | <b>Αποτύπωση και μοντελοποίηση του ναού .....</b>              | <b>55</b> |
| 5.3.1      | Μεθοδολογία αποτύπωσης – εργασίες πεδίου .....                 | 55        |
| 5.3.2      | Μοντελοποίηση νέφους σημείων – point cloud modelling.....      | 58        |
| 5.3.3      | Παραγωγή τρισδιάστατου αρχείου και ορθοφωτογραφιών .....       | 63        |
| 5.3.4      | Παραγωγή σχεδίων CAD .....                                     | 64        |
| <b>5.4</b> | <b>Μέθοδος μελέτης παθολογίας .....</b>                        | <b>65</b> |
| 5.4.1      | Οπτικός εντοπισμός βασικών φθορών – βλαβών του μνημείου.....   | 65        |
| 5.4.2      | Συστηματικός εντοπισμός βλαβών με χρήση ψηφιακών μεθόδων ..... | 67        |
| 5.4.3      | Καταγραφή παθολογίας με κατηγοριοποίηση βλαβών .....           | 71        |
| <b>5.5</b> | <b>Εισαγωγή μοντέλου στο πρόγραμμα REVIT.....</b>              | <b>75</b> |
| 5.5.1      | Τεχνικά χαρακτηριστικά λογισμικού.....                         | 75        |
| 5.5.2      | Διαδικασία σχεδιασμού μοντέλου στο Revit της Autodesk.....     | 75        |
| 5.5.3      | Δυνατότητες εξέλιξης.....                                      | 83        |
| <b>6</b>   | <b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>                                       | <b>86</b> |
| <b>7</b>   | <b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>                                       | <b>87</b> |

## 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μεταπτυχιακή εργασία είναι αποτέλεσμα έρευνας πάνω στην διαχείριση της πληροφορίας με χρήση σύγχρονων ψηφιακών μεθόδων και μοντέλων δομικών πληροφοριών σε ιστορικές κατασκευές, όπως αυτή προέκυψε μετά από εκτενή βιβλιογραφική έρευνα, αλλά και στη διερεύνηση εφαρμογής της μεθόδου σε μία ιστορική κατασκευή στο πλαίσιο εκπόνησης μιας μελέτης αποκατάστασης.

Η εργασία είναι χωρισμένη σε τέσσερα κεφάλαια, όπως αναλύονται σύντομα παρακάτω:

Το πρώτο κεφάλαιο αναφέρεται στις βασικές έννοιες της πολιτιστικής και αρχιτεκτονικής κληρονομιάς, με αναφορά στις αξίες που υπάρχουν σε ένα ιστορικό κτήριο – μνημείο, καθώς και στο νομικό καθεστώς που υπάρχει στην Ελλάδα σε σχέση με τα μνημεία, τόσο ως προς τη διαδικασία εκπόνησης των μελετών αποκατάστασης, όσο και ως προς τη διαχείριση της ψηφιακής πληροφορίας που παράγεται από τις διάφορες μελέτες που εκπονούνται σε αυτά.

Το δεύτερο κεφάλαιο εστιάζει στην έννοια της τεχνολογία του BIM (Building Information Modeling), η οποία αναπτύχθηκε με σκοπό την αύξηση της παραγωγικότητας στον τομέα των κατασκευών, καθώς παρέχει τα μέσα για την αποθήκευση της πληροφορίας σχετικής με οποιοδήποτε στοιχείο του κτιρίου, όπως το σύνολο των απαιτούμενων μελετών, τα υλικά και τον κατασκευαστή τους, καθώς παράλληλα και τον προγραμματισμό των εργασιών στο εργοτάξιο. Αναφέρονται τα θετικά της τεχνολογίας και οι τρόποι με τους οποίους μπορεί να συμβάλει στην αντιμετώπιση των προβλημάτων μιας νέας κατασκευής. Τέλος, αναφέρεται το επίπεδο της ζήτησης παγκοσμίως, καθώς επίσης και η μελλοντική ανάπτυξη της τεχνολογίας τόσο σε παγκόσμιο επίπεδο όσο και στην Ελλάδα.

Το τρίτο κεφάλαιο αφορά στην εκτενή βιβλιογραφική έρευνα που διενεργήθηκε σχετικά με την εφαρμογή του BIM σε ιστορικά κτήρια (HBIM), όπως γίνεται αυτή τη στιγμή παγκοσμίως, καθώς η διαδικασία που ακολουθείται σε υπάρχουσες κατασκευές διαφοροποιείται από αυτές που σχεδιάζονται εξ αρχής. Αρχικά περιγράφονται αναλυτικά τα στάδια που ακολουθούνται κατά τη διαδικασία εφαρμογής της μεθόδου, αναφέρονται τα τεχνικά ζητήματα που προκύπτουν κατά τη διαδικασία εφαρμογής της σε υπάρχοντα κτήρια και γίνεται μια προσπάθεια «κατηγοριοποίησης» των χρησιμοποιούμενων λογισμικών και μεθοδολογίας που ακολουθείται παγκοσμίως.

Το τέταρτο κεφάλαιο αναφέρεται αναλυτικά στη διαδικασία που ακολουθήθηκε στην περίπτωση μιας υπάρχουσας ιστορικής κατασκευής, στο πλαίσιο εκπόνησης μιας μελέτης αποκατάστασης, εξετάζοντας και αναλύοντας τα στάδια για την συλλογή των απαιτούμενων στοιχείων, την κατασκευή του μοντέλου προσομοίωσης, τους ελέγχους και τα αποτελέσματα που λαμβάνονται. Εξετάζεται αναλυτικά η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, με σύντομη παρουσίαση των χρησιμοποιούμενων λογισμικών, με σχολιασμό των δυσκολιών και αιτιολόγηση των βημάτων, κάνοντας παράλληλα τις αντίστοιχες βιβλιογραφικές αναφορές, και παρουσιάζονται τα βασικότερα αποτελέσματα κάθε σταδίου. Η εργασία καταλήγει στην παραγωγή του 3D μοντέλου της εκκλησίας στο πρόγραμμα REVIT της Autodesk, όπου τελικά γίνεται και η φωτορεαλιστική απόδοση του τρισδιάστατου μοντέλου, προκειμένου να είναι εφικτός στη συνέχεια ο εμπλουτισμός του με όλες τις επιπρόσθετες πληροφορίες που μπορούν να συμπεριληφθούν σε BIM μοντέλα.

Στο τελευταίο κεφάλαιο περιέχονται τα συμπεράσματα και αποτελέσματα από τη θεωρητική και πρακτική έρευνα, καθώς επίσης και προτάσεις για περαιτέρω ανάπτυξη του μοντέλου και της εργασίας στο μέλλον. Επίσης, εξάγονται συμπεράσματα για την χρήση της τεχνολογίας BIM στο πλαίσιο εργασιών αποκατάστασης και προστασίας ιστορικών κατασκευών και οι προοπτικές εξέλιξης της μεθόδου για την προστασία, ανάδειξη και αιφορία της πολιτιστικής κληρονομιάς.

## 2 ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑ – ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΜΝΗΜΕΙΑ

### 2.1 Γενικά - ορισμοί

Σύμφωνα με το I.C.O.M.O.S. [1] (International Council on Monuments and Sites), ως *μνημείο* ορίζεται κάθε ακίνητο, κτισμένο ή όχι το οποίο διακρίνεται για το αρχαιολογικό, το ιστορικό, το αισθητικό ή το εθνογραφικό του ενδιαφέρον. Στον ορισμό περιλαμβάνονται τα ακίνητα αγαθά τα οποία θεωρούνται διατηρητέα λόγω της φύσης ή του προορισμού τους, καθώς και τα κινητά που βρίσκονται μέσα στα μνημεία.

Το σύνολο των μνημείων ενός τόπου, δηλαδή των φυσικών αντικειμένων του, συνθέτουν, σε συνδυασμό με άλλα υλικά και άυλα χαρακτηριστικά που έχουν διατηρηθεί από το παρελθόν, την πολιτιστική κληρονομιά του. Επομένως, ο όρος *Πολιτιστική Κληρονομιά* περιλαμβάνει τον από πολιτισμό (όπως κτήρια, μνημεία, τοπία, βιβλία, έργα τέχνης και τεκμήρια), τον άυλο πολιτισμό (όπως τη λαογραφία, τις παραδόσεις, τη γλώσσα και τη γνώση) και τη «φυσική» κληρονομιά, δηλαδή σημαντικά πολιτιστικά τοπία και βιοποικιλότητα. Κάθε κοινωνία οφείλει να διαφυλάττει, να διατηρεί και να προστατεύει την πολιτιστική της κληρονομιά, καθώς αυτή είναι μοναδική και πολύτιμη. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω εθνικών φορέων αλλά και πολλών δημόσιων ή μη οργανισμών που έχουν ιδρυθεί τόσο σε τοπικό και εθνικό επίπεδο, πχ. Αρχαιολογική Εταιρεία, Monumenta, όσο και σε παγκόσμιο, πχ. ICOMOS, UNESCO.

### 2.2 Χάρτες – Κανόνες και αρχές προστασίας και επεμβάσεων

Το ζήτημα της μνημειακής προστασίας, αποκατάστασης και διαχείρισης όπως το αντιλαμβανόμαστε σήμερα, μορφοποιήθηκε και διαδόθηκε στην Ευρώπη από τον 18<sup>ο</sup> αι. και μετά, καθώς έγινε πλέον συνειδητή η σημασία των μνημείων ως φορέων μνήμης και πνευματικών αξιών απαραίτητων για την πρόοδο και ψυχική ισορροπία των σύγχρονων και μελλοντικών γενεών. Από εκείνη την περίοδο αρχίζουν να διατυπώνονται διάφορες θεωρητικές προσεγγίσεις επί των θεμάτων της αποκατάστασης, οι οποίες συνεχώς εξελίσσονται (i. Χάρτα των Αθηνών 1931, The Athens Charter for the Restoration of Historic Monuments, ii. Σύμβαση της Χάγης, περί προστασίας των πολιτιστικών αγαθών σε περίπτωση ένοπλης σύρραξης, Hague Convention for the Protection of Cultural property in the Event of Armed Conflict (1954), Cultural Heritage Policy Documents (Getty Conservation) φτάνοντας τελικά στην Χάρτα της Βενετίας του 1964, που αποτελεί σήμερα το βασικό ισχύον κανονιστικό κείμενο αρχών επέμβασης στα μνημεία, καθώς τον 20<sup>ο</sup> αι. παγιώθηκε πλέον η αντίληψη ότι η προστασία των μνημείων είναι κατ' αρχήν κρατική αρμοδιότητα. Σημειώνεται εδώ ότι χρονικά το μεγαλύτερο μέρος των Συστάσεων και Χαρτών αφενός έπονται δύο παγκοσμίων πολέμων που επέφεραν σημαντικές καταστροφές πολιτιστικών μνημείων και αφετέρου είναι σύγχρονα με την μεγάλη οικονομική και απρογραμμάτιστη οικιστική ανάπτυξη που ακολούθησε, απειλώντας τόσο τον φυσικό όσο και τον μνημειακό πλούτο των χωρών.

Σε ό,τι αφορά τον τομέα των αποκαταστάσεων των αρχιτεκτονικών μνημείων, δεν υπάρχει μέχρι σήμερα συγκεκριμένο νομοθετικό πλαίσιο, αλλά ακολουθούνται σε επίπεδο αρχών και κατευθύνσεων κυρίως η Χάρτα της Βενετίας (και κατά περίπτωση οι μεταγενέστερες συστάσεις – συμβάσεις), σύμφωνα με την οποία, η ορθή πρόταση αποκατάστασης οφείλει, μεταξύ άλλων, να σέβεται την αυθεντικότητα και την ακεραιότητα του μνημείου, ενώ οι προτεινόμενες επεμβάσεις θα πρέπει να διέπονται από την αρχή της αναστρεψιμότητας. Με αυτό τον τρόπο η επιστημονική κοινότητα, γνωρίζοντας τις συνεχείς εξελίξεις, προτίθεται να προστατεύσει τα ιστορικά δημιουργήματα από τυχόν λάθη και αβλεπίες του παρόντος χρόνου, αφήνοντας τη δυνατότητα διόρθωσης – βελτίωσης μιας τεχνικής λύσης στο μέλλον, με την εξέλιξη της τεχνολογίας και τεχνολογίας.

Ο χώρος των αποκαταστάσεων μέχρι και σήμερα βρίσκεται υπό διαρκή αναδιαμόρφωση, ανταλλαγή και επαναδιατύπωση ιδεολογικών και επιστημονικών απόψεων. Αυτό οφείλεται αφενός στην πρόοδο της επιστήμης, δηλαδή στην ανάπτυξη των σύγχρονων διαγνωστικών μεθόδων, των νέων υλικών, της μηχανικής, των αναλυτικών υπολογιστικών εργαλείων με ηλεκτρονικούς υπολογιστές, και αφετέρου στις διαρκώς μεταβαλλόμενες ανάγκες της εποχής, που επιβάλλουν σε πολλές περιπτώσεις την επανάχρηση των μνημείων, γεγονός που ενδέχεται συστηματικός εντοπισμός βλαβών και διαχείριση της πληροφορίας με χρήση ψηφιακών μεθόδων και μοντέλων δομικών



να συνεπάγεται τροποποιήσεις της μορφής ή και των υλικών δόμησής τους. Ο συνδυασμός των ανωτέρω αφενός μεταξύ τους και αφετέρου με τις αρχές αναστήλωσης αποτελεί συχνά μια πρόκληση τόσο σχεδιαστική όσο και υπολογιστική για τους επιστήμονες. Στον ελληνικό χώρο που ο μνημειακός πλούτος ξεκινάει από την κλασική αρχαιότητα και φτάνει μέχρι τα νεότερα χρόνια, τα ίδια τα μνημεία αποτελούν φορείς μνήμης της κάθε εποχής και είναι πολλές οι περιπτώσεις που φέρουν σημάδια από όλη την ιστορική τους πορεία. Για παράδειγμα, πολλά βυζαντινά μνημεία έχουν φάσεις νεοκλασικές, όπως και κλασικά μνημεία έχουν ρωμαϊκές επιρροές σε τμήματά τους. Η ιστορική και κατασκευαστική έρευνα αποτελεί εργασία ξεχωριστή για κάθε μνημείο, δεν μπορεί να τεθεί σε συγκεκριμένους κανόνες όπως μία σύγχρονη κατασκευή και απαιτεί το συνδυασμό μεγάλου εύρους γνώσεων, τόσο ιστορικών-αρχαιολογικών, όσο και αρχιτεκτονικών, κοινωνικών και δομικών. Η ιστορικότητα κάθε κτίσματος και η προβολή του μέσω μιας σύγχρονης, πλέον, μορφής που θα συνδυάζει τα στοιχεία του παρελθόντος αρμονικά και καλαίσθητα, είναι ένα από τα ζητούμενα μιας επιτυχημένης αποκατάστασης

Η διάσωση και η διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς είναι εξίσου σημαντική με τη διάδοση της και την εκτίμησή της από τον λαό κάθε χώρας, ώστε αυτός να συνειδητοποιήσει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της πολιτιστικής και συνεπώς της εθνικής του ταυτότητας. Ήδη από τις αρχές της Ουνέσκο το 1956 σημειωνόταν η ανάγκη εκπαίδευσης του κοινού ως προς τη σημασία των αρχαιοτήτων. Τα μνημεία, υλικά και άυλα, ενός λαού τονίζουν την ιδιαίτερη πολιτιστική φυσιογνωμία και ιστορία του, και αντιτίθεται στην τάση για διεθνοποίηση και τυποποίηση που επιφέρει η τεχνολογική εξέλιξη και η ανάπτυξη των μέσων μαζικής επικοινωνίας. Για το λόγο αυτό, η νομοθεσία προβλέπει ότι η προβολή των πολιτιστικών αγαθών αποτελεί ευθύνη της πολιτείας, μέσω της διάδοσης της γνώσης (άρθρο 39 περί δημοσίευσης των ευρημάτων των αρχαιολογικών έργων και αρ. 44 του Ν.3028/02) αλλά και μέσω της λειτουργίας φορέων πολιτισμού, μουσείων, πολιτιστικών ιδρυμάτων, κλπ.

### **2.3 Ελληνικό νομικό καθεστώς προστασίας μνημείων – αρχαιολογικός νόμος**

Στην Ελλάδα η προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς αποτελεί ευθύνη του κράτους (Άρθρο 24, παρ. 1 και 6 του Συντάγματος) και συνίσταται στην ανεύρεση, τη συστηματική καταγραφή, τη μελέτη, τη συντήρηση, την αποκατάσταση και την ανάδειξη των πολιτιστικών αγαθών καθώς και στην εξασφάλισή τους από κινδύνους κλοπής, βλάβης και καταστροφής (Αρ. 3 Ν.3028/2002). Ο φορέας προστασίας είναι το Υπουργείο Πολιτισμού και το νομικό πλαίσιο περιλαμβάνει τον εν ισχύ αρχαιολογικό νόμο 3028/2002 [2] «Για την προστασία των Αρχαιοτήτων και εν γένει της Πολιτιστικής Κληρονομιάς», και σειρές διατάξεων για επιμέρους συμπληρωματικά ζητήματα.

Σύμφωνα με το άρθρο 7 του νόμου, τα μνημεία πριν το 1453 ανήκουν στο Δημόσιο κατά κυριότητα και νομή, ενώ για όλα τα υπόλοιπα, οι κύριοι ή νομείς υποχρεούνται να τηρούν τις διατάξεις του. Καμία εργασία επί μνημείου δεν επιτρέπεται χωρίς σχετική άδεια (αρθ.10) που χορηγείται με απόφαση του Υπουργού Πολιτισμού ύστερα από γνωμοδότηση του αρμόδιου Συμβουλίου.

#### **2.3.1 Πνευματικά δικαιώματα επί μνημείων και έργων σε αυτά**

Σύμφωνα με τον αρχαιολογικό νόμο, το Δημόσιο, μέσω του Υπουργείου Πολιτισμού, έχει το σύνολο των εξουσιών επί των μνημείων της χώρας, και είναι ο δικαιούχος των πνευματικών δικαιωμάτων της πολιτιστικής κληρονομιάς. Συγκεκριμένα, όπως προκύπτει από τις διατάξεις των άρθρων 39, 44 και 46 του Ν.3028/02, η δημοσίευση εργασιών και αρχαιολογικών ευρημάτων, η πρόσβαση, αναπαραγωγή, φωτογράφιση ή κινηματογράφηση μνημείων ελέγχονται από το Κράτος, το οποίο καθορίζει τους όρους και τις προϋποθέσεις υπό τις οποίες επιτρέπεται η κάθε είδους πρόσβαση και χρήση των μνημείων, με απώτερο σκοπό πάντα την προστασία και διατήρησή τους.

Ο αρχαιολογικός νόμος θεωρώντας, όπως αναφέρθηκε, ότι το Δημόσιο είναι ο δικαιούχος των πνευματικών δικαιωμάτων της πολιτιστικής κληρονομιάς [3], προβλέπει την τήρηση των διατάξεων του αρθ. 46 του Ν.3028/02 και των υπουργικών αποφάσεων για τον καθορισμό των όρων και τελών επί της προβολής, παραγωγής και αναπαραγωγής οπτικοακουστικών έργων και

Συστηματικός εντοπισμός βλαβών και διαχείριση της πληροφορίας με χρήση ψηφιακών μεθόδων και μοντέλων δομικών

πληροφοριών για ιστορικές κατασκευές (HBIM)

απεικονίσεων μνημείων. Σε όλες τις περιπτώσεις άμεσου ή έμμεσου εμπορικού ή οικονομικού αλλά και καλλιτεχνικού, εκπαιδευτικού ή επιστημονικού σκοπού (αρ.46 παρ.4 και 5 του Ν.3028/02) απαιτείται προηγούμενη άδεια, κατόπιν ανάλυσης και αιτιολόγησης του σκοπού, περιγραφής του περιεχομένου και υπό τον όρο ότι η άδεια θα ισχύει αποκλειστικά για τη συγκεκριμένη χρήση, αποκλείοντας οποιαδήποτε διαφοροποίηση ή παραχώρηση σε τρίτους.

### **Ψηφιακή προβολή μνημείων**

Στην περίπτωση της ψηφιακής προβολής ενός τεχνικού έργου, με δεδομένο ότι θα περιλαμβάνονται: α) τα σχέδια της μελέτης, β) φωτογραφικό - οπτικοακουστικό υλικό από τη διαδικασία κατασκευής/υλοποίησης και γ) ψηφιακή επεξεργασία – σύνθεση των ανωτέρω, οι σχετικές άδειες θα πρέπει να περιλαμβάνουν τη σύμφωνη γνώμη του μελετητή (ειδικά εάν πρόκειται για ιδιώτη), τηρώντας πάντα το ηθικό δικαίωμα και την αναγνώριση της πατρότητας επί του έργου του, την άδεια των προσώπων που ενδεχομένως εμφανίζονται στο φωτογραφικό υλικό (άδεια εργοληπτικής επιχείρησης, εργατών, μηχανικών, κλπ) και τέλος ρύθμιση των πνευματικών δικαιωμάτων με τους δημιουργούς των απεικονίσεων (φωτογράφους, γραφίστες, κλπ) καθώς το παραγόμενο προϊόν είναι αυτοτελώς προστατευόμενο από τον νόμο της πνευματικής ιδιοκτησίας. Κατά τη φωτογράφιση ή κινηματογράφιση προστατευόμενων έργων, όπως είναι τα μνημεία, τα δικαιώματα του περιεχομένου ανήκουν στο ΥΠΠΟ (κάτι που είναι υποχρεωτικό, καθώς σύμφωνα με την παρ. 3 της υπ' αριθ. ΥΠΠΟ/ΓΔΑΠΚ/ΔΜΕΕΠ/Γ2/Φ51-52-54/81397/ 2199/12-9-2005 ΚΥΑ σε κάθε φωτογραφία πρέπει να δηλώνεται ότι: «*To Copyright επί των απεικονιζόμενων αρχαίων ανήκει στο Ελληνικό Υπουργείο Πολιτισμού (ν.3028/2002)*»), όμως ο φωτογράφος – κινηματογραφιστής έχει τα πνευματικά δικαιώματα του παραγόμενου προϊόντος, δηλαδή της φωτογραφίας ή του βίντεο. Συνεπώς, για την ολοκληρωμένη προβολή ενός τεχνικού έργου, θα πρέπει με τη σύναψη σειράς συμβάσεων να εξασφαλίζεται η συναίνεση και παραχώρηση των σχετικών δικαιωμάτων / εξουσιών από κάθε εμπλεκόμενο πρόσωπο, ενώ το δημόσιο οφείλει σε κάθε χρησιμοποιούμενο υλικό (φωτογραφία, βίντεο, εφαρμογή Η/Υ) να αναγράφει τα στοιχεία του δημιουργού, τηρώντας το ηθικό του δικαίωμα.

Παράλληλα, οι ιδιώτες θα πρέπει να δεσμεύονται ότι το παραγόμενο έργο σέβεται το αρχικό δημιούργημα, δεν παραποιεί ή παραπλανά το κοινό ως προς το περιεχόμενό του, κάτι που θα συνιστούσε προσβολή της ακεραιότητας του έργου και τέλος μνημονεύει το σύνολο των εμπλεκόμενων προσώπων σε αυτό, με αναγνώριση της πατρότητας του επιμέρους έργου του καθενός.

### **Τεχνικά έργα επί μνημείων**

Η αποκατάσταση ενός μνημείου αποτελεί ένα τεχνικό έργο που υλοποιείται υπό το καθεστώς του Π.Δ. 99/92, του Ν.3028/2002 και του Ν.4412/16 (παλαιότερα του Ν.3669/08). Έχει απαραίτητως προηγηθεί η σύνταξη τεχνικής μελέτης που συνήθως απαρτίζεται από την αρχιτεκτονική, τη στατική και, κατά περίπτωση, την ηλεκτρομηχανολογική, σύμφωνα με τις γενικές αρχές του κεφ. Β' του Π.Δ. 99/92, του άρθρου 40 του Ν.3028/02 και της ΚΥΑ ΥΠΠΟΑ/ΑΤΝΕΚΕ/356112/929/2019. Το σύνολο της παγκόσμιας επιστημονικής κοινότητας που δραστηριοποιείται στον τομέα των αποκαταστάσεων έχει καταλήξει ότι αυτές αποτελούν διεπιστημονικό αντικείμενο, καθώς πρόκειται για πολύπλευρη και ιδιαίτερα απαιτητική εργασία, που χρειάζεται την αρχαιολογική, αρχιτεκτονική, δομοστατική, δομητική προσέγγιση, καθώς και τη συμβολή άλλων ειδικοτήτων, όπως οι συντηρητές, οι γεωλόγοι, εδαφοτεχνικοί και χημικοί μηχανικοί, γεωφυσικοί, κλπ.

Σε ότι αφορά το περιουσιακό δικαίωμα, στην περίπτωση που η μελέτη εκπονείται από δημοσίους υπαλλήλους – μηχανικούς στο πλαίσιο των υπηρεσιακών τους καθηκόντων, τα πνευματικά δικαιώματα, σύμφωνα με το αρθ. 8 του Ν.2121/93, μεταβιβάζονται αυτοδικαίως στον εργοδότη – Δημόσιο. Στην περίπτωση ανάθεσης της μελέτης σε ανεξάρτητους μελετητές, καθώς πουθενά στη νομοθεσία δεν υπάρχει αναφορά ως προς τα πνευματικά δικαιώματα εξωτερικών μελετητών για την εργασία τους σε μνημεία, οι σχετικοί όροι οφείλουν να περιλαμβάνονται εντός της σύμβασης. Η μόνη σχετική αναφορά είναι στο αρ. 3 παρ. 3 του Π.Δ. 99/92, όπου για τους ιδιώτες μελετητές αναφέρεται: «...Ο μελετητής, που αναλαμβάνει καθήκοντα σύμφωνα με την παράγραφο αυτής, υπέχει και ευθύνη δημοσίου υπαλλήλου». Ενδεχομένως να μπορεί εξ αυτού

Συστηματικός εντοπισμός βλαβών και διαχείριση της πληροφορίας με χρήση ψηφιακών μεθόδων και μοντέλων δομικών

να συναχθεί το συμπέρασμα παραχώρησης του περιουσιακού δικαιώματος από τους ιδιώτες στο δημόσιο, χωρίς εν τούτοις να είναι ξεκάθαρο.

Γνωρίζοντας ότι το ηθικό δικαίωμα δεν μπορεί να παραχωρηθεί, γεννάται το ερώτημα κατά πόσο είναι δυνατή η άσκηση όλων των εξουσιών του από τον ιδιώτη μελετητή και ιδιαίτερα της δημοσίευσης, χωρίς να απαιτείται προηγούμενη άδεια, λαμβάνοντας υπόψη ότι το αρχικό έργο (μνημείο) είναι προστατευόμενο από τον αρχαιολογικό νόμο, ενώ το παραγόμενο (μελέτη) από τον νόμο της Π.Ι. Καθώς το αρθ. 16 του Ν.2121/93 προβλέπει τη συναίνεση του δημιουργού για πράξεις ή παραλείψεις που προσβάλλουν το ηθικό δικαίωμα, η σύμφωνη γνώμη του μελετητή για συγκεκριμένες πράξεις που άπτονται του ηθικού δικαιώματος και συγκεκριμένα της δημοσίευσης να πρέπει να εξασφαλίζεται σε αυτές τις περιπτώσεις, διότι το αρ. 46 του Ν.3028/02 αναφέρεται στις εξουσίες της αναπαραγωγής και προβολής του έργου στο κοινό, οι οποίες ανήκουν στο περιουσιακό και όχι στο ηθικό δικαίωμα. Επομένως, ερμηνεύοντας στενά τον νόμο, μόνο το Δημόσιο έχει τη δυνατότητα προβολής της μελέτης, με μόνη υποχρέωση την αναγνώριση της πατρότητας ως προς το πρόσωπο του μελετητή και την ακεραιότητα του έργου σε ότι αφορά την συνολική και όχι αποσπασματική – παραπλανητική προβολή όλων των στοιχείων που την απαρτίζουν, εξασφαλίζοντας όμως τη συναίνεση του δημιουργού.

### 2.3.2 Εθνικό Αρχείο Μνημείων

Ακολουθώντας τις διεθνείς συμβάσεις, ο αρχαιολογικός νόμος με το άρθρο 4 θέσπισε το Εθνικό Αρχείο Μνημείων, που αποτελείται από το σύνολο των καταγεγραμμένων μνημείων της χώρας. Όπως αναφέρεται και στην ιστοσελίδα της αρμόδιας διεύθυνσης: *«Η δημιουργία του Εθνικού Αρχείου Μνημείων αποσκοπεί στην ενιαία κωδικοποίηση της πολιτιστικής κληρονομιάς της χώρας μας και στην αποτελεσματική και συντονισμένη αντιμετώπιση του συνόλου των δραστηριοτήτων που σχετίζονται με τη διαχείριση, την προστασία και την ανάδειξη του μνημειακού πλούτου».*

Σύμφωνα με το ICOMOS (Διεθνές Συμβούλιο Μνημείων και Τοποθεσιών) η καταγραφή των ακίνητων μνημείων κάθε τόπου στοχεύει, μεταξύ άλλων, στην απόκτηση σημαντικών γνώσεων ως προς τις αξίες της πολιτιστικής κληρονομιάς, ώστε να ενισχυθεί η προσπάθεια διατήρησης και διαφύλαξης της τόσο από την κοινωνία, όσο και από τους αρμόδιους πολιτικούς και επιστημονικούς φορείς. Οι ανωτέρω γνώσεις που προκύπτουν από την συστηματική και οργανωμένη καταγραφή του μνημειακού πλούτου μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στη στρατηγική του διαχείριση, σε επίπεδο λήψης αποφάσεων που σχετίζονται με την αποκατάσταση, την οριοθέτηση και χαρακτηρισμό περιοχών, τον σχεδιασμό χρήσεων γης, τη διαχείριση του τουρισμού, κλπ. Επιπρόσθετα, η καταγραφή συμβάλλει στην τεκμηρίωση των ιστορικών κτηρίων, ώστε να διατηρηθεί στο διηνεκές το σύνολο των χαρακτηριστικών τους, ακόμα και αν αυτά τροποποιηθούν/χαθούν στο πέρασμα των χρόνων (λόγω φυσικών καταστροφών, εγκατάλειψης ή αλλαγής χρήσεων) [4].

Για το λόγο αυτό, οι διεθνείς οργανισμοί υποστηρίζουν τη δημιουργία απογραφικών καταλόγων (inventories) ως εργαλείο για τον προσδιορισμό και τεκμηρίωση κινητών και ακίνητων μνημείων και αρχαιολογικών χώρων. Ο σχεδιασμός των καταλόγων γίνεται με κατάλληλα προσαρμοσμένη μεθοδολογία, η οποία εξαρτάται από το είδος των πληροφοριών που επιθυμεί ο κύριος του έργου κάθε φορά να καταγράψει. Συνεπώς ο σχεδιασμός και το περιεχόμενο των απογραφικών καταλόγων μνημείων εξαρτάται από τους στόχους της εκάστοτε καταγραφής, τη μεθοδολογία που ακολουθείται και τη λεπτομέρεια που επιλέγεται κάθε φορά. Κατάλογοι πολιτιστικής κληρονομιάς χρησιμοποιούνται για την προστασία, την αποκατάσταση, τη συντήρηση, το σχεδιασμό και την εκπαίδευση. Μέσα σε αυτό το ευρύ πλαίσιο, η δημιουργία των καταλόγων διαφέρει ανάλογα με τους εκάστοτε στόχους. Το Συμβούλιο της Ευρώπης έχει εκδώσει οδηγό που διακρίνει τους καταλόγους των μνημείων στις παρακάτω κατηγορίες [5]:

- α. Selective Inventories (Επιλεκτικοί κατάλογοι), οι οποίοι βασίζονται σε ήδη υπάρχοντα κριτήρια που βασίζονται στην αρχιτεκτονική ιστορία κάθε τόπου. Για παράδειγμα, ο κατάλογος προστατευόμενων Ιερών Ναών – μνημείων από το σύνολο των μνημείων μίας χώρας είναι παράδειγμα επιλεκτικού καταλόγου.
- β. Exhaustive Inventories (Διεξοδικοί κατάλογοι), οι οποίοι, όπως φαίνεται και από την ονομασία τους, περιέχουν πλήθος πληροφοριών σε βάθος και επομένως έχουν εφαρμογή σε

οριοθετημένες περιοχές και όχι σε επίπεδο χωρών. Συνήθως αποτελούν τμήμα ενός επιλεκτικού καταλόγου, εστιάζοντας σε συγκεκριμένο πεδίο - περιοχή.

γ. Topographical Inventories (Τοπογραφικοί κατάλογοι), που αφορούν συγκεκριμένη τοποθεσία, είτε διεξοδικά, είτε επιλεκτικά. Συντάσσονται συνήθως για συγκέντρωση πληροφοριών μιας περιοχής με συγκεκριμένο διοικητικό – επιχειρησιακό σκοπό, όπως για παράδειγμα την επίδραση της κατασκευή δομικών έργων μεγάλης κλίμακας σε ιστορικά κτήρια.

δ. Thematic Inventories (Θεματικοί κατάλογοι), οι οποίοι αφορούν σε καταγραφή ανάλογα με τον τύπο των κτηρίων, τα υλικά τους, τις τεχνικές κατασκευής, τον τόπο που βρίσκονται, κλπ.

Σύμφωνα με το άρθρο 20 του Οργανισμού του Υπουργείου Πολιτισμού [6] (ΦΕΚ 7/Α/22-01-2018), το Τμήμα Διαχείρισης του Εθνικού Αρχείου Μνημείων της Διεύθυνσης Διαχείρισης Εθνικού Αρχείου Μνημείων (ΔΕΑΜ) είναι αρμόδιο, μεταξύ άλλων, για «τη συγκρότηση, τήρηση και διαχείριση του Εθνικού Αρχείου Μνημείων και του Αρχαιολογικού Κτηματολογίου, σε συνεργασία με τις συναρμόδιες Διευθύνσεις του ΥΠ.ΠΟ.Α., την κατάρτιση των επιστημονικών προτύπων καταγραφής, τεκμηρίωσης και καταχώρισης στοιχείων σε αυτά, την κωδικοποίηση της σχετικής επιστημονικής και τεχνικής ορολογίας, καθώς και τον καθορισμό των αντίστοιχων προδιαγραφών ψηφιοποίησης και ψηφιακής διαχείρισης, με βάση τα ισχύοντα διεθνή πρότυπα και την εκάστοτε διαθέσιμη τεχνολογία. Επίσης, τη διαμόρφωση των απαιτήσεων, το λογικό, εννοιολογικό και επιστημονικό σχεδιασμό, καθώς και την επιτελική διαχείριση της λειτουργίας των εξειδικευμένων πληροφορικών συστημάτων υποστήριξης του Εθνικού Αρχείου Μνημείων και του Αρχαιολογικού Κτηματολογίου, σε συνεργασία με τη Διεύθυνση Ηλεκτρονικής Διακυβέρνησης». Το σύνολο των υπηρεσιών του Υπουργείου Πολιτισμού προβαίνουν, κατά διαστήματα, σε καταγραφή αλλά κυρίως σε ψηφιοποίηση του αρχαιολογικού υλικού και των στοιχείων που διαθέτουν τα αρχεία τους.

Ο Διαρκής Κατάλογος των Αρχαιολογικών Χώρων και Μνημείων της Ελλάδας συντάσσεται και εκδίδεται από τη ΔΕΑΜ από το 1993, συγκεντρώνοντας τις κηρύξεις που προστατεύουν τα ακίνητα μνημεία, τους αρχαιολογικούς χώρους και τους ιστορικούς τόπους της Ελλάδας, από το 1921 μέχρι και σήμερα. Σύμφωνα με την επίσημη ιστοσελίδα του Υπουργείου Πολιτισμού (<http://listedmonuments.culture.gr/info.php>), στον κατάλογο έχουν καταχωρηθεί πάνω από 11.500 κηρύξεις (μέχρι το 2012). Σημειώνεται ότι στη λίστα περιλαμβάνονται μόνο τα μνημεία για τα οποία υπήρξε ανάγκη κήρυξης, ώστε είτε να χαρακτηρισθούν ως προστατευόμενα (νεώτερα μνημεία) είτε να οριοθετηθούν ζώνες προστασίας (προϊστορικά, κλασικά, βυζαντινά και μεταβυζαντινά) είτε να λυθεί οποιαδήποτε αμφισβήτηση για την υπαγωγή τους στις προστατευτικές διατάξεις του νόμου (κυρίως στην περίπτωση των μεταβυζαντινών μνημείων), καθώς για τα υπόλοιπα ισχύει ο αρχαιολογικός νόμος, σύμφωνα με τον οποίο η προστασία των μνημείων και των χώρων που χρονολογούνται μέχρι το 1830 είναι αυτόματη, χωρίς να απαιτείται η δημοσίευση διοικητικής πράξης. Σε ότι αφορά τα διατηρητέα κτήρια και τους οικισμούς που έχουν κηρυχθεί από το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (πρώην ΥΠΕΧΩΔΕ), η καταγραφή τους γίνεται σε ξεχωριστό κατάλογο στην ιστοσελίδα <http://estia.minenv.gr/>.

Στη σύγχρονη εποχή, η χρήση των νέων τεχνολογιών συμβάλλει σημαντικά και διευκολύνει στην καταγραφή, την ανάλυση, τον προγραμματισμό και την παρακολούθηση των έργων του πολιτισμού από τους ειδικούς επιστήμονες, ενώ παράλληλα μπορεί να αξιοποιηθεί και για τη διάδοση των πληροφοριών, την εκκλαίευση και την μετάδοση της γνώσης μέσω κατάλληλων διαδραστικών και πολυμεσικών εργαλείων.

Στο πλαίσιο αυτό εκπονήθηκε μια σειρά εθνικών και κοινοτικών προγραμμάτων με στόχο την ανάπτυξη ολοκληρωμένων συστημάτων για την τεκμηρίωση και διαχείριση κινητών και ακίνητων μνημείων [4], όπως το CANDIA, το ΔΕΛΤΟΣ, το MITOS και τέλος το ΠΟΛΕΜΩΝ (Πολέμων: γιος του Ευηγέτη, μαθητής του Στωικού Παναπίου, ο οποίος έζησε στις αρχές του 2<sup>ου</sup> πΧ αι. και περιηγήθηκε τον ελληνικό χώρο καταγράφοντας μνημεία), που ξεκίνησε το 1993 στο πλαίσιο του ΕΠΕΤ II σε συνεργασία με το Ινστιτούτο Πληροφορικής του Ιδρύματος Τεχνολογίας και Έρευνας (ΙΠ-ΙΤΕ) και αποσκοπούσε στην αξιοποίηση των προηγούμενων προγραμμάτων και στη δημιουργία ενός πληροφοριακού συστήματος για το Εθνικό Αρχείο Μνημείων και ενός ολοκληρωμένου πληροφοριακού συστήματος μουσείου. Τα δύο πληροφοριακά συστήματα (μνημείων και μουσείου) έχουν συμπληρωματικούς ρόλους, το αρχείο μνημείων αφορά σε πληροφορίες που ανήκουν σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές, ανάλογα με τις περιφερειακές υπηρεσίες του

ΥΠΠΟΑ, ενώ το κάθε μουσείο έχει μοναδική φυσιογνωμία, στόχους και δραστηριότητες. Εν τούτοις, ως προς τη λειτουργική πλευρά και τη διαχείριση της πληροφορίας, τα δύο συστήματα παρουσιάζουν κοινά στοιχεία. Σύμφωνα με όσα αναφέρονται στην επίσημη ιστοσελίδα της ΔΕΑΜ: «*Το Πληροφοριακό Σύστημα του Εθνικού Αρχείου Μνημείων έχει τη δυνατότητα να λειτουργήσει ως δίαυλος επικοινωνίας μεταξύ των Υπηρεσιών, ευνοώντας τη μεταξύ τους συνεργασία. Χάρη στις λειτουργίες ευρετηρίων και αναζήτησης στα Τοπικά ή στο Εθνικό Αρχείο, αλλά και στα συγκεντρωτικά στατιστικά στοιχεία τα οποία παρέχει για συγκεκριμένες ενότητες των Αρχείων, καθιστά τη διαχείριση των πληροφοριών ταχύτερη και απλούστερη, διευκολύνοντας τη δραστηριότητα των Υπηρεσιών του Υπουργείου Πολιτισμού και Τουρισμού και των εποπτευόμενων φορέων. Παράλληλα, έχει τη δυνατότητα να λειτουργήσει σε συναφή ακαδημαϊκά και ερευνητικά ιδρύματα, ανοίγοντας το δρόμο για πληρέστερη αρχαιολογική έρευνα*».

Η ψηφιακή καταγραφή των μνημείων συμβάλλει καθοριστικά στην προστασία τους, καθώς πρόκειται για εργασία ταχύτερη της αναλογικής καταγραφής, με μεγαλύτερη ακρίβεια. Κατά περίπτωση, η τεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την φυσική προστασία ενός μνημείου: για παράδειγμα, η δυνατότητα ηλεκτρονικής περιήγησης με χρήση τεχνολογιών εικονικής πραγματικότητας σε κάποιο μνημειακό χώρο μπορεί να μειώσει τον αριθμό των φυσικών επισκεπτών σε αυτόν, ώστε να περιοριστεί τυχόν περαιτέρω φθορά του, ενώ η ψηφιοποίηση ενός αντικειμένου-μνημείου μπορεί να διαφυλάξει πληροφορίες ώστε σε περίπτωση καταστροφής του να είναι δυνατή η αναπαραγωγή του. Επίσης, η δυνατότητα απομακρυσμένης πρόσβασης σε έναν χώρο μπορεί να βοηθήσει τους μελλοντικούς επισκέπτες να ενημερωθούν εκ των προτέρων και να προγραμματίσουν την επίσκεψή τους πιο οργανωμένα και στοχευμένα, αποκομίζοντας το μέγιστο της εμπειρίας και γνώσης.

Οι διεθνείς φορείς αλλά και μεμονωμένα ιδρύματα έχουν προχωρήσει στην ψηφιοποίηση και προβολή των αγαθών τους, παρέχοντας τη δυνατότητα απομακρυσμένης πρόσβασης σε αυτά, είτε ελεύθερης είτε διαβαθμισμένης ελευθερίας. Επιπρόσθετα, πολλές περιηγήσεις με τη χρήση της τεχνολογίας εικονικής πραγματικότητας δίνουν την ευκαιρία στους πολίτες να επισκεφτούν αρχαιολογικούς χώρους, μουσεία, ιστορικά κτήρια από την οθόνη του υπολογιστή τους.

## 2.4 Μεταδεδομένα – πρακτικές τεκμηρίωσης ακίνητων μνημείων

Ο κλασικός ορισμός των μεταδεδομένων ή metadata, είναι «*δεδομένα για τα δεδομένα*», όπως χαρακτηριστικά ορίζεται στον NISO (National Information Standards Organization) [7], προερχόμενη από την ελληνική λέξη «μετά» και τη λατινική «data». Ως «δεδομένα» μπορεί να θεωρηθεί κάθε πληροφορία που δημιουργούμε, αποθηκεύουμε ή μοιραζόμαστε προκειμένου να περιγράψουμε αντικείμενα, η οποία στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί αντίστροφα στην παροχή γνώσης επί αυτών των αντικειμένων. Ένας ακριβέστερος τεχνικός ορισμός από την Wikipedia (<https://el.wikipedia.org/wiki/Μεταδεδομένα>) είναι ότι: «*τα μεταδεδομένα είναι δομημένα και κωδικοποιημένα δεδομένα τα οποία περιγράφουν χαρακτηριστικά πληροφοριακών οντοτήτων, αποσκοπώντας στην ταύτιση, αναγνώριση, ανακάλυψη, αξιολόγηση και διαχείριση των οντοτήτων που περιγράφονται*». Ο ανωτέρω ορισμός, που αφορά κυρίως στο περιβάλλον της βιβλιοθηκονομίας, αναφέρεται για παράδειγμα στον τρόπο καταγραφής των καταλόγων βιβλίων μιας βιβλιοθήκης, όπου καταγράφονται ο τίτλος, ο συγγραφέας, η θέση, κλπ.

Τα μεταδεδομένα σύμφωνα με τους ανωτέρω ορισμούς, υπάρχουν παντού στην καθημερινότητά μας, καθώς πρόκειται για δομημένη πληροφορία που περιγράφει, εξηγεί, εντοπίζει ή συμβάλλει στην ανάκτηση, χρήση ή διαχείριση ενός πληροφοριακού πόρου.

Σήμερα με την ταχεία ανάπτυξη της τεχνολογίας και της πληροφορικής, τα μεταδεδομένα απαντώνται σχεδόν παντού: στα περισσότερα πακέτα λογισμικών, στο μεγαλύτερο μέρος των ιστοσελίδων, στις επιχειρήσεις που συγκεντρώνουν στοιχεία σχετικά με τις τιμές, την ποσότητα ή την προέλευση των προϊόντων τους, κλπ. Φυσικά, τα μεταδεδομένα αποτελούν και τη βάση πληροφοριακών μέσων, όπως η Wikipedia, η οποία ταυτόχρονα αποτελεί χρήστη και δημιουργό αυτών, καθώς με το Wikidata project αποθηκεύει δομημένη πληροφορία ενώ με το DBpedia project λειτουργεί αντίστροφα, αντλώντας τα μεταδεδομένα από τα καταχωρημένα τεκμήρια και συνδέοντάς τα σε πηγές ανοικτού περιεχομένου πληροφορίας. Επίσης, τα μεταδεδομένα αποτελούν τη βάση των μέσων κοινωνικής δικτύωσης, καθώς χρησιμοποιούνται προκειμένου να εντοπίζονται οι δραστηριότητες και οι προτιμήσεις των χρηστών και στη συνέχεια

η πληροφορία να χρησιμοποιείται για διαφημιστικούς σκοπούς. Όλα τα μεταδεδομένα, ανεξαρτήτως του πεδίου εφαρμογής τους, είναι έως ένα βαθμό δομημένα. Η συγκέντρωσή τους και στη συνέχεια η κατάλληλη αξιοποίησή τους αποσκοπεί στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων ή παρουσιάσεων, καθώς δίνεται η δυνατότητα «αυτόματης» συλλογής μεγάλου όγκου πληροφοριών για ομοειδή αντικείμενα.

Στην περίπτωση των μνημείων, ο NISO θεωρεί τρεις μεγάλες κατηγορίες μεταδεδομένων [7]:

- Descriptive metadata ή περιγραφικά μεταδεδομένα, που αποτελούν το σύνολο των πληροφοριών για την εύρεση ή κατανόηση μιας καταγραφής (μνημείου).
- Administrative metadata ή διαχειριστικά μεταδεδομένα, μέσα στα οποία υπάρχουν οι τεχνικές πληροφορίες, τα στοιχεία σχετικά με τα πνευματικά δικαιώματα (Creative Commons licence) και την ιδιοκτησία, καθώς και τα στοιχεία για τη μακροχρόνια συντήρηση και διαχείριση των δεδομένων.
- Structural metadata ή δομικά μεταδεδομένα, που περιγράφουν τις σχέσεις των πηγών μεταξύ τους, για παράδειγμα τις σχέσεις διαφορετικών αντικειμένων ενός μουσείου μεταξύ τους ή και τη σχέση τους με το ίδιο το κτήριο.

Τελευταία αναφέρονται οι γλώσσες σήμανσης (mark-up languages), δηλαδή οι μεταγλώσσες που χρησιμοποιούνται από τους υπολογιστές για την περιγραφή μιας πληροφορίας και αποτελούνται από απλά ονόματα ή ετικέτες. Παράδειγμα τέτοιων γλωσσών είναι η HTML, η XML, η SGML, η RDF, κ.ά.

Για να είναι χρήσιμα και λειτουργικά τα μεταδεδομένα θα πρέπει να είναι κατανοητά τόσο από τις μηχανές – υπολογιστές, όσο και από τον άνθρωπο. Για το λόγο αυτό πολλοί οργανισμοί παρέχουν στους χρήστες προκαθορισμένα σετ μεταδεδομένων, που πληρούν συγκεκριμένα κριτήρια και αποτελούν ένα «σχήμα» μεταδεδομένων που έχει σχεδιαστεί για ορισμένο σκοπό. Παράδειγμα φορέων που παράγουν πρότυπα μεταδεδομένων είναι ο Διεθνής Οργανισμός Πιστοποίησης (ISO), η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Προτυποποίησης (CEN), το Διεθνές Συμβούλιο Μνημείων με τα πρότυπα CIDOC, κ.α.

Στόχος των προτύπων είναι η τυποποίηση στην εφαρμογή των διαδικασιών, μέσω της καθολικής εφαρμογής τους από τους χρήστες. Βέβαια, καθώς τα πρότυπα είναι περισσότερα του ενός για κάθε τομέα, η συνεργασία μεταξύ τους καθίσταται πολλές φορές προβληματική, αφού δεν υπάρχει εναρμόνιση κατά την αρχική δόμησή τους.

Σε ότι αφορά τα ιστορικά κτήρια, υπάρχουν δύο βασικά διεθνή πρότυπα: το Συμβούλιο της Ευρώπης έχει σχεδιάσει το *Core Data Index to Historic Buildings and Monuments of the Architectural Heritage* και το Διεθνές Συμβούλιο Μνημείων (ICOM) το *International core data standard for archaeological sites and monuments*. Και τα δύο πρότυπα, ως διεθνή, στοχεύουν στην παροχή των βασικών πληροφοριών που πρέπει να καταγράφονται για την περιγραφή ιστορικών μνημείων και αρχαιολογικών χώρων. Οι συντάκτες θα πρέπει να χρησιμοποιούν τα υποχρεωτικά πεδία του εκάστοτε προτύπου κατά το σχεδιασμό των δικών τους εθνικών προτύπων, προκειμένου να εξασφαλίζεται η συμβατότητα και η δυνατότητα ανταλλαγής των δεδομένων από χώρα σε χώρα.

Βιβλιογραφικά εντοπίζονται πολλά άλλα πρότυπα μεταδεδομένων [8] για την πολιτιστική κληρονομιά, όπως το MIDAS Heritage, το CDWA του Getty Institute, το VRA Core 4.0 XML, το CARARE, κ.α. Το πλήθος των προτύπων υπογραμμίζει την ανάγκη εύρεσης τρόπων ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ τους και συνεργασίας, προκειμένου οι χρήστες να έχουν ενιαία πρόσβαση στην πληροφορία, δηλαδή τη *διαλειτουργικότητα* των συστημάτων. Στο πλαίσιο αυτό συστήνεται η χρήση των *δομημένων λεξιλογίων* (controlled vocabularies), που συμβάλλει αφενός στον περιορισμό των ετερογενειών στη σημασιολογία των δεδομένων και αφετέρου στην επιτυχή αναζήτηση και ανάκτηση των πληροφοριών.

Υπάρχουν διάφορες μορφές δομημένων λεξιλογίων, που αφορούν είτε σε λίστες όρων, είτε σε συστήματα όρων και σημασιολογικών σχέσεων μεταξύ τους. Παραδείγματα δομημένων λεξιλογίων είναι το AAT (Art and Architecture Thesaurus) του Getty Institute για την αρχιτεκτονική και την τέχνη, το ULAN (Union List of Artist Names) με βιβλιογραφικές αναφορές και πληροφορίες για καλλιτέχνες και αρχιτέκτονες και το TGN (Getty Thesaurus of Geographic Names) με τα ονόματα σημαντικών τόπων για την ιστορία της τέχνης και της αρχιτεκτονικής.

Από την έρευνα προέκυψε ότι ο συγκεκριμένος τομέας τόσο των προτύπων μεταδεδομένων όσο και των δομημένων λεξιλογίων βρίσκεται υπό συνεχή εξέλιξη, αφορώντας όλο και περισσότερους χρήστες – φορείς – χώρες που εργάζονται και συνεργάζονται προς την κατεύθυνση διασύνδεσης των δεδομένων τους και ανταλλαγής πληροφοριών. Κάθε χώρα, όπως είναι φυσικό, ανάλογα με το πολιτιστικό της απόθεμα διαθέτει λεπτομερείς αναλύσεις και λεξιλόγια που αναφέρονται σε αυτό και ο στόχος είναι το σύνολο της πληροφορίας να συγκεντρωθεί κάποια στιγμή σε διεθνές επίπεδο. Στην Ελλάδα τον ρόλο αυτό έχει αναλάβει η Επιτροπή Ειδικών Επιστημόνων Ορολογίας του ΥΠΠΟΑ, που αποτελείται από επιστήμονες εγνωσμένου κύρους σε ποικίλες θεματικές και χρονολογικές ενότητες της αρχαιότητας, με απώτερο στόχο τον διαρκή εμπλουτισμό της ορολογίας αλλά και την ανάπτυξη Θησαυρού Όρων Αρχαιολογικών Συλλογών και Μνημείων.

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, η χώρα μας συμμετείχε στο Ευρωπαϊκό Ερευνητικό Πρόγραμμα INCEPTION “Inclusive Cultural Heritage in Europe through 3D”, που υλοποιήθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος «Ορίζοντας 2020 - Horizon 2020» της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για την Έρευνα και την Καινοτομία. Αντικείμενο του προγράμματος ήταν η καινοτόμος μοντελοποίηση της πολιτιστικής κληρονομιάς, μέσω μιας ολοκληρωμένης διεπιστημονικής προσέγγισης που περιλαμβάνει την ιστορική, αρχιτεκτονική, γεωμετρική και δομική τεκμηρίωση, τη διαγνωστική μελέτη, την πρόταση επανάχρησης, στη διάσταση των υλικών και επεμβάσεων προστασίας, για τη δομημένη πολιτιστική κληρονομιά. Αναμένονται τα αποτελέσματα της δράσης, που στοχεύουν στην υλοποίηση της καινοτόμου ολοκληρωμένης διεπιστημονικής μεθοδολογικής προσέγγισης ‘Inception Protocol’ και στη δημιουργία της πλατφόρμας ‘Inception Platform’ και εργαλείων για ολοκληρωμένα και διεπιστημονικά τρισδιάστατα κτιριακά μοντέλα πληροφοριών πολιτιστικής κληρονομιάς HBIM, ώστε να είναι προσβάσιμα από όλους τους ενδιαφερόμενους χρήστες, σε συμβατότητα με υπάρχουσες και νέες τεχνολογίες.

### 3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ BIM

Στο πλαίσιο της ολιστικής διαχείρισης των ιστορικών κατασκευών, κατά τη διαδικασία που αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, η διεθνής επιστημονική κοινότητα ξεκίνησε τα τελευταία χρόνια την προσπάθεια εφαρμογής των σύγχρονων μεθοδολογιών διαχείρισης νέων κατασκευών σε υπάρχοντα κτήρια και ειδικά σε κτήρια της πολιτιστικής κληρονομιάς.

Ειδικότερα, την τελευταία δεκαετία εντοπίζονται στη βιβλιογραφία αρκετές προσπάθειες και έρευνες πάνω στην δυνατότητα εφαρμογής της μεθοδολογίας του BIM (Building Information Modeling) ή αλλιώς της Μοντελοποίησης Κτηριακών Πληροφοριών στις ιστορικές κατασκευές H(istoric)BIM.

Για την καλύτερη περιγραφή και ανάλυση της συγκεκριμένης μεθοδολογίας, θα προηγηθεί η κατά το δυνατόν συνοπτική ανάπτυξη της τεχνολογίας του Building Information Modeling και των βασικών χαρακτηριστικών και αρχών λειτουργίας της, κατά το σχεδιασμό νέων κατασκευών.

#### 3.1 Ιστορικά στοιχεία - Εμφάνιση

Η τεχνολογία BIM (Building Information Modeling) αποτελεί τον πιο σύγχρονο τρόπο για τον τεχνικό σχεδιασμό και τη διαχείριση της κατασκευής και της λειτουργίας τεχνικών έργων [9]. Αφορά στην διαμόρφωση του ομοιώματος μιας κατασκευής σε υπολογιστικό περιβάλλον, με δυνατότητα αποθήκευσης και διαχείρισης πλήθους πληροφοριών.

Η εννοιολογική σύλληψη της ιδέας του BIM ανάγεται ήδη από το 1962, όταν ο Douglas C. Englebart, στο άρθρο του «Augmenting Human Intellect» αναφερόνταν στον αρχιτέκτονα του μέλλοντος προτείνοντας την αντικειμενοστραφή σχεδίαση, τον παραμετρικό υπολογισμό και την σχεσιακή βάση δεδομένων, στοιχεία που θα γίνονταν πραγματικότητα λίγα χρόνια αργότερα [10].

Από τα μέσα της δεκαετίας του 1970 άρχισαν να αναπτύσσονται οι δύο βασικές μέθοδοι προβολής και αναπαραγωγής σχημάτων και μορφών, στηριζόμενες στην εξέλιξη των υπολογιστών, η CGS (constructive solid geometry) και η B-Rep (boundary representation). Η αντίληψη ενός κτιρίου μέσα από το πρίσμα μιας βάσης δεδομένων, με την αντίστοιχη ταξινόμηση των επιμέρους μελών του οδήγησε στην δημιουργία του «Συστήματος Περιγραφής Κατασκευών» (Building Description System - BDS) από τον Charles Eastman, αρχιτέκτονα του Berkeley που συνέχισε την έρευνα στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές στο Carnegie Mellon University. Σκοπός του προγράμματος ήταν η εύκολη γραφική εισαγωγή δομικών μελών, η δυνατότητα διαδραστικών αλλαγών με χρήση προγραμματισμού, η απόδοση χαρακτηριστικών σε κάθε μέλος και η παραγωγή τρισδιάστατων απεικονίσεων υψηλής ποιότητας [11].

Παράλληλα, στην Ευρώπη και συγκεκριμένα στην Βουδαπέστη της Ουγγαρίας αναπτύχθηκε το 1982 το ArchiCAD από τον Gábor Bojár, έναν φυσικό που έφυγε από την κρατική θέση και δημιούργησε την δική του εταιρεία. Χρησιμοποιώντας παρόμοια τεχνολογία με το BDS, δημιούργησε το λογισμικό Radar CH που αργότερα μετονομάστηκε σε ArchiCAD και αποτέλεσε το πρώτο λογισμικό BIM για προσωπικό υπολογιστή. Αντίστοιχα προγράμματα που επιχειρούσαν την διαχείριση των κατασκευών σε ολοκληρωμένη μορφή, άρχισαν να εμφανίζονται τόσο στην Αμερική όσο και στην Αγγλία, όπως τα RUCAPS, Sonata, Reflex, Oxsys, BDS, GBS, Cheops, κ.ά., χωρίς όμως την ευρεία χρήση του όρου BIM.

Ο όρος «Building Modeling», χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1986 σε δημοσίευση του Robert Aish, αργότερα ιδρυτή της εταιρείας RUCAPS software system [12] και στη συνέχεια συνεργάτη της Bentley Systems. Χρειάστηκαν λίγα χρόνια αργότερα για να εμφανιστεί ο όρος BIM (Building Information Model) σε άρθρο των G.A. van Nederveen και F. Tolman τον Δεκέμβριο του 1992, με τίτλο «Operation in construction».

Η ίδρυση του Center for Integrated Facility Engineering (CIFE) στο Πανεπιστήμιο του Stanford το 1988 από τον Paul Teicholz σηματοδότησε άλλο ένα ορόσημο στην ανάπτυξη του BIM, καθώς τότε δημιουργήθηκε μια καλή πηγή διδακτορικών φοιτητών και συνεργασιών της βιομηχανίας που προχώρησε στην ανάπτυξη μοντέλων με τέσσερις διαστάσεις (4D models) προκειμένου να υπολογίζεται ο χρονικός παράγοντας σε μία κατασκευή [10]. Αντίστοιχες προσπάθειες γίνονταν και σε άλλα πανεπιστήμια της Αμερικής, όπως το Berkeley.



Παράλληλα με το ArchiCad της Graphisoft εμφανίστηκε και το Pro/ENGINEER που αργότερα εξελίχθηκε στο Revit και τελικά αγοράστηκε από την Autodesk το 2002, η οποία προχώρησε στην έκδοση οδηγιών προς τους χρήστες των λογισμικών της αναφέροντας ξανά τον όρο BIM. Το 2003, ο Jerry Laiserin συνέβαλε στην ευρεία δημοσιοποίηση και χρήση του όρου, σε συνεργασία με τις σημαντικότερες εκείνη την περίοδο εταιρείες του κλάδου (Autodesk, Bentley Systems, Graphisoft).

Με την παράλληλη εξέλιξη της τεχνολογίας των υπολογιστών (IT) και την ανάπτυξη μεθόδων για την απρόσκοπτη ανταλλαγή υλικού μεταξύ διαφορετικών λογισμικών (διαλειτουργικότητα), η εφαρμογή του BIM εισέρχεται πλέον δυναμικά στον χώρο της AEC (architecture-engineering-construction) βιομηχανίας.

### 3.2 Ορισμός

Σύμφωνα με τον ορισμό της Αμερικάνικης Επιτροπής (US National Building Information Model Standard Project Committee) το BIM είναι «η ψηφιακή αναπαράσταση των φυσικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών μιας κατασκευής. Πρόκειται για μια κοινή πηγή πληροφοριών της κατασκευής που δημιουργεί μια αξιόπιστη βάση για τη λήψη αποφάσεων καθ' όλη τη διάρκεια ζωής της, από την σύλληψη του σχεδιασμού της μέχρι την κατάργηση – κατεδάφισή της» [10].

Η Μεγάλη Βρετανία στα British Standard PAS 1192-2:2013 ορίζει το BIM ως «τη διαδικασία σχεδιασμού, κατασκευής ή διαχείρισης ενός κτηρίου ή μιας κατασκευής, με χρήση ηλεκτρονικών πληροφοριών».

Επίσης, το BIM ορίζεται και ως «η ψηφιακή αναπαράσταση των φυσικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών ενός κτηριακού συγκροτήματος, ώστε να συγκροτείται κοινό γνωστικό πλαίσιο για τις πληροφορίες που το αφορούν και να διευκολύνονται οι αποφάσεις που αναφέρονται σε αυτό, από τη σύλληψή του και μετά. Βασική πλευρά του BIM είναι η συνεργασία μεταξύ διαφορετικών μερών που εμπλέκονται στις διάφορες φάσεις του κύκλου ζωής του κτηρίου, ώστε να εισάγουν, να εξάγουν, να ενημερώνουν ή να τροποποιούν πληροφορίες του BIM. Το BIM είναι ψηφιακή αναπαράσταση κτηρίου που βασίζεται σε ανοικτά πρότυπα διαλειτουργικότητας» (NBIMS)

Ανεξάρτητα από τους επίσημους ορισμούς, η κυρίαρχη αντίληψη κατά την κρίση των ειδικών είναι ότι το BIM αποτελεί μια διαδικασία και όχι ένα απλό λογισμικό ή ένα ψηφιακό αντικείμενο – προσομοίωμα, η οποία στηρίζεται στο πλαίσιο της κοινής χρήσης και διαχείρισης, μεταξύ όλων των ενδιαφερόμενων μελών, του συνόλου των διαθέσιμων πληροφοριών μίας κατασκευής. Το ενδιαφέρον είναι ότι οι πληροφορίες αυτές αφορούν και τις σχέσεις των στοιχείων μεταξύ τους, με αποτέλεσμα κάθε αλλαγή να γίνεται ταυτόχρονα ορατή σε όλα τα εμπλεκόμενα στη διαδικασία μέλη [13].

### 3.3 Λογισμικά BIM - Διαφορές από CAD

Όπως αναφέρθηκε αρχικά, οι μεγαλύτερες εταιρείες που σχετίζονται με τον κλάδο του σχεδιασμού των κατασκευών φρόντισαν να υιοθετήσουν τη φιλοσοφία του BIM στα λογισμικά τους, σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό η καθεμία, ανάλογα με τις ανάγκες και τις απαιτήσεις των πελατών τους και τη δυνατότητα των υπολογιστικών εργαλείων τους.

Η βασική διαφορά μεταξύ της Μοντελοποίησης Κτηριακών Πληροφοριών ή BIM και των συμβατικών σχεδιαστικών τρισδιάστατων προγραμμάτων (CAD - Computer-Aided Design) είναι ο τρόπος σχεδιασμού και απεικόνισης των κτηρίων. Η κατασκευή σε περιβάλλον CAD αποτελείται από γραφικές οντότητες, δηλαδή γραμμές, τόξα, κύκλους, καμπύλες, ενώ στην τεχνολογία του BIM αποτελείται από πραγματικά οικοδομικά μέλη, όπως παράθυρα, πόρτες, τοίχους, στέγες, κλπ. Επιπρόσθετα, τα προγράμματα CAD περιγράφουν την κατασκευή μέσα από ανεξάρτητες τρισδιάστατες προβολές των σχεδίων της (κατόψεις, όψεις, τομές) και επομένως η οποιαδήποτε αλλαγή σε ένα από αυτά θα πρέπει να συνοδεύεται από ενδελεχή έλεγχο και διόρθωση των υπολοίπων σχεδίων, διαδικασία που ελλοχεύει σφάλματα, σε αντίθεση με τις εφαρμογές BIM, όπου όλες οι πληροφορίες είναι συγκεντρωμένες σε ένα βασικό μοντέλο και η κάθε αλλαγή εμφανίζεται αυτόματα σε όλα τα σχέδια. Σημειώνεται βέβαια εδώ και η

δυνατότητα του BIM να φέρει πληροφορίες και για τις υπόλοιπες διαστάσεις (χρόνο, κόστος, κλπ).

Μερικά από τα προγράμματα που υπάρχουν σήμερα για την ανάπτυξη μοντέλων με BIM είναι το Revit της Autodesk, το Archicad της Graphisoft, το SketchUP της Google, το Rhinoceros ή Rhino και πολλά ακόμα, καθώς πρόκειται για ένα χώρο που συνεχώς αναπτύσσεται και εμπλουτίζεται. Παρακάτω παρατίθεται πίνακας των πιο γνωστών εμπορικών λογισμικών και λογισμικών ανοικτής πρόσβασης που υποστηρίζουν τις λειτουργίες του BIM [14], είτε ολοκληρωτικά είτε τμηματικά.

| Product Name   | Manufacturer      | BIM Use  | Primary Function   | Supplier Web Link  |
|--|-------------------|--|--|--|
| Revit Architecture   | Autodesk          | Creating and reviewing 3D models                                       | Architectural Modelling and parametric design                                  | <a href="http://www.autodesk.com">www.autodesk.com</a>               |
| Bentley Architecture                                       | Bentley Systems   | Creating and reviewing 3D models                                       | Architectural Modelling  | <a href="http://www.bentley.com">www.bentley.com</a>                 |
| SketchUpPro  | Google            | Conceptual 3D Modelling  | Conceptual Design Modelling  | <a href="http://www.sketchup.google.com">www.sketchup.google.com</a> |
| ArchiCAD   | Graphisoft        | Conceptual 3D Architectural Model                                      | Architectural Model Creation   | <a href="http://www.graphisoft.com">www.graphisoft.com</a>           |
| TeklaStructures  | Tekla             | Conceptual 3D Modelling  | Architectural 3D Model Application   | <a href="http://www.tekla.com">www.tekla.com</a>                     |
| DProfiler  | Beck Technology   | Conceptual Design and Cost Estimation                                  | 3D conceptual modelling with real-time cost estimating                         | <a href="http://www.beck-technology.com">www.beck-technology.com</a> |
| Vectorworks Designer                                       | Nemetschek        | Conceptual 3D Modelling  | Architectural Model Creation   | <a href="http://www.nemetschek.net">www.nemetschek.net</a>           |
| Affinity   | Trelligence       | Conceptual 3D Modelling  | A 3D Model Application for early concept design                                | <a href="http://www.trelligence.com">www.trelligence.com</a>         |
| Edificius  | AccaSoftware      | Architectural BIM Design and 3D object CAD                             | Architectural Modelling  | <a href="http://www.accasoftware.com">www.accasoftware.com</a>       |
| Vico Office  | Vico Software     | Conceptual 5D Modelling  | 5D conceptual model generate cost and schedule data                            | <a href="http://www.vicosoftware.com">www.vicosoftware.com</a>       |
| Revit Structure  | Autodesk          | Structural   | Structural Modelling and parametric design                                     | <a href="http://www.autodesk.com">www.autodesk.com</a>               |
| SDS/2  | Design Data       | Structural   | 3D Structural Modelling and Detailing  | <a href="http://www.dsndata.com">www.dsndata.com</a>                 |
| RISA   | RISA Technologies | Structural   | Full Suite of Structural Design Applications                                   | <a href="http://www.risatech.com">www.risatech.com</a>               |
| Robot  | Autodesk          | Structural Analysis  | Bi-directional link with Autodesk Revit Structure                              | <a href="http://www.autodesk.com">www.autodesk.com</a>               |
| Green Building Studio                                      | Autodesk          | Energy Analysis  | Measure energy use and carbon footprint  | <a href="http://www.autodesk.com">www.autodesk.com</a>               |
| Ecotect  | Autodesk          | Energy Analysis  | Weather, energy, water, carbon emission analysis                               | <a href="http://www.autodesk.com">www.autodesk.com</a>               |
| Structural Analysis Design Detailing, Building Performance | Bentley Systems   | Structural Analysis/Detailing, Quantity Take-off, Building Performance | Measure, assess and report building performance.                               | <a href="http://www.bentley.com">www.bentley.com</a>                 |
| Solibri Model Checker                                      | Solibri           | Model Checking & Validation  | Rules-based checking for compliance and validation of all objects in the model | <a href="http://www.solibri.com">www.solibri.com</a>                 |
| TeklaBIMsight  | Tekla             | Model Viewer   | Combine models, check for clashes and share information                        | <a href="http://www.teklabimsight.com">www.teklabimsight.com</a>     |
| xBIMXplorer  | Open BIM          | IFC viewer   | Open, view IFC files and navigate through a model                              | <a href="http://xbim.codeplex.com">http://xbim.codeplex.com</a>      |
| Solibri Model Viewer                                       | Solibri           | Model Viewer   | Open all Standard IFC Solibri Checker Files                                    | <a href="http://www.solibri.com">www.solibri.com</a>                 |
| Navisworks Freedom   | Autodesk          | 3D Model Viewer  | Open, view IFC files and navigate through a model                              | <a href="http://www.autodesk.com">www.autodesk.com</a>               |

**Εικόνα 1. Πίνακας των S. Logothetis, A. Delinasiou, E. Stylianidis, όπου καταγράφονται μερικά από τα γνωστότερα εμπορικά και «ανοιχτά» (open source) λογισμικά BIM.**

Το ArchiCad, όπως αναφέρθηκε, είναι το πρώτο πρόγραμμα που ανέπτυξε τη μοντελοποίηση κτηριακών πληροφοριών και συνεχίζει τη λειτουργία του παρέχοντας στους χρήστες πρόσβαση σε εκτενείς βιβλιοθήκες αντικειμένων για το σχεδιασμό [12].

Συστηματικός εντοπισμός βλαβών και διαχείριση της πληροφορίας με χρήση ψηφιακών μεθόδων και μοντέλων δομικών πληροφοριών για ιστορικές κατασκευές (HBIM)

Το πιο διαδεδομένο όμως σήμερα λογισμικό BIM είναι το Revit της Autodesk, το οποίο αποτελεί το εμπορικότερο πρόγραμμα ειδικά στο κομμάτι των αρχιτεκτονικών κτηριακών κατασκευών (αντίθετα, σε έργα υποδομών χρησιμοποιούνται και άλλες πλατφόρμες, όπως το Navisworks, κ.α.). Όπως και στο ArchiCad, ο χρήστης έχει πρόσβαση σε μεγάλες βιβλιοθήκες παραμετρικών αντικειμένων, αλλά το βασικό χαρακτηριστικό που συνέβαλε στην ευρεία διάδοση του λογισμικού ήταν ότι αποτέλεσε το πρώτο πρόγραμμα όπου η σχεδίαση βασίζεται στη δόμηση των αντικειμένων σε «οικογένειες» που δομούνται σχεδιαστικά, χωρίς την απαραίτητη χρήση κώδικα, ενώ παράλληλα, υπάρχει ο αμφίδρομος συσχετισμός όλων των τμημάτων (δηλαδή η οποιαδήποτε αλλαγή σε μια πχ όψη μεταφέρεται αυτόματα σε όλα τα υπόλοιπα μέρη του ψηφιακού μοντέλου).

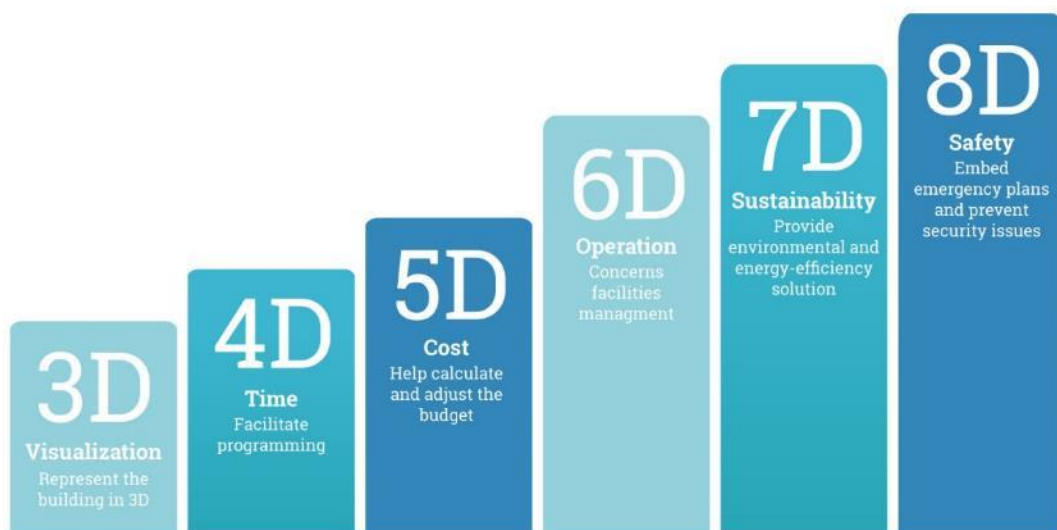
Η συνεχής εξέλιξη των υπολογιστών αλλά και η αλληλεπίδραση με τους χρήστες οδηγούν σε συνεχείς βελτιώσεις των λογισμικών, ώστε αυτά να γίνονται φιλικότερα προς το χρήστη, να είναι εφικτή η διαχείριση των πολύ μεγάλων αρχείων που προκύπτουν και βέβαια να αντιμετωπίζονται και πιο «σύνθετα» προβλήματα που αφορούν στη σχεδίαση καμπυλών ή ακανόνιστων επιφανειών. Η τελευταία απαίτηση προέκυψε έντονα κατά την προσπάθεια εφαρμογής του BIM σε υπάρχουσες κατασκευές, ιδιαίτερα σε ιστορικά μνημεία, η γεωμετρία των οποίων συχνά διαφοροποιείται από τις τυποποιημένες φόρμες των βιβλιοθηκών παραμετρικών αντικειμένων.

### 3.4 Χαρακτηριστικά – περιγραφή

Το BIM αποτελεί επομένως, μια διαφορετική φιλοσοφία ολοκληρωμένου σχεδιασμού που ολοένα και περισσότερο ακολουθείται πλέον στον κατασκευαστικό κλάδο AEC (architecture, engineering and construction industry). Ακολουθώντας τη διαδικασία που προσφέρει το BIM σε μέλη του κατασκευαστικού κλάδου, είναι εφικτή, στην ψηφιακή εποχή που διανύουμε, η επικοινωνία και συνεργασία επιστημόνων και τεχνικών διαφορετικών ειδικοτήτων χρησιμοποιώντας την τεχνολογία πληροφοριών ICT (Information and Communications Technologies) [12].

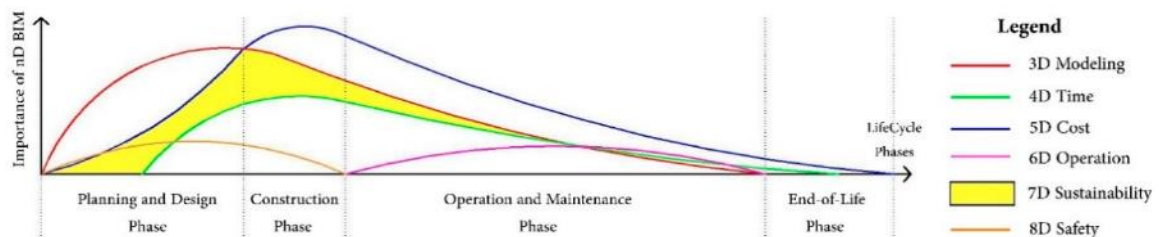
Σε μια προσπάθεια απλοποίησης των ανωτέρω ορισμών, το BIM αποτελεί την τρισδιάστατη απεικόνιση μιας κατασκευής, στην οποία σε κάθε δομικό και μη στοιχείο της εμπεριέχονται εκτός του δομικού τους ρόλου και όλες οι απαραίτητες πληροφορίες που το χαρακτηρίζουν τόσο σε επίπεδο υλικών όσο και στην λειτουργία τους. Για παράδειγμα, κάθε υποστύλωμα, εκτός του στατικού του ρόλου, φέρει πληροφορίες και για το υλικό κατασκευής του, κάθε κούφωμα εμπεριέχει πληροφορία σχετικά με το υλικό του, τη θέση του, την ενεργειακή του απόδοση, κλπ. Επομένως όλα τα μέλη είναι στην ουσία οντότητες μέσα στο ψηφιακό μοντέλο και όχι απλές γραμμές, όπως στα συνήθη CAD περιβάλλοντα.

Το ψηφιακό αποθετήριο που δημιουργείται στην πλατφόρμα του BIM μπορεί να αποτελείται από μέχρι και 8 διαστάσεις [15], σύμφωνα με τα νεότερα στοιχεία από το χώρο των κατασκευών.



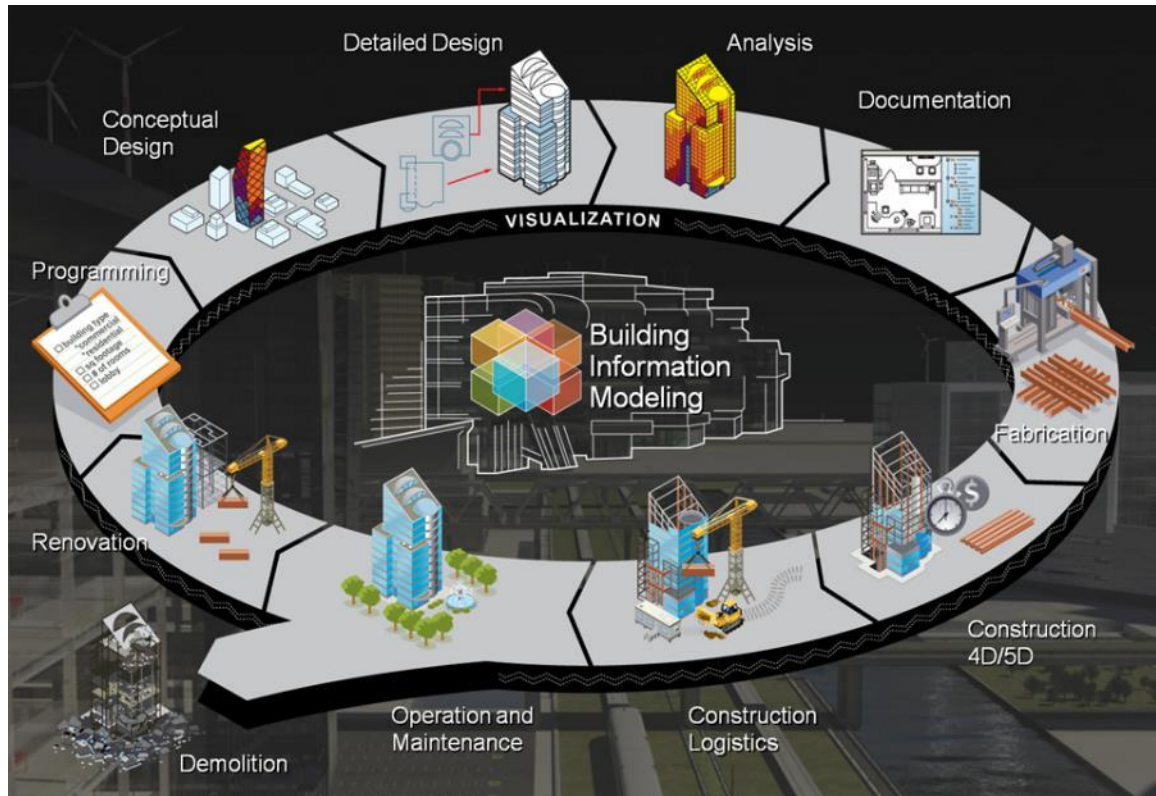
**Εικόνα 2. Εξέλιξη των διαστάσεων στη μοντελοποίηση του BIM (Πηγή: <https://telqeprojects.com/bim-co-ordination/>)**

Μέσα σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα η εφαρμογή του BIM εξελίχθηκε από την απλή τρισδιάστατη αποτύπωση (3D) στην προσθήκη της τέταρτης διάστασης (4D) που αφορά τον χρόνο, παρέχοντας τη δυνατότητα ελέγχου του χρονικού προγραμματισμού και των φάσεων κατασκευής του έργου. Η διάσταση αυτή είναι πολύ σημαντική διότι με τον τρόπο αυτό είναι εφικτό να αποφευχθούν λάθη που συνήθως προκύπτουν κατά τη διάρκεια κατασκευής και επιφέρουν καθυστερήσεις ή και τροποποιήσεις στις αρχικές μελέτες. Η προσθήκη πληροφοριών στο μοντέλο σχετικά με το κόστος των υλικών και εν γένει του έργου εισάγει την πέμπτη διάσταση (5D) που επιτρέπει την οικονομική παρακολούθηση αυτού ταυτόχρονα με τις υπόλοιπες διαστάσεις, δίνοντας την ευκαιρία να σχεδιαστεί ο βέλτιστος τρόπος κατασκευής και διαχείρισης του έργου από τεχνική, χρονική και οικονομική άποψη. Η παροχή πληροφοριών σχετικά με την λειτουργικότητα της κατασκευής αποτελεί την έκτη διάσταση της ανάλυσης και αφορά κυρίως στο κομμάτι της διαχείρισης της κατασκευής μετά την ολοκλήρωσή της (as-built model), με στοιχεία σχετικά με την λειτουργία και τη συντήρηση των μηχανημάτων και του εξοπλισμού. Η προσθήκη πληροφοριών σχετικά με την ενεργειακή απόδοση των στοιχείων της κατασκευής και πρόσθετων δεδομένων σχετικά με τη βιώσιμη ανάπτυξή της αποτελούν την έβδομη διάσταση (7D), ενώ τελευταία στην βιβλιογραφία προστέθηκε και όγδοη διάσταση που αναφέρεται σε στοιχεία σχετικά με την ασφάλεια του κτηρίου, τόσο στη φάση κατασκευής, όσο και στη φάση συντήρησης.



**Εικόνα 3. Διάγραμμα συσχέτισης των διαστάσεων και της σημασίας τους στη διάρκεια ζωής του έργου. (Πηγή: [15])**

Η ψηφιακή αναπαράσταση των πληροφοριών μιας κατασκευής (BIM) δίνει τη δυνατότητα να παρέχεται μία ενιαία βάση δεδομένων, στην οποία έχουν πρόσβαση όλοι οι εμπλεκόμενοι φορείς, είτε παρέχοντας είτε λαμβάνοντας στοιχεία. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η αποτελεσματική μεταξύ τους συνεργασία, δίνεται η δυνατότητα για μεγαλύτερη δημιουργικότητα ενώ παράλληλα αυξάνεται η παραγωγικότητα [16]. Η διαδικασία περιλαμβάνει όλα τα στάδια μιας κατασκευής, ξεκινώντας από τον σχεδιασμό του έργου, τη σύνταξη των απαραίτητων μελετών, την φάση κατασκευής της, μέχρι την διαχείρισή της μετά την ολοκλήρωση και έως το τέλος της λειτουργίας της.

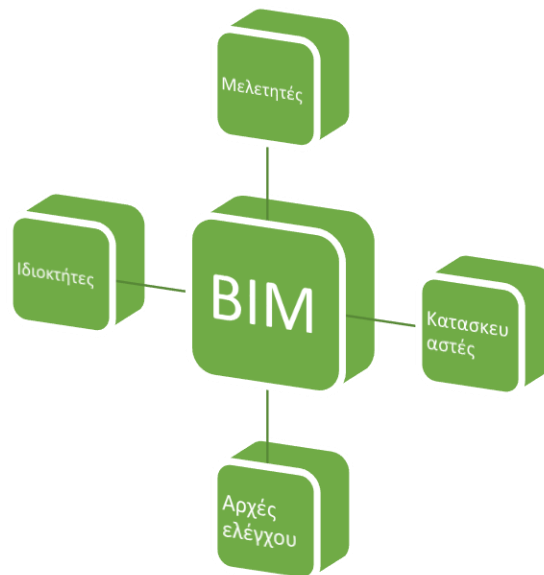


Εικόνα 4. Διαδικασία εφαρμογής του BIM στον κύκλο ζωής μιας κατασκευής.

Πηγή: <http://buildipedia.com/aec-pros/design-news/the-daily-life-of-building-information-modeling-bim?print=1&tmpl=component>

Η προς αποθήκευση ψηφιακή πληροφορία σε ένα ενιαίο μοντέλο, αφορά στο σύνολο των φυσικών, τεχνικών, χρονικών, οικονομικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών της κατασκευής. Αποθηκεύονται επομένως όλες οι μελέτες της (αρχιτεκτονική, στατική, ηλεκτρομηχανολογική, γεωτεχνική, οικονομοτεχνική, χρηματοοικονομική κ.τ.λ.) σε όλα τα στάδια (προμελέτη, οριστική, εφαρμογή) και καταγράφονται σε πραγματικό χρόνο κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται ότι όλα τα εμπλεκόμενα μέλη θα έχουν συνεχή πρόσβαση σε όλα τα αντικείμενα σχεδιασμού που απαρτίζουν το έργο, δίνοντας όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για το κάθε στοιχείο από αυτά (ιδιότητες, ποσότητες και ονομασίες) και αναπτύσσοντας σχέσεις μεταξύ τους.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται, ανά ομάδες, όλοι οι φορείς που συμμετέχουν στην υλοποίηση μιας κατασκευής κατά τη διαδικασία της Μοντελοποίησης Κτηριακών Πληροφοριών.



Εικόνα 5. BIM και εμπλεκόμενοι φορείς.

### 3.5 Διαλειτουργικότητα

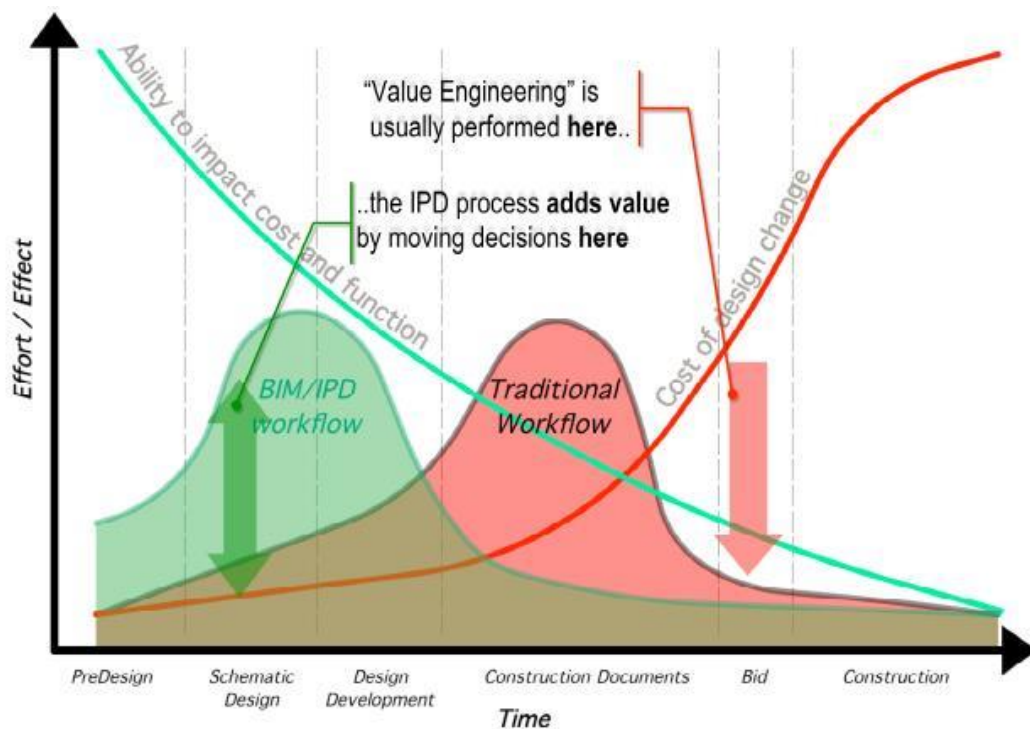
Ο όρος διαλειτουργικότητα αναφέρεται στην ικανότητα δύο ξεχωριστών συστημάτων ή λογισμικών να επικοινωνούν και να ανταλλάσσουν δεδομένα μεταξύ τους και αποτελεί ένα από τα κύρια θέματα έρευνας και ανάπτυξης στην τεχνολογία της πληροφορίας (IT). Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων και απωλειών που μπορεί να προκύψει από την αλληπάλληλη αναπαραγωγή των ψηφιακών δεδομένων. Προκειμένου η τεχνολογία του BIM να έχει ευρεία εφαρμογή, η εξασφάλιση της διαλειτουργικότητας, δηλαδή της εισαγωγής και εξαγωγής πληροφοριών βάση προτύπων ανοιχτών ανταλλακτικών δεδομένων είναι επιβεβλημένη, ώστε να μην χρειάζεται η αλληπάλληλη αντιγραφή τους που ελλοχεύει τον κίνδυνο απώλειας πληροφορίας. Περνώντας λοιπόν από τη χρήση «ανταλλακτικών» αρχείων (Proprietary file exchange formats) όπως τα \*.dxf ή \*.3ds που χρησιμοποιούνται για την ανταλλαγή πληροφοριών γεωμετρίας συνήθως έχουν πλέον αναπτυχθεί πιο διαδεδομένες μορφές διαλειτουργικών αρχείων, με σημαντικότερες από αυτές τα IFC (Industry Foundation Classes) και τα gbXML (Green Building Extensive Markup Language). Και οι δύο μορφές αρχείων αποτελούν μια κοινή γλώσσα για τη μεταφορά κτηριακών πληροφοριών [17]. Τα gbXML βασίζονται στην XML (eXtensible Markup Language), ενώ το πρότυπο IFC (Industry Foundation Classes) δημιουργήθηκε κατά την προσπάθεια της IAI/buildingSMART και αποσκοπεί στην συμπερίληψη όλων των κτηριακών πληροφοριών, που συμμετέχουν καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του έργου. Με τον όρο IAI είναι γνωστή η Διεθνής Συμμαχία για τη Διαλειτουργικότητα που στοχεύει στον ορισμό μιας κοινής τεχνολογικής γλώσσας για τη βελτίωση της επικοινωνίας, της παραγωγικότητας, του χρόνου παράδοσης, του κόστους και της ποιότητας κατά το σχεδιασμό, την κατασκευή και την συντήρηση του κύκλου ζωής των κατασκευών.

Η χρήση των ανοιχτών προτύπων επιτρέπει στις αποθηκευμένες πληροφορίες ενός μοντέλου BIM να εξαγονται από αυτό σε μια μορφή «αναλυτικών» πληροφοριών.

### 3.6 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου

Από όλα τα προηγούμενα, προκύπτει ότι η εφαρμογή του BIM στον τομέα των κατασκευών μπορεί να έχει πολλαπλά οφέλη σε σχέση με τις μέχρι τώρα συμβατικές μεθόδους μελέτης και κατασκευής των δομικών έργων.

Το παρακάτω διάγραμμα αποτυπώνει σχηματικά τις διαφορές των δύο προσεγγίσεων, ως προς την προσπάθεια που απαιτείται για κάθε στάδιο της κατασκευής συναρτήσει του χρόνου (καμπύλη MacLeamy) [18]. Σε αυτό φαίνεται ότι στη μέθοδο της μοντελοποίησης κτηριακών πληροφοριών το μεγαλύτερο βάρος δίνεται στο κομμάτι του σχεδιασμού, με εντονότερη προσπάθεια και «κόστος» στα στάδια της εκπόνησης όλων των μελετών, κατάσταση που επιφέρει ελάφρυνση του «κόστους» στο στάδιο της κατασκευής. Προκύπτει λοιπόν ότι οι μελετητές των έργων επιφορτίζονται με πολύ μεγαλύτερο εργασιακό φόρτο που αφορά και στον βέλτιστο σχεδιασμό και στην μεταξύ τους συνεργασία, με αύξηση επομένως των απαιτούμενων εργατωρών, οι οποίες όμως «αποσβένονται» στο μέλλον, κατά την κατασκευή, όπου οι αβεβαιότητες και τα σφάλματα έχουν ελαχιστοποιηθεί, επιτρέποντας την επιτάχυνση των εργασιών και την μείωση της απαιτούμενης προσπάθειας.



**Εικόνα 6.** Η γνωστή καμπύλη MacLeamy, στην οποία φαίνεται η διαφορά στο κόστος και το χρόνο μιας κατασκευής ακολουθώντας την μέθοδο BIM σε σχέση με τις υπόλοιπες παραδοσιακές μεθόδους σχεδίασης και κατασκευής. Πηγή: [18]

Ως προς τους χρήστες των λογισμικών, η τεχνολογία BIM προσφέρει:

- Ολοκληρωμένη άποψη της κατασκευής μέσω του τρισδιάστατου μοντέλου, το οποίο χρησιμοποιείται για την κατανόηση του έργου και το βέλτιστο σχεδιασμό της μορφής του και των λειτουργικών του χαρακτηριστικών.
- Έγκαιρο και σχετικά εύκολο εντοπισμό των σφαλμάτων ή ασύμβατων στοιχείων μεταξύ των διαφόρων μελετών (αρχιτεκτονικών, στατικών, ηλεκτρομηχανολογικών).
- Συμβολή στο σχεδιασμό βιοκλιματικών κτηρίων βασισμένη στην ενεργειακή απόδοση και μελέτη των επιμέρους μελών τους.
- Δυνατότητα ταχύτερης ανάλυσης «σεναρίων» που λόγω της αλληλεπίδρασης και αυτοματοποιημένης λειτουργίας όλων των παραγόντων (κόστους, χρόνου, απόδοσης, ασφάλειας) οδηγεί στη λήψη ορθότερων κατά περίπτωση αποφάσεων, με μείωση των απρόβλεπτων παραγόντων και επιπτώσεων.
- Ακριβέστερο υπολογισμό των απαιτούμενων υλικών ήδη από το στάδιο της μελέτης, με συνέπεια την οικονομία στην κατασκευή.

- Παροχή βάσης δεδομένων με όλα τα απαραίτητα στοιχεία για την ασφαλή και απρόσκοπτη χρήση και συντήρηση της κατασκευής (των εγκαταστάσεων, των μηχανημάτων, των υποδομών) μετά την παράδοση του έργου στους χρήστες.

Τα βασικά πλεονεκτήματα λοιπόν της τεχνολογίας BIM στα τεχνικά έργα είναι:

- Αύξηση της παραγωγικότητας
- Μείωση των σφαλμάτων στο στάδιο των μελετών
- Μείωση των αβεβαιοτήτων στο στάδιο της κατασκευής
- Ταχύτητα κατασκευής
- Ασφαλέστερος και ακριβέστερος χρονικός προγραμματισμός
- Ασφαλέστερος και ακριβέστερος οικονομικός προγραμματισμός

Βασικότερο μειονέκτημα της μεθόδου, με τα ισχύοντα δεδομένα, θεωρείται το θέμα της *ασφάλειας* του παραγόμενου πνευματικού έργου, καθώς η χρήση του ψηφιακού μοντέλου είναι ελεύθερη και κοινή από όλα τα μέλη της ομάδας, με αποτέλεσμα να χρειάζεται, σε κάποιες περιπτώσεις, η νομική ενδεχομένως κάλυψη των δικαιωμάτων των έργων αλλά και ο έλεγχος διακίνησης των πληροφοριών σε τρίτους. Επιπρόσθετα, οι απαιτήσεις των συγκεκριμένων λογισμικών (software) επιβάλλουν τη χρήση μηχανημάτων (*hardware*) πολύ υψηλών προδιαγραφών, προκειμένου να είναι εφικτή η διαχείριση αρχείων μεγάλου όγκου πληροφορίας. Σημειώνεται τέλος η ανάγκη απόλυτης εξοικείωσης και ικανοποιητικής *εκπαίδευσης* όλων των εμπλεκόμενων μελών, ιδιαίτερα αυτών στο κομμάτι του σχεδιασμού, για την αποφυγή λαθών και αμελειών που θα μπορούσαν να προκαλέσουν ανεπανόρθωτες βλάβες στο σχεδιαστικό μοντέλο λόγω του πλήθους των χρηστών του.

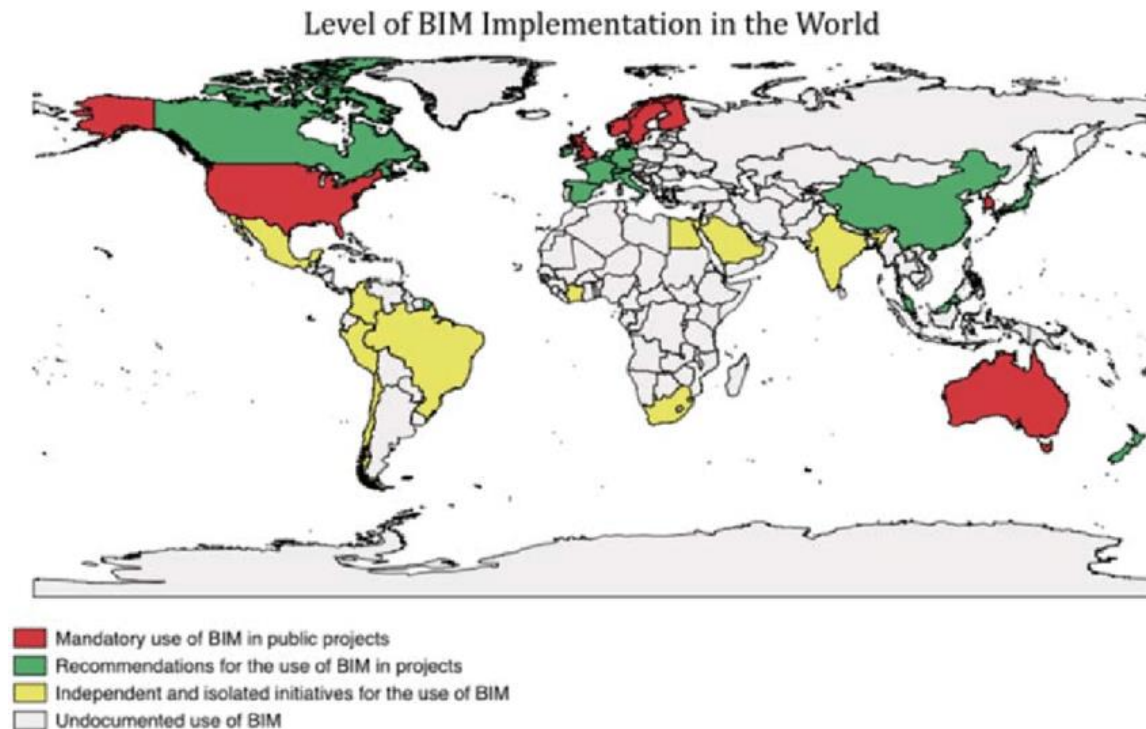
### **3.7 Ανάπτυξη του BIM σε παγκόσμιο επίπεδο – Παραδείγματα εφαρμογών**

Σημειώνεται ότι σήμερα, τριάντα και πλέον χρόνια μετά την εμφάνιση του όρου και της τεχνολογίας του BIM, η εξάπλωσή της παρουσιάζει συνεχή άνοδο, καθώς όλο και περισσότερα κράτη την εφαρμόζουν αρχικά σε μεγάλα project και στη συνέχεια στο σύνολο των κατασκευών τους.

Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται η χρήση του BIM σε παγκόσμιο επίπεδο [19], έχοντας διαχωρίσει την εφαρμογή του σε τρεις κατηγορίες:

- Υποχρεωτική εφαρμογή στα δημόσια έργα
- Σύσταση για την εφαρμογή σε όλα τα έργα
- Ανεξάρτητη και μεμονωμένη χρήση από πρωτοβουλίες ιδιωτών





**Εικόνα 7. Εφαρμογή της τεχνολογίας BIM σε παγκόσμιο επίπεδο. (Πηγή: Alsina Saltarén, Santiago Gutierrez Buchelí, Laura Ponz Tienda et al.)**

Όπως φαίνεται και από τον χάρτη, λίγες μόνο χώρες έχουν προχωρήσει στην υποχρεωτική εφαρμογή του BIM στα δημόσια έργα, και συγκεκριμένα οι ΗΠΑ, το Ηνωμένο Βασίλειο [20] [21], οι Σκανδιναβικές χώρες, η Αυστραλία, το Χονγκ Κονγκ και η Νότια Κορέα.

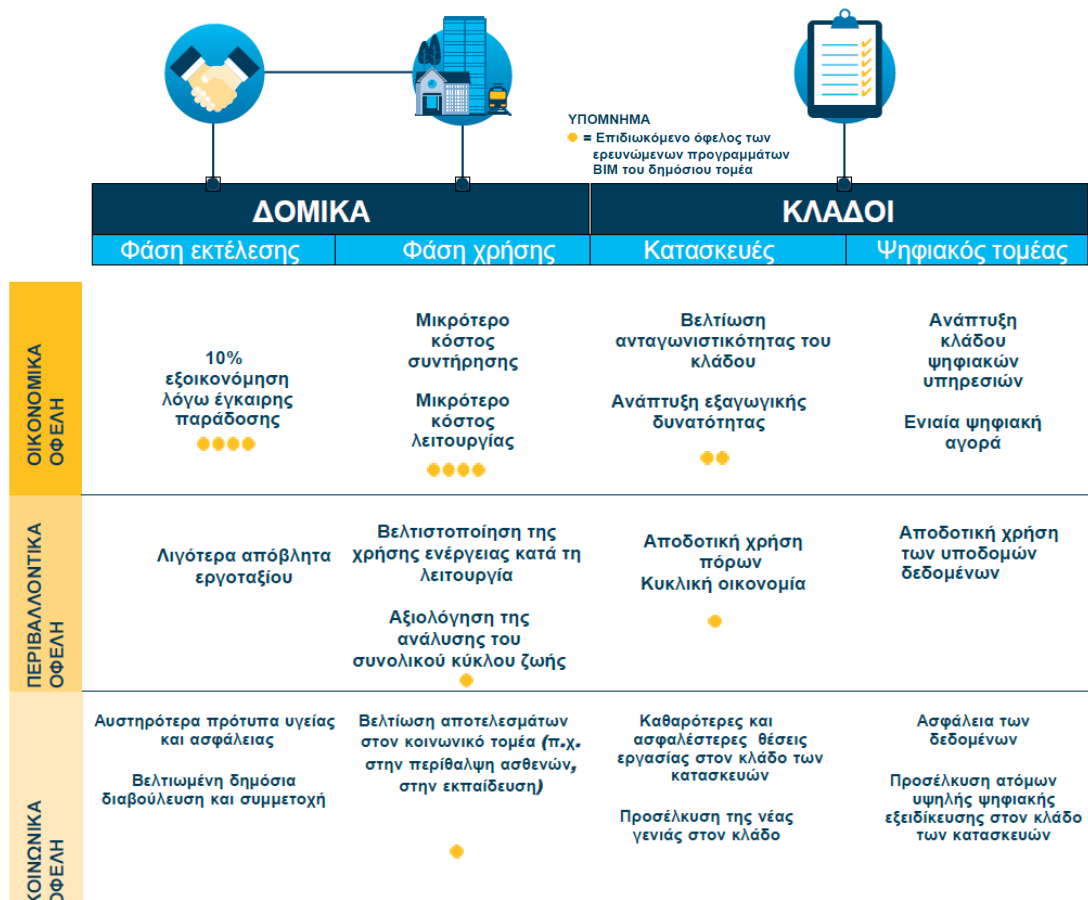
Οι περισσότερες από τις ευρωπαϊκές χώρες (Γαλλία, Γερμανία, Ιταλία, Ισπανία, Ολλανδία, Δανία, Ιρλανδία, Ελβετία, Βέλγιο, Λουξεμβούργο) καθώς και η Κίνα, η Ιαπωνία, η Νέα Ζηλανδία και ο Καναδάς αναγνωρίζοντας τα πλεονεκτήματα της μεθόδου, συστήνουν στους μελετητές την εφαρμογή της και κάνουν προσπάθειες για την περαιτέρω εξάπλωσή της στον κατασκευαστικό τομέα.

Στις υπόλοιπες χώρες είτε υπάρχουν μεμονωμένες εφαρμογές, είτε δεν έχουν καταγραφεί στοιχεία σχετικά με την χρήση του BIM σε έργα.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση στη προσπάθεια να συμβάλει στην ανάπτυξη τεχνολογιών BIM και στη διάδοσή της στις χώρες - μέλη προχώρησε στη χρηματοδότηση της πρωτοβουλίας EU BIM Task Group, προκειμένου να παραχθεί ένα εγχειρίδιο που θα περιέχει τις βασικές αρχές που πρέπει να ακολουθούν οι δημόσιοι λειτουργοί κατά την εφαρμογή του BIM στην στρατηγική πολιτική τους (<http://www.eubim.eu/>). Το εγχειρίδιο [22], που περιέχει οδηγίες για την υιοθέτηση της μοντελοποίησης κατασκευαστικών πληροφοριών από τον ευρωπαϊκό δημόσιο τομέα, εκδόθηκε και στα ελληνικά το 2018, με στόχο την ενημέρωση και ταχεία εφαρμογή της μεθόδου, ως στρατηγικό εργαλείο για την εξοικονόμηση δαπανών, τη βελτιωμένη παραγωγικότητα και λειτουργία, τη βελτίωση των περιβαλλοντικών επιδόσεων και της ποιότητας των υποδομών.

Στην Ελλάδα μέχρι σήμερα τεχνολογίες BIM δεν εφαρμόζονται στο σχεδιασμό και την κατασκευή τεχνικών έργων. Ο δημόσιος τομέας έως σήμερα δεν έχει λάβει δράση προς την προώθηση και την καθιέρωση της τεχνολογίας BIM, ενώ οι εφαρμογές του BIM σε περιορισμένα έργα έχουν υλοποιηθεί με ιδιωτική πρωτοβουλία. Σε αυτό το πλαίσιο ανήκει η κατασκευή του Κέντρου Πολιτισμού - Ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος, από την ιταλική εταιρεία Salini Impregilo και την ελληνική εταιρεία TERNA, καθώς και η επέκταση της Αμερικάνικης Πρεσβείας στην Αθήνα από τις εταιρείες Watts Constructors και J&P Avax (μελέτη: Obermeyer Hellas Ltd, πηγή: <http://www.obermeyer.gr/BIMservices.html>).

Σύμφωνα με το «Εγχειρίδιο για την υιοθέτηση της μοντελοποίησης κατασκευαστικών πληροφοριών από τον ευρωπαϊκό δημόσιο τομέα», η ευρύτερη υιοθέτηση του BIM θα έχει ως αποτέλεσμα εξοικονόμηση της τάξης του 15–25% στην παγκόσμια αγορά υποδομών έως το 2025. Τα οφέλη από αυτή την πρακτική στον δημόσιο τομέα είναι οικονομικού λοιπόν χαρακτήρα, όπως για παράδειγμα καλύτερη αξιοποίηση των δημόσιων πόρων κατά τη φάση της εκτέλεσης και καλύτερη ποιότητα των δημόσιων αγαθών και υπηρεσιών κατά τη χρήση του δομικού έργου. Για έναν υπεύθυνο χάραξης πολιτικής που ασχολείται με την απόδοση του κλάδου των κατασκευών, τα οικονομικά αυτά οφέλη μπορούν να αναχθούν σε εθνικό επίπεδο και να στοχεύσουν στην αύξηση της παραγωγικότητας (π.χ. υπολογιζόμενη ως ποσοστό του ΑΕΠ) και του δυναμικού ανάπτυξης (π.χ. υπολογιζόμενο με βάση τις εξαγωγές). Παράλληλα, η εφαρμογή του BIM μπορεί να αποφέρει και περιβαλλοντικά οφέλη, αφού, για παράδειγμα, οι ακριβέστερες παραγγελίες δομικών προϊόντων θα ελαχιστοποιήσουν τα απορρίμματα σε χώρους υγειονομικής ταφής. Συνεπώς, αναμένονται οφέλη σε οικονομικό, περιβαλλοντικό και κοινωνικό επίπεδο, όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



**Εικόνα 8. Συνδυαστική παρουσίαση οφελών και ενδιαφερόμενων μερών του δημόσιου τομέα, με βάση έρευνα της EUBIMTG τον Ιούνιο 2016. (πηγή: «Εγχειρίδιο για την υιοθέτηση της μοντελοποίησης κατασκευαστικών πληροφοριών από τον ευρωπαϊκό δημόσιο τομέα»)**

Όπως αναλύθηκε και παραπάνω, η τεχνολογία του BIM εφαρμόζεται με άριστα αποτελέσματα σε νέες κατασκευές, παρέχοντας στους εμπλεκόμενους της AEC βιομηχανίας τη δυνατότητα να δουλεύουν παράλληλα ή και ταυτόχρονα σε ίδιο μοντέλο, εξασφαλίζοντας με αυτό τον τρόπο την ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων και την -τελικά- ταχύτητα της κατασκευής.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα επιτυχημένης εφαρμογής BIM αποτελεί η κατασκευή γραφείων της εταιρείας Statoil στο Fornebu της Νορβηγίας, συνολικής επιφάνειας 117.000 m<sup>2</sup> το 2012. Ο ιδιαίτερος σχεδιασμός του συνολικού κτηρίου, με τις τρισδιάστατες μορφές που τέμνονται στο χώρο απαίτησαν ακριβή και λεπτομερή σχέδια που το BIM μπορεί να παρέχει. Επιπρόσθετα, Συστηματικός εντοπισμός βλαβών και διαχείριση της πληροφορίας με χρήση ψηφιακών μεθόδων και μοντέλων πληροφοριών για ιστορικές κατασκευές (HBIM)

κατέστη δυνατή η μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος της κατασκευής, μέσω κατάλληλου σχεδιασμού των ηλεκτρομηχανολογικών δικτύων και την προσθήκη «έξυπνων» υλικών στις προσόψεις, στοιχεία των οποίων η αποτελεσματικότητα μελετήθηκε στο περιβάλλον του BIM.



Εικόνα 9. Γενική άποψη των κτηρίων Statoil στο Fornebu της Νορβηγίας  
(Πηγή: <https://www.archdaily.com/359599/statoil-regional-and-international-offices-a-lab>)

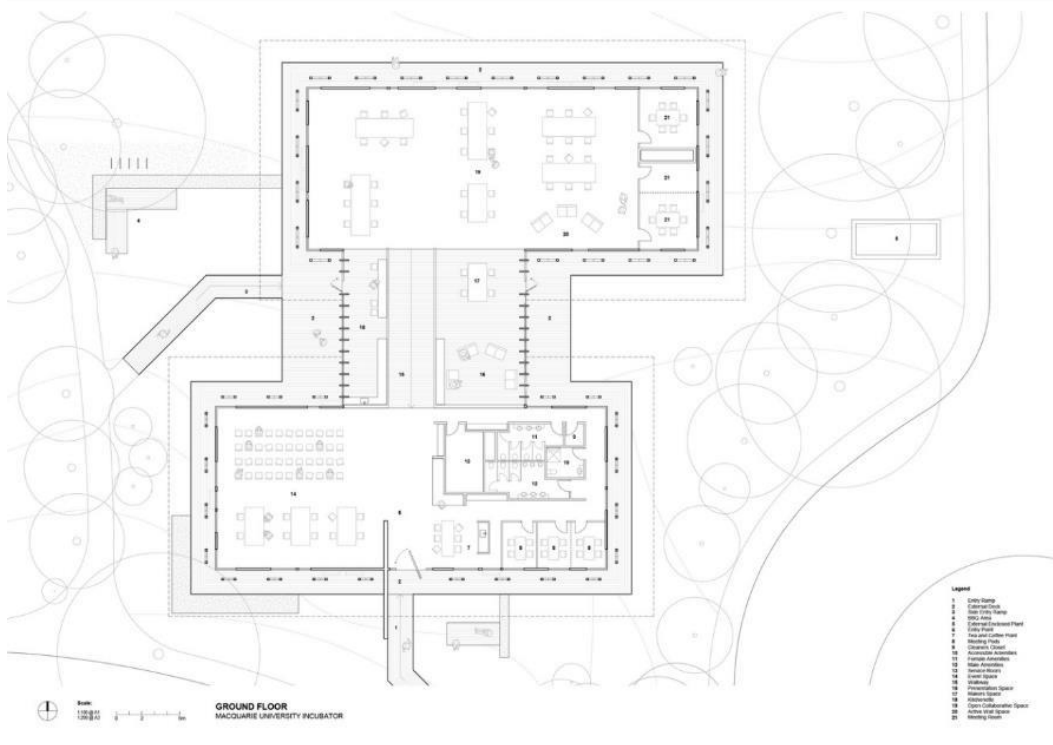


Εικόνα 10. BIM-modeling – 3D Σχέδιο κατασκευής κτηρίων Statoil  
(Πηγή: <https://www.archdaily.com/359599/statoil-regional-and-international-offices-a-lab>)

Άλλο ένα παράδειγμα επιτυχούς κατασκευής με τεχνολογία BIM αποτελεί το κτήριο του Πανεπιστημίου Macquarie στην Αυστραλία, επιφάνειας 953μ<sup>2</sup> που ολοκληρώθηκε το 2017. Όπως χαρακτηριστικά αναφέρουν οι αρχιτέκτονες του έργου, η επιτυχημένη ολοκλήρωσή του δεν θα ήταν εφικτή εάν δεν είχε χρησιμοποιηθεί το τρισδιάστατο μοντέλο BIM, καθώς η κατασκευή απαιτούσε μεγάλη ακρίβεια στη συναρμολόγηση όλων των επιμέρους μελών.



Εικόνα 11. Γενική άποψη του κτηρίου του Πανεπιστημίου Macquarie στην Αυστραλία. (Πηγή: [https://www.archdaily.com/920839/10-projects-in-which-bim-was-essential?ad\\_medium=gallery](https://www.archdaily.com/920839/10-projects-in-which-bim-was-essential?ad_medium=gallery))



Εικόνα 12. Κάτοψη του κτηρίου του Πανεπιστημίου Macquarie στην Αυστραλία. (Πηγή: [https://www.archdaily.com/920839/10-projects-in-which-bim-was-essential?ad\\_medium=gallery](https://www.archdaily.com/920839/10-projects-in-which-bim-was-essential?ad_medium=gallery))

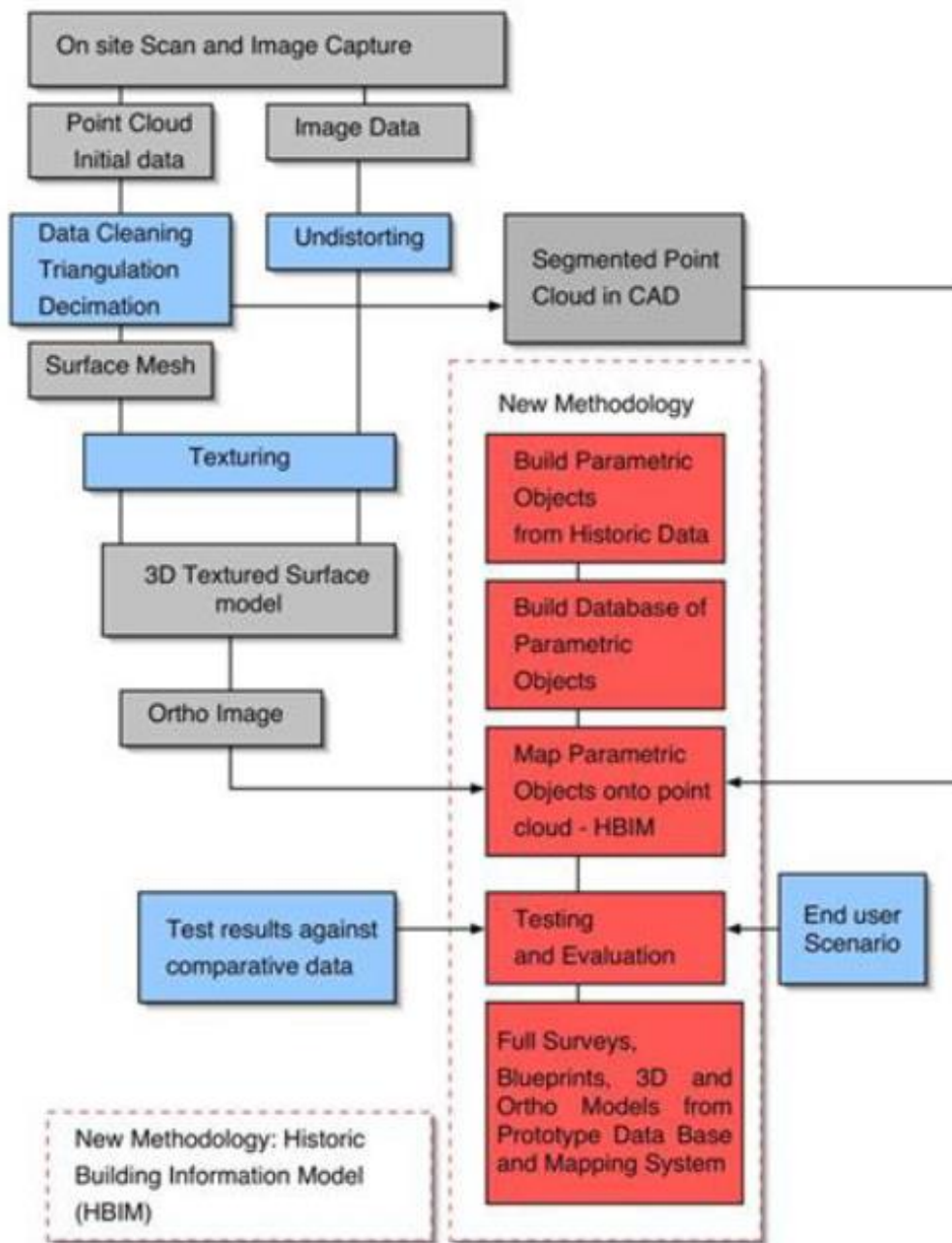
## 4 HERITAGE BIM

Η εξέλιξη της τεχνολογίας του BIM σε ότι αφορά τις νέες κατασκευές, με όλα τα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν ανωτέρω, οδήγησε τα τελευταία χρόνια τους επιστήμονες στην προσπάθεια εφαρμογής της μεθοδολογίας αυτής σε υφιστάμενες κατασκευές. Ο μεγάλος χρόνος και κόπος που απαιτείται στα αρχικά στάδια των μελετών έχει αποτρέψει την ευρεία εφαρμογή της μεθόδου σε μικρής σπουδαιότητας υπάρχοντα κτήρια, καθώς η δημιουργία του τρισδιάστατου ψηφιακού προσομοιώματος, με όλα τα δεδομένα – πληροφορίες γύρω από τα δομικά και μη υλικά απαιτεί δυσανάλογα μεγάλη προσπάθεια σε σχέση με τα ζητούμενα από μια μελέτη συντήρησής τους ή προσαρμογής τους σε νέα δεδομένα (αλλαγές χρήσεις, εσωτερικές ή εξωτερικές διαμορφώσεις, κλπ).

Αντίθετα, οι προσπάθειες της επιστημονικής κοινότητας για την εύρεση τρόπων εκμετάλλευσης των δυνατοτήτων του BIM σε υψηλής σπουδαιότητας υφιστάμενα κτήρια και ιδίως σε κτήρια της πολιτιστικής κληρονομιάς, ολοένα και πληθαίνουν.

### 4.1 Ορισμός του Η(Heritage ή Historic)BIM - Γενικά χαρακτηριστικά

Ο όρος Historic Building Information Modeling ή HBIM εμφανίστηκε πρώτη φορά το 2007 [23] και αποδίδεται στον M. Murphy, ο οποίος ανέπτυξε και ανέλυσε περαιτέρω την μεθοδολογία του στη διδακτορική του διατριβή με τίτλο: «Historic Building Information Modelling (HBIM). For Recording and Documenting Classical Architecture in Dublin 1700 to 1830» [24]. Επρόκειτο για μία νέα προτεινόμενη μέθοδο μοντελοποίησης ιστορικών κατασκευών που περιλαμβάνει την τρισδιάστατη αποτύπωση με χρήση σαρωτών laser συνδυαστικά με φωτογραμμετρία, την κατάλληλη επεξεργασία των δεδομένων (σημείων και φωτογραφιών) και την προσπάθεια χαρτογράφησης– βιβλιοθήκης οντοτήτων (αντικειμένων) σχεδιασμένων σύμφωνα με ιστορικά δεδομένα με προγραμματισμό στη γλώσσα GDL (Geometric Descriptive Language) μαζί με ένα σύστημα που προβάλλει αυτά τα στοιχεία πάνω σε νέφη σημείων στο λογισμικό ArchiCAD. Με τον τρόπο αυτό ακολουθείται ουσιαστικά η αντίστροφη διαδικασία από αυτή μιας κανονικής κατασκευής (reverse engineering). Η πορεία της μεθόδου με τα διαδοχικά στάδια, φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 13. Προτεινόμενη μεθοδολογία του HBIM από M. Murphy [24]

Στη συνέχεια ο όρος HBIM άρχισε να χρησιμοποιείται από το σύνολο σχεδόν της επιστημονικής κοινότητας, δίνοντας στην αρχική λέξη εκτός από τον όρο «Ιστορικό» (Historic) και την πιο ευρεία έννοια της (πολιτιστικής) «Κληρονομιάς» (Heritage). Σήμερα λοιπόν ο όρος HBIM απαντάται και με τις δύο μορφές, θέλοντας να αποδώσει κανείς την εφαρμογή της μεθόδου σε ιστορικές κατασκευές ή μνημεία εν γένει.

Η προσπάθεια της ολιστικής διαχείρισης ενός μνημείου, μέσω της συνεργασίας όλων των επιστημονικών κλάδων συμβαδίζει με τις αρχές προστασίας των μνημείων που αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 1, διαπιστώνοντας ότι το μοντέλο HBIM θα μπορούσε, υπό προϋποθέσεις, να αποτελέσει το μελλοντικό εργαλείο για τη διαχείριση των ιστορικών κτηρίων καλύπτοντας παράλληλα τις απαιτήσεις των κανόνων προστασίας της πολιτιστικής κληρονομιάς.

Η Αρχιτεκτονική κληρονομιά, όπως αναφέρθηκε στο αντίστοιχο κεφάλαιο, περιλαμβάνει το σύνολο των μνημείων ενός τόπου, δηλαδή των φυσικών αντικειμένων του, σε συνδυασμό με άλλα υλικά και άυλα χαρακτηριστικά που έχουν διατηρηθεί από το παρελθόν. Στην πολιτιστική κληρονομιά ανήκουν επομένως και το σύνολο των αρχιτεκτονικών κτισμάτων και ιστορικών τόπων, που κάθε κράτος οφείλει να προστατεύει και να διατηρεί μέσω εργασιών συντήρησης αλλά και αποκατάστασης σε πολλές περιπτώσεις. Το Η(eritage)BIM αποτελεί μία μεθοδολογία που χρησιμοποιώντας κατάλληλα τις αρχές του BIM όπως αυτές εφαρμόζονται στις νέες κατασκευές, στοχεύει στην μελέτη και κάλυψη των απαιτήσεων που διέπει η αποκατάσταση υφιστάμενων κατασκευών [24].

Με τη χρήση του HBIM, γίνεται προσπάθεια για τη διαχείριση όλων των συλλεγόμενων πληροφοριών γύρω από τη ζωή ενός υφιστάμενου ιστορικού κτηρίου, δηλαδή των ιστορικών του στοιχείων – φάσεων κατασκευής, τις κατασκευαστικές μεθόδους που εφαρμόστηκαν, τα χρησιμοποιούμενα υλικά, την παθολογία του και βέβαια την ψηφιακή αναπαράστασή του. Από τη βιβλιογραφική έρευνα που εκπονήθηκε προκύπτει η προσπάθεια της επιστημονικής κοινότητας να εφαρμόσει την ψηφιακή αναπαράσταση των φυσικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών μιας κατασκευής (ομοίωμα) σε ένα υπολογιστικό περιβάλλον, με δυνατότητα αποθήκευσης και διαχείρισης πλήθους πληροφοριών, με την παράλληλη χρήση των πρότυπων μεταδεδομένων και των δομημένων λεξιλογίων που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 3.5.

Στην Μ. Βρετανία δραστηριοποιείται το Συμβούλιο για την εκπαίδευση στην αρχιτεκτονική διατήρηση (COTAC – Council on Training in Architectural Conservation) που ιδρύθηκε το 1959 για να παρέχει οδηγίες και κατευθύνσεις στους ειδικούς των έργων συντήρησης και αποκατάστασης ιστορικών κατασκευών, μετά τη διαπίστωση ότι η γνώση γύρω από τις τεχνικές και τα παραδοσιακά υλικά από τα οποία δομούνται τείνει να εκλείψει. Το Συμβούλιο, αναγνωρίζοντας την ανάγκη διερεύνησης των τρόπων αξιοποίησης των νέων τεχνολογικών εξελίξεων του τομέα των σύγχρονων κατασκευών στις ιστορικές, εξέδωσε το 2016 το COTAC BIM4C Intergrating HBIM Framework Report [25], μια μελέτη εργασίας τριών τόμων, για την κατανόηση και την περαιτέρω εξέλιξη της εφαρμογής του BIM στον τομέα της πολιτιστικής κληρονομιάς.

## 4.2 Νομοθεσία μεθοδολογίας μελετών σε μνημεία

Η μεθοδολογία εκπόνησης μίας μελέτης αποκατάστασης μιας ιστορικής κατασκευής αποτελεί σφαιρική και όσο το δυνατόν ολιστική προσέγγιση μιας σειράς επιστημόνων – ειδικών. Παρόλο που δεν υπάρχουν σαφή κανονιστικά πλαίσια για τη σύνταξη και το περιεχόμενο των μελετών αποκατάστασης μνημείων, αυτές ακολουθούν σε επίπεδο αρχών και κατευθύνσεων τη Χάρτα της Βενετίας και κατά περίπτωση τις μεταγενέστερες συστάσεις – συμβάσεις (Κεφάλαιο 2.2). Κατά περίπτωση και κατά την κρίση των μελετητών – αναστηλωτών καθώς και των ελεγκτικών αρχών της Πολιτείας (ΥΠΠΟΑ, Αρμόδια Συμβούλια, Επιστημονικοί Σύλλογοι, κλπ), ακολουθούνται και λοιποί κανονισμοί του Κράτους, όπως οι Ευρωκώδικες, με την σημείωση πάντα ότι τα μνημεία εξαιρούνται της πιστής τήρησης των διατάξεων, ειδικά στον τομέα του Πολιτικού Μηχανικού.

Το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο για τις εργασίες σε μνημεία περιλαμβάνει:

- Τον Ν. 3028/02 «για την προστασία των αρχαιοτήτων και εν γένει της πολιτιστικής κληρονομιάς» (153/A/28-06-02).
- Το Π.Δ. 99/1922 «Μελέτη και εκτέλεση αρχαιολογικών έργων»
- Το ΠΔ/ 15-4-88 ΦΕΚ 317 Δ'28-4-88 «Διατήρηση επισκευή ή ανακατασκευή αρχιτεκτονικών, καλλιτεχνικών και στατικών στοιχείων διατηρητέων κτιρίων».
- Τον Ν. 1577/85 «Γενικός Οικοδομικός Κανονισμός», όπως αυτός τροποποιήθηκε με το Ν. 2831/2000 (Α140) «Γενικός Οικοδομικός Κανονισμός και άλλες πολεοδομικές διατάξεις».

Πρόσφατα το ελληνικό κράτος προχώρησε στην έκδοση της Κοινής Υπουργικής Απόφασης ΥΠΠΟΑ/ΑΤΝΕΚΕ/356112/929/2019 (ΦΕΚ 2837/Β/5-7-2019) «Κανονιστικό πλαίσιο για την εκπόνηση μελετών και την εκτέλεση εργασιών σε ακίνητα μνημεία» [26], προκειμένου να περιγράψει αναλυτικότερα τα απαραίτητα παραδοτέα των μελετών των μνημείων. Σύμφωνα με

αυτή, κάθε επέμβαση σε μνημείο μελετάται διεξοδικά στο πλαίσιο της ισχύουσας νομοθεσίας, είτε από το εξειδικευμένο επιστημονικό προσωπικό των αρμοδίων Υπηρεσιών, είτε από ιδιώτες μελετητές με εξειδικευμένα προσόντα.

Σε ότι αφορά τις κατηγορίες των μελετών μνημείων και αρχαιολογικών χώρων, αυτές περιλαμβάνουν εν γένει την αρχιτεκτονική μελέτη, τη μελέτη φέρουσας κατασκευής (στατική μελέτη), τις μελέτες εγκαταστάσεων, έργων υποδομής και διαμορφώσεων περιβάλλοντος χώρου» (αρθ. 6).

Ως προς τα στάδια εκπόνησης της συνολικής μελέτης αποκατάστασης αυτά είναι:

α) προκαταρκτική μελέτη σκοπιμότητας η οποία συντάσσεται για εργασίες μείζονος σημασίας ή για επεμβάσεις σε μνημεία μείζονος σημασίας ή σε μνημεία και χώρους μεγάλης κλίμακας.

β) προμελέτη

γ) οριστική μελέτη

δ) μελέτη εφαρμογής και τεχνικές προδιαγραφές έργου

ε) τεύχη δημοπράτησης (σε περίπτωση ανάθεσης του έργου σε τρίτους)

Σημειώνεται ότι σε αυτές τις οδηγίες προτείνεται η μεθοδολογία προσέγγισης, χωρίς όμως να τίθεται σαφές κανονιστικό πλαίσιο μεθοδολογίας εργασίας, όπως στις συμβατικές νέες ή μη κατασκευές (Ευρωκώδικες, ΚΑΝ.ΕΠΕ. κλπ).

Για την αποτελεσματική προστασία των μνημείων απαιτείται σε πρώτο στάδιο, όπως προκύπτει από όλες τις Χάρτες, Αρχές και κατευθύνσεις των διεθνών οργανισμών για την προστασία των μνημείων, η όσο το δυνατόν πληρέστερη αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης και η πλήρης ιστορική έρευνα για την τεκμηρίωση της σπουδαιότητάς τους.

Συνοπτικά, η μεθοδολογία που ακολουθείται κατά την εκπόνηση μιας μελέτης αποκατάστασης περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

- Ιστορική έρευνα – τεκμηρίωση
- Αναλυτική αποτύπωση μνημείου
  - Γεωμετρική αποτύπωση
  - Δομική – κατασκευαστική αποτύπωση
  - Αποτύπωση παθολογίας
  - Ανάλυση δομικών υλικών και φθορών
- Τεκμηρίωση υφιστάμενης κατάστασης (τυπολογία, παλαιότερες επεμβάσεις, κατασκευαστική δομή, υλικά, κλπ)
- Τεκμηρίωση παθολογίας (εάν εντοπιστεί)
- Πρόταση αποκατάστασης
  - Βασικές αρχές των προτάσεων
  - Φιλοσοφία επέμβασης
  - Τεκμηρίωση πρότασης (αρχιτεκτονική μελέτη, δομοστατική μελέτη, μελέτη υλικών, γεωτεχνική μελέτη, ηλεκτρομηχανολογική μελέτη)

Όπως φαίνεται, η μελέτη αποκατάστασης αποτελεί προϊόν διεπιστημονικής προσέγγισης, με παράλληλη εργασία πολλών διαφορετικών ειδικοτήτων. Σημειώνεται ότι κάθε εργασία σε μνημείο σύμφωνα με τη Χάρτα της Βενετίας, πρέπει να είναι πλήρως τεκμηριωμένη, ενώ από όλους τους διεθνείς οργανισμούς και τον αρχαιολογικό νόμο υπογραμμίζεται η αναγκαιότητα της διαχείρισης και διάθεσης όλων των δεδομένων που αφορούν σε μνημεία.

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται τα στάδια και η πορεία που ακολουθείται από την έναρξη ενός έργου αποκατάστασης μνημείου ή αρχαιολογικού χώρου μέχρι την τελική παράδοσή του σε χρήση και τη συνέχιση της λειτουργίας / διαχείρισής του.



### The Heritage Places Conservation Process and Related Project Heritage Information Activities



Εικόνα 14. Διάγραμμα φάσεων και απαιτούμενων αποτελεσμάτων σε μια μελέτη αποκατάστασης [27].

#### 4.3 Στάδια διαδικασίας εφαρμογής του BIM σε ιστορικές κατασκευές

Η εφαρμογή της μεθολογίας του BIM στις υπάρχουσες κατασκευές ακολουθεί αντίστροφη διαδικασία από αυτή των νέων κατασκευών, με την έννοια ότι πρέπει να δοθεί μεγάλο βάρος στην ακριβή αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης (as built) και όχι στον σχεδιασμό μιας ιδεατής κατασκευής. Ακολουθώντας λοιπόν τη μέθοδο του reverse engineering, δηλαδή της «αποσυναρμολόγησης» μιας κατασκευής στα επιμέρους δομικά μέλη με σκοπό την κατανόηση του σχεδιασμού και των λειτουργιών της, αντιλαμβάνεται κανείς ότι πρόκειται για μια εξαιρετικά πολύπλοκη και επίπονη διαδικασία, που απαιτεί πλήθος γνώσεων σε πολλαπλά επιστημονικά επίπεδα.

Η εφαρμογή του BIM στα μνημεία της πολιτιστικής κληρονομιάς (CH) περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα (διαδικασία σάρωσης έως μοντέλο σε BIM λογισμικό) [28]:

- α) Ιστορική-αρχιτεκτονική-δομική έρευνα
- β) Συλλογή δεδομένων
- γ) Επεξεργασία δεδομένων
- δ) Αναγνώριση αντικειμένων (σημασιολογία)

Συστηματικός εντοπισμός βλαβών και διαχείριση της πληροφορίας με χρήση ψηφιακών μεθόδων και μοντέλων δομικών πληροφοριών για ιστορικές κατασκευές (HBIM)

## ε) Μοντελοποίηση (σε λογισμικό BIM)

Κάθε ένα από αυτά τα βήματα είναι ακόμα υπό ανάπτυξη με την έννοια ότι εξελίσσονται διαρκώς οι υπολογιστικές δυνατότητες τόσο των μηχανημάτων όσο και των λογισμικών, υπογραμμίζοντας ότι η μέθοδος που ακολουθείται κάθε φορά εξαρτάται και προσαρμόζεται στις ανάγκες του εκάστοτε κτηρίου / χώρου και τις ειδικές προδιαγραφές του. Στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 15) αναφέρονται τα βήματα που ακολουθούνται, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία [23] για την δημιουργία ενός ψηφιακού προσομοιώματος μιας ιστορικής κατασκευής σε λογισμικό BIM. Η διαδικασία περιλαμβάνει τις εργασίες πεδίου, όπου περιλαμβάνονται η συλλογή στοιχείων (ιστορικών, κατασκευαστικών) και η αποτύπωση του μνημείου και τις εργασίες γραφείου, στις οποίες περιλαμβάνονται όλες οι ενέργειες για την τελική ανάπτυξη του ψηφιακού μοντέλου (HBIM). Ακολουθεί η λεπτομερέστερη ανάλυση των σταδίων ανά κατηγορία.



**Εικόνα 15** Στάδια δημιουργίας μοντέλου BIM σε ιστορικές κατασκευές.

### 4.3.1 Ιστορική και επιτόπια έρευνα

Η **ιστορική έρευνα** αποτελεί αναπόσπαστο στοιχείο κάθε μελέτης αποκατάστασης ιστορικής κατασκευής, προκειμένου να αναγνωρίζονται και να αναλύονται τα αξιακά της χαρακτηριστικά και τελικά να τεκμηριώνεται η κάθε προτεινόμενη επέμβαση σε αυτή. Το γεγονός αυτό ενισχύεται και από τη σχετική νομοθεσία, σύμφωνα με την οποία πριν την έναρξη οποιασδήποτε μελέτης σε ένα μνημείο θα πρέπει να συντάσσεται *Μελέτη Σκοπιμότητας*, η οποία είναι προϊόν διεπιστημονικής προσέγγισης, βασίζεται σε μακροσκοπικές παρατηρήσεις και κυρίως σε βιβλιογραφική και αρχειακή έρευνα (Κ.Π. ΥΠΠΟΑ/ΑΤΝΕΚΕ/356112/929/5-7-19, αρ. 4). Η μελέτη σκοπιμότητας είναι αυτή που σύμφωνα με τον νόμο εισάγεται υποχρεωτικά στο αρμόδιο Συμβούλιο για έλεγχο και έγκριση, ώστε να μπορέσουν στη συνέχεια να εκπονηθούν οι υπόλοιπες μελέτες. Με τον τρόπο αυτό ο νόμος υπογραμμίζει τη μεγάλη σημασία της ιστορικής τεκμηρίωσης σε κάθε μνημείο.

Η αναλυτική και θεωρητική έρευνα σχετικά με τα ιστορικά δεδομένα είναι μεγάλης σημασίας όταν ασχολείται κανείς με ιστορικά κτήρια, συμβάλλοντας στη σωστή λήψη αποφάσεων από τους ερευνητές και στην επιλογή της καλύτερης κατάλληλης τεχνικής έρευνας, έχοντας μελετήσει τη δομή των κατασκευαστικών φάσεων και των αλλαγών στο χρόνο, προκειμένου να περιοριστεί ο χρόνος των επιτόπιων εργασιών. Η συνεργασία των επιστημόνων που εκπονούν την αποτύπωση με τους ιστορικούς – αρχαιολόγους και τους μηχανικούς – αναστηλωτές είναι σημαντική, καθώς μπορεί να σχεδιαστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια ο τρόπος αποτύπωσης, τα σημεία που χρήζουν μεγαλύτερης προσοχής καθώς και οι αναμενόμενες δυσκολίες και οι τρόποι αντιμετώπισής τους. Η ιστορική έρευνα με την – βιβλιογραφική αρχικά – διάκριση των κατασκευαστικών φάσεων μπορεί να δώσει πολύτιμες πληροφορίες στους μηχανικούς που θα αποτυπώσουν το μνημείο, ώστε να δοθεί έμφαση σε σημεία της κατασκευής που έχουν σίγουρα υποστεί αλλοιώσεις και μετατροπές.

Η **επιτόπια έρευνα** γίνεται παράλληλα ή/και σε συνέχεια της ιστορικής έρευνας και αποτελεί τμήμα της μελέτης αποκατάστασης, καθώς αφορά κυρίως στην αναγνώριση και καταγραφή των υλικών δόμησης της κατασκευής (κονιάματα, λίθοι, ξύλα, κέραμοι, κλπ). Είναι το πρώτο στάδιο της διαγνωστικής μελέτης [29], στην οποία περιλαμβάνονται οι εργασίες ταυτοποίησης των υλικών, με χρήση ενόργανων και μη καταστρεπτικών μεθόδων [30]. Ως ενόργανες χαρακτηρίζονται οι μέθοδοι που απαιτούν λήψη δείγματος, όπως η πορομετρία υδραργύρου, η λήψη δειγμάτων για τον υπολογισμό της αντοχής υλικών, η FTIR, η ρόφηση-εκρόφηση υγρασίας, οι θερμικές μέθοδοι DTA/TG, DSC, TMA κ.α. ενώ ως μη καταστρεπτικές νοούνται οι ψηφιακή επεξεργασία εικόνας, η υπερηχοσκόπηση, το γεωραντάρ, η υπέρυθρη θερμογραφία κ.α. [26]. Η επεξεργασία όλων αυτών των αποτελεσμάτων παρέχει τα δεδομένα για την αναγνώριση των υλικών και δομικών μερών της κατασκευής, την διαπίστωση του ποσοστού φθοράς ή βλάβης τους και τελικά την επιλογή της βέλτιστης λύσης αποκατάστασης αυτών αλλά και του συνόλου της κατασκευής.

### 4.3.2 Αποτύπωση

Σε ένα έργο ψηφιακής τεκμηρίωσης και τρισδιάστατης μοντελοποίησης, ο βασικός στόχος είναι, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, να δομηθεί μια πλήρης αναπαράσταση της δομής, με υψηλή γεωμετρική ακρίβεια. Το ψηφιακό μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί αφενός για μελετητικούς/ερευνητικούς σκοπούς και αφετέρου για εκπαιδευτικούς – τουριστικούς – πολιτιστικούς σκοπούς.

Οι ακριβείς τεχνικές καταγραφής και έρευνας δεδομένων συνήθως γίνονται με τη χρήση φωτογραμμετρίας ή/και ψηφιακής σάρωσης [31]. Η επιλογή της καλύτερης προσέγγισης εξαρτάται από την απαιτούμενη ακρίβεια, τις διαστάσεις αντικειμένων, τους περιορισμούς τοποθεσίας, τη φορητότητα και τη χρηστικότητα του συστήματος, τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας, την εμπειρία της ομάδας εργασίας, τον προϋπολογισμό του έργου, τον τελικό στόχο κλπ [32].

Σήμερα με τη χρήση επίγειων ψηφιακών σαρωτών (TLS) και τηλεκατευθυνόμενων συστημάτων αεροσκαφών (RPAS) στην επιτόπια έρευνα-αποτύπωση, μπορεί με κατάλληλη επεξεργασία να

παραχθεί το υψηλής ποιότητας νέφος σημείων και τελικά το τρισδιάστατο μοντέλο τόσο σε αρχαιολογικούς χώρους όσο και σε μεμονωμένα κτήρια, εντός περιορισμένου χρόνου και με την μέγιστη μετρητική ακρίβεια. Σημειώνεται εδώ ότι η μέγιστη δυνατή ακρίβεια είναι πολύ σημαντική. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να έχει προηγηθεί επαρκής έρευνα και συνεργασία όλων των εμπλεκόμενων επιστημόνων, ώστε αυτός που θα εκτελέσει την αποτύπωση να γνωρίζει εξαρχής σε ποιες στάσεις θα τοποθετήσει τα όργανα για να ελαχιστοποιήσει τον αριθμό των μετρήσεων και σε ποια στοιχεία (αρχιτεκτονικά και δομικά) θα πρέπει να δώσει μεγαλύτερη προσοχή (ενδεχομένως με πρόσθετες σαρώσεις) για να συμβάλει στην εκπόνηση της μελέτης και στην σχεδίαση του μοντέλου [33]. Πρόκειται για μέθοδο που απαιτεί μικρό χρονικό διάστημα στο πεδίο, με τη μέγιστη δυνατή λήψη πληροφορίας υψηλού επιπέδου που αποθηκεύεται είτε σε κάρτες SD είτε απευθείας σε cloud.

Η καταγραφή αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς με τη χρήση επίγειων ψηφιακών σαρωτών γίνεται όλο και πιο δημοφιλής τα τελευταία χρόνια. Το γεγονός ότι οι κατασκευαστές τέτοιων συστημάτων Laserscanning (TLS) προχωρούν σε συνεχείς αναβαθμίσεις των προϊόντων τους στις οποίες αφενός αυξάνουν σημαντικά την ποσότητα και την ταχύτητα των στοιχείων που συλλαμβάνονται σε κάθε σάρωση και αφετέρου μειώνουν το κόστος αγοράς τους, κάνει την χρήση τους για την καταγραφή της πολιτιστικής κληρονομιάς ολοένα και πιο συχνή, παράλληλα με τις παραδοσιακές μεθόδους όπως η φωτογραμμετρία.

Η μέθοδος αυτή είναι σίγουρα ένα χρήσιμο εργαλείο για τη σύλληψη σύνθετων αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα δίπλα από τις παραδοσιακές μεθόδους, αλλά μπορεί να αποτελέσει και εμπόδιο στην περαιτέρω διαδικασία, αν δεν χρησιμοποιηθεί σωστά κατά τη σύλληψη. Ένα βασικό μειονέκτημα αποτελεί ο μεγάλος όγκος των δεδομένων που συλλέγουν τα συστήματα κατά την καταγραφή. Σημειώνεται ότι ακόμα και μικρές μελέτες (ή μελέτες μικρών σε μέγεθος κτηρίων) μπορεί να καταλήξουν να έχουν μία τεράστια ποσότητα δεδομένων (Pointcloud) που ο τελικός χρήστης, όπως οι αρχιτέκτονες ή ο αρχαιολόγος αφενός δεν μπορεί ούτε καν να τα διαβάσει, καθώς ο τεχνικός εξοπλισμός του δεν πληροί τις τεχνικές απαιτήσεις και αφετέρου δεν μπορεί να τα επεξεργαστεί, λόγω του υψηλού κόστους του απαιτούμενου λογισμικού. Ακόμη και η απαραίτητη ερμηνεία του Dataset μπορεί να είναι ένα δύσκολο έργο, αν οι άνθρωποι που πρέπει να εργαστούν με το Pointcloud δεν εκπαιδεύονται σωστά, προκειμένου να κατανοήσουν τα δεδομένα από μια ψηφιακή σάρωση και τα αποτελέσματα που δημιουργεί.

#### 4.3.3 Διαχείριση δεδομένων αποτύπωσης

Η επεξεργασία των δεδομένων, σε αντίθεση με τη συλλογή τους, είναι μια χρονοβόρα, πολύπλοκη διαδικασία που απαιτεί πολλές ώρες εργασίας από ειδικούς, για την παραγωγή ενός πλήρους 3D μοντέλου του σαρωμένων κτηρίων. Κατά την επεξεργασία, τα δεδομένα στο νέφος σημείων που προέρχονται από εικόνες (φωτογραμμετρία) ή λείζερ καταχωρούνται, ευθυγραμμίζονται και συγχωνεύονται στο ίδιο σύστημα συντεταγμένων. Ο χειρισμός των σαρωμένων δεδομένων περιλαμβάνει την αφαίρεση θορύβου και τον καθαρισμό του νέφους από άσχετες πληροφορίες. Η διαδικασία, ανάλογα με το μέγεθος της δομής, την επιθυμητή ακρίβεια και τις περαιτέρω απαιτήσεις, μπορεί να διαρκέσει σημαντικό χρόνο πληροφορικής, λόγω του μεγάλου όγκου δεδομένων και των περιορισμών στην απόδοση των υπολογιστών. Τα δεδομένα από τα νέφη σημείων μετατρέπονται τελικά σε μορφές αρχείων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από λογισμικά CAD για την ελαχιστοποίηση του απαραίτητου αποθηκευτικού χώρου και τη μείωση των – υψηλών- προδιαγραφών / απαιτήσεων σε ότι αφορά την ισχύ των υπολογιστικών συστημάτων.

#### 4.3.4 Μοντελοποίηση

Η αναγνώριση αντικειμένων και η μοντελοποίηση σε περιβάλλον BIM είναι ο τελευταίος τομέας όπου όλα τα δεδομένα που συλλέγονται ταξινομούνται και ενσωματώνονται σε μια τρισδιάστατη ψηφιακή περιγραφή της δομής τους, του περιβάλλοντος του συστήματος και ενδεχομένως του σχετικού συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών (GIS). Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας το κτίριο αποτελείται από χαρακτηριστικά που καθορίζουν τις ιδιότητες του κάθε αντικειμένου

καθώς και τις σχέσεις μεταξύ τους και με την όλη κατασκευή, διαφοροποιώντας τη διαδικασία από την αντίστοιχη σε CAD, μετατρέποντας αντικείμενα από γραφικές οντότητες (γραμμές, τόξα, κύκλους) σε σημασιολογικά στοιχεία (τοίχους, δοκούς, θόλους, κλπ).

Το τελικό μοντέλο περιλαμβάνει όλες τις πληροφορίες σε ένα αποθετήριο εντός ενός ολοκληρωμένου περιβάλλοντος δεδομένων, εξασφαλίζοντας συνέπεια, ακρίβεια και προσβασιμότητα των δεδομένων. Ωστόσο, η σημασιολογική ταξινόμηση είναι υπό επιστημονική έρευνα, καθώς όλα τα ιστορικά κτίσματα, ακόμη και κτίρια της ίδιας περιόδου ή τύπου, έχουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που τα καθιστούν μοναδικά.

Ως εκ τούτου, δεν είναι δυνατόν να καθοριστεί αυστηρή ταξινόμηση βάσει ειδικών κανονισμών και κατευθυντήριων γραμμών, δεδομένου ότι κάθε περιπτώσιολογική μελέτη είναι διαφορετική από την άλλη, απαιτώντας διαφορετική προσέγγιση και μέθοδο ανάλυσης. Η τυπική ταξινόμηση που χρησιμοποιείται συχνότερα στα λογισμικά BIM για τη διαχείριση αρχιτεκτονικών στοιχείων δεν είναι σε θέση να ικανοποιήσει τις ανάγκες του HBIM, λόγω της πολυπλοκότητας των ιστορικών στοιχείων και του μοναδικού αρχιτεκτονικού, δομικού και καλλιτεχνικού χαρακτήρα τους, που απαιτεί διεπιστημονική προσέγγιση, με τη συμμετοχή διαφορετικών επιστημόνων και εξειδικευμένου τρόπου εργασίας. Οι ερευνητικές εργασίες γίνονται προς την κατεύθυνση της χρησιμότητας και της ευελιξίας στη διαχείριση σημασιολογικών δεδομένων, προκειμένου να ικανοποιηθούν οι ειδικές απαιτήσεις κάθε περίπτωσης και οι ανάγκες όλων των εμπλεκόμενων μερών.

Η βιβλιογραφική έρευνα δείχνει ότι το BIM στον τομέα της πολιτιστικής κληρονομιάς βασίζεται κυρίως στην πράξη, χωρίς δηλαδή βασικό θεωρητικό υπόβαθρο – πλαίσιο, καθώς ο μελετητής/μελετητές κατά τη διάρκεια της εργασίας τους έρχονται αντιμέτωποι με τα πραγματικά – και όχι θεωρητικά – προβλήματα που ανακύπτουν σε κάθε περίπτωση και χρήζουν επίλυσης.

Όπως αναφέρθηκε, η πλατφόρμα του HBIM έχει, μέσω βιβλιοθηκών, τη δυνατότητα να αποδώσει χαρακτηριστικά – πληροφορίες στα επιμέρους μέλη ενός ψηφιακού ομοιώματος, αλλά παράλληλα παρέχει τη δυνατότητα για ορισμό νέων χαρακτηριστικών, όπως για παράδειγμα την αυθεντικότητα. Για κάθε δομικό στοιχείο υπάρχει δομημένη, ανάλογα με το είδος του, σειρά πληροφοριών που συνιστά μια βάση δεδομένων που περιέχει γεωμετρικές και μη γεωμετρικές πληροφορίες. Οι γεωμετρικές πληροφορίες αφορούν στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των μελών, πχ. τοίχων, τοιχογραφιών, εξοπλισμού, δικτύων, κλπ, ενώ οι μη γεωμετρικές αφορούν σε ιστορικά στοιχεία, υλικά κατασκευής, χρώματα, κόστη, καθώς και πληροφορίες σχετικές με την άυλη πολιτιστική κληρονομιά. Η μοντελοποίηση ιστορικών κτηρίων αν και ομοιάζει με αυτή των απλών κατασκευών, διαφοροποιείται σημαντικά σε ότι αφορά την σημασιολογική αναγνώριση και ταξινόμηση των μελών, διότι πρόκειται για δομές που δεν περιλαμβάνονται στις συνήθεις βιβλιοθήκες των λογισμικών BIM και συνεπώς απαιτούν τον ορισμό τους εξ αρχής, διαδικασία που απαιτεί εξελιγμένα σχεδιαστικά προγράμματα και υψηλές προγραμματιστικές ικανότητες. Επιπρόσθετα, οι βιβλιοθήκες εμπλουτίζονται με τα παραδοσιακά υλικά και τεχνικές κατασκευής για την πληρέστερη τεκμηρίωση του κτηρίου.

Η δομή της βάσης δεδομένων επιτρέπει την «κίνηση» από το γενικό στο ειδικό και αντίστροφα σε οποιαδήποτε αναζήτηση – έρευνα για την κάθε ιστορική κατασκευή, καθώς και την αντίστοιχη κατηγοριοποίηση – ταξινόμηση των αποτελεσμάτων.

Η **κατηγοριοποίηση της πληροφορίας** είναι εργασία που απαιτεί τη συνεργασία πολλών επιστημονικών ειδικοτήτων (τοπογράφους - αρχιτέκτονες – πολιτικούς μηχανικούς – χημικούς μηχανικούς των υλικών – αρχαιολόγους – συντηρητές). Οι συνηθέστερες κατηγοριοποιήσεις σε συνήθη ιστορικά κτήρια αφορούν σε: α) είδη δομικών μελών (τοίχοι, σταυροθόλια, θόλοι, τρούλοι, κόγχες, κλπ) β) είδη υλικών (λίθοι, κονιάματα, ξύλα, πλίνθοι, κεραμίδια, κλπ) γ) κατηγορίες παθολογίας (ρωγμές, αποκλίσεις από κατακόρυφο, υγρασίες, κλπ).

Το τελικό ψηφιακό μοντέλο της ιστορικής κατασκευής σε λογισμικό BIM επιτρέπει τη διαχείριση όλων των αποθηκευμένων πληροφοριών και δεδομένων από όλους τους εμπλεκόμενους φορείς (αρχαιολόγους, αναστηλωτές, αρχιτέκτονες, μηχανικούς υλικών, πολιτικούς μηχανικούς, δημόσιους και μη φορείς, τελικούς χρήστες). Βασική προϋπόθεση αποτελεί η εξασφάλιση κατάλληλου τεχνολογικού εξοπλισμού και βέβαια επαρκής εκμάθηση χειρισμού των λογισμικών [34] ώστε να καταστεί δυνατή η διεπιστημονική διαχείριση των πληροφοριών.

#### 4.4 Παραδείγματα από τη βιβλιογραφική έρευνα

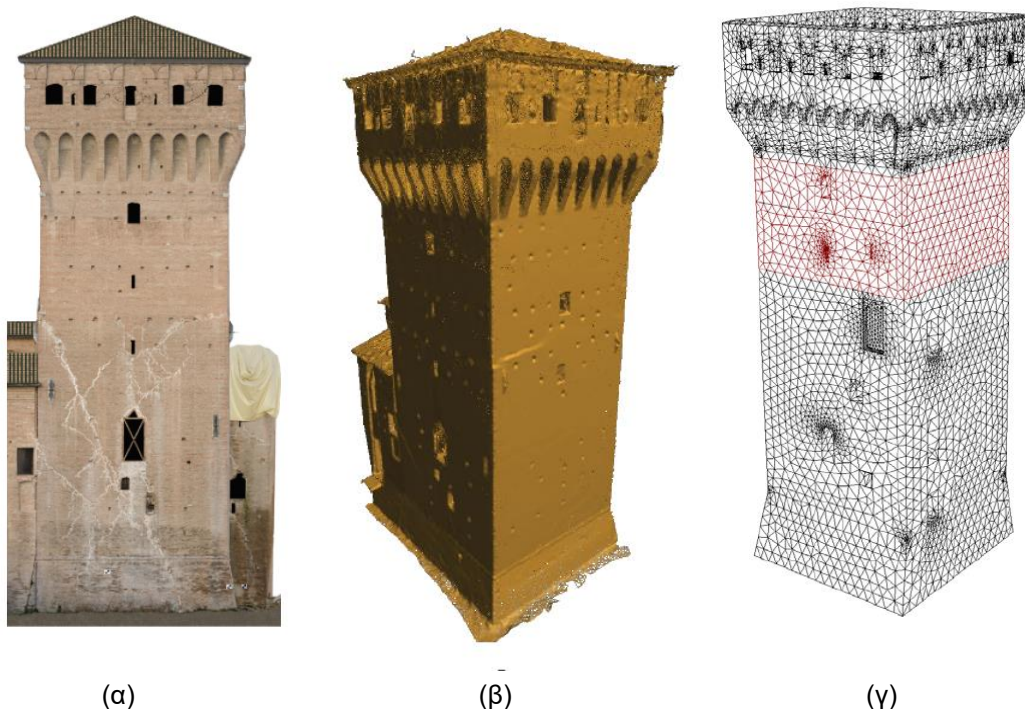
Αναγνωρίζοντας τις πολυάριθμες εφαρμογές και τις δυνατότητες της τεχνολογίας BIM να συνδυάσει διάφορα δεδομένα σε ένα ενιαίο αρχείο, προσβάσιμο σε διάφορους επιστήμονες και εμπειρογνώμονες, οι ερευνητές προσπαθούν τον τελευταίο καιρό να εφαρμόσουν το BIM σε κτίρια ιστορικής αξίας [24]. Η τεχνολογία του μοντέλου δομικών πληροφοριών (BIM) σε ιστορικές κατασκευές (HeritageBIM) είναι μια νέα προσέγγιση για τη δημιουργία ευφύων τρισδιάστατων μοντέλων και βάσεων δεδομένων ιστορικών κτιρίων που ενσωματώνουν πληροφορίες και δεδομένα και αναπτύσσεται σημαντικά τα τελευταία χρόνια, κυρίως βέβαια σε ερευνητικό επίπεδο, χωρίς να έχει υιοθετηθεί επίσημα από κρατικούς φορείς, καθώς δεν προσδιορίζεται από σαφές κανονιστικό πλαίσιο. Από τη βιβλιογραφική έρευνα που εκπονήθηκε, εντοπίστηκαν αρκετά παραδείγματα ιστορικών κατασκευών στις οποίες επιχειρήθηκε η εφαρμογή της μεθόδου, ανάλογα με τα ζητούμενα κάθε φορά στοιχεία από επιστημονική πλευρά.

Μια εφαρμογή του BIM στον τομέα της Πολιτιστικής Κληρονομιάς και ειδικότερα στον τομέα των μνημείων της παγκόσμιας κληρονομιάς, είναι η περίπτωση του προγράμματος “Scottish Ten” [21], ένα έργο που ξεκίνησε το 2009, ολοκληρώθηκε το 2014 και αφορούσε στην ψηφιακή τεκμηρίωση δέκα μνημείων, πέντε μνημείων της Σκωτίας και άλλων πέντε διεθνών, με στόχο τη διατήρηση, τη διαχείριση, την ερμηνεία τους και την εικονική πρόσβασή τους μέσω δημιουργίας τρισδιάστατων μοντέλων – δεδομένων. Στο έργο συνεργάστηκαν το Κέντρο Ιστορικού Περιβάλλοντος της Σκωτίας και η Σχολή Προσομοίωσης και Απεικόνισης της Σχολής Καλών Τεχνών της Γλασκώβης και η CyArk, μια μη κερδοσκοπική οργάνωση για την ψηφιακή τεκμηρίωση των μνημείων και ιστορικών τόπων της πολιτιστικής κληρονομιάς, με έδρα το Oakland της Καλιφόρνιας [35]. Όπως αναφέρεται και στη σχετική ιστοσελίδα του προγράμματος όπου παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα και η τρισδιάστατη αναπαράσταση των επιλεγμένων μνημείων, τα δεδομένα που συλλέχθηκαν ήταν τεράστια, κάποιες σαρώσεις έφτασαν να αποτελούνται από 8 δισεκατομμύρια επιμέρους σημεία συντεταγμένων, αντιστοιχώντας σε terabytes δεδομένων. Τα αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκαν τόσο για εκπαιδευτικούς σκοπούς, όσο και για την καλύτερη διαχείριση των μνημείων από τους φορείς προστασίας τους.



**Εικόνα 16. Τρισδιάστατη απεικόνιση των τεσσάρων Αμερικανών Προέδρων στο όρος Rushmore των ΗΠΑ (Scottish Ten project, πηγή: <https://ercim-news.ercim.eu/en86/special/digital-documentation-of-world-heritage-the-scottish-ten-project>).**

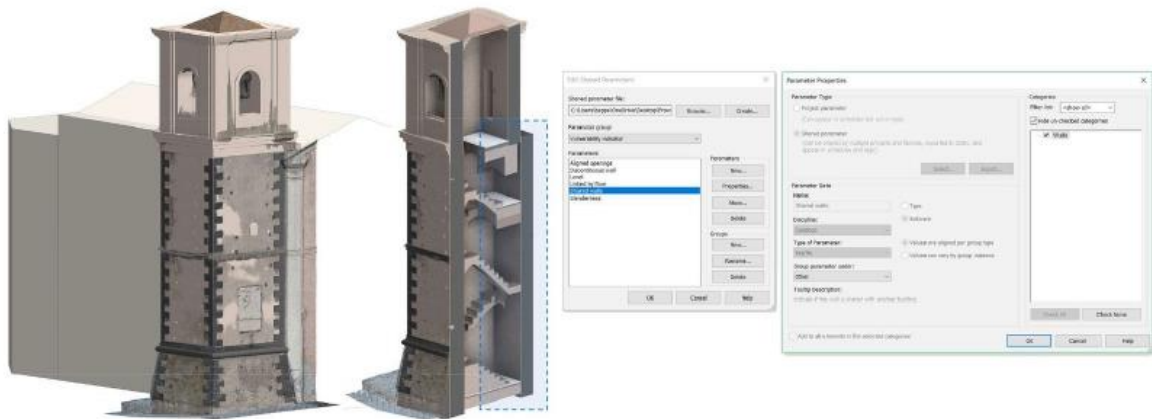
Μια ακόμα εφαρμογή στην οποία φαίνεται η δυνατότητα αξιοποίησης και συνεργασίας πολλών διαφορετικών επιστημονικών ειδικοτήτων κατά τη διάρκεια ενός έργου αποκατάστασης με τη χρήση των σύγχρονων μεθόδων αποτύπωσης και διαχείρισης της πληροφορίας είναι η περίπτωση του Πύργου στο Φρούριο του San Felice sul Panaro που βρίσκεται κοντά στην πόλη Modena της Ιταλίας [36]. Σε αυτό το έργο προτάθηκε και ακολουθήθηκε μια μεθοδολογία κατά την οποία από το νέφος των σημείων που προκύπτουν από την ψηφιακή σάρωση, μέσω κατάλληλου αλγορίθμου και διαδικασίας, δημιουργείται τελικά το δίκτυο πεπερασμένων στοιχείων που χρειάζεται για τη στατική ανάλυση της κατασκευής. Η προτεινόμενη διαδικασία συγκρινόμενη με την έως τώρα τακτική κατά την οποία τα υπολογιστικά προσομοιώματα πεπερασμένων στοιχείων δημιουργούνται από τους πολιτικούς μηχανικούς με τη βοήθεια των σχεδίων CAD, υπερτερεί σύμφωνα με τους μελετητές, διότι είναι ταχύτερη και με μεγάλη πιστότητα – ακρίβεια στην πραγματική κατάσταση του μνημείου, λαμβάνοντας δηλαδή υπόψη τις ασυμμετρίες, φθορές και βλάβες που αυτό έχει, διατηρώντας όμως την αξιοπιστία ως προς τα αποτελέσματα της στατικής ανάλυσης.



**Εικόνα 17. Κεντρικός πύργος του Φρουρίου San Felice sul Panaro. α) Νότια όψη – ορθοφωτογραφία β) πλέγμα μετά την επεξεργασία του νέφους σημείων γ) προσομοίωμα πεπερασμένων στοιχείων.**

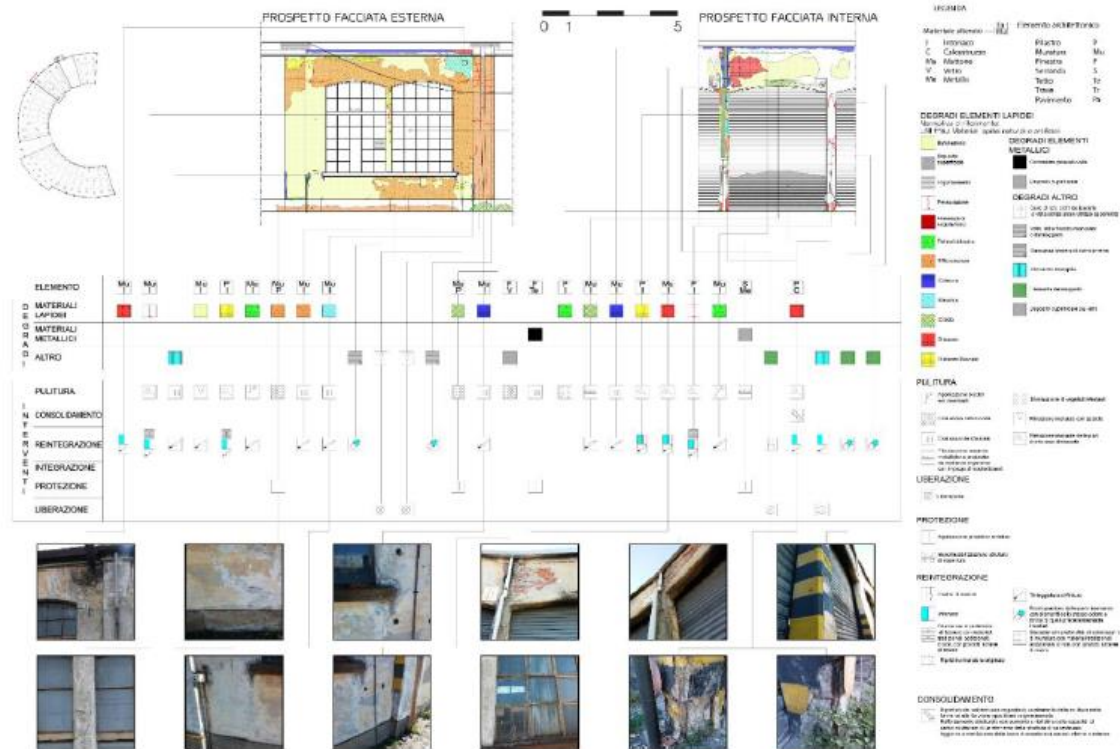
Μία ενδιαφέρουσα επίσης περίπτωση είναι η αξιοποίηση της μεθόδου HBIM στον προσδιορισμό της σεισμικής τρωτότητας κατασκευών, και ειδικότερα των παραδοσιακών καμπαναριών. Συγκεκριμένα, πρόσφατες μελέτες [37] προτείνουν τον εμπλουτισμό των μοντέλων HBIM με σημασιολογικά δεδομένα σχετικά με τους δείκτες τρωτότητας των κατασκευών αυτών, όπως αυτοί προσδιορίζονται στους ιταλικούς κανονισμούς, προκειμένου οι αποθηκευμένες πληροφορίες στα μοντέλα να συμβάλλουν στην ταχεία λήψη αποφάσεων στην περίπτωση καταστροφικών γεγονότων. Η μεθοδολογία εφαρμόστηκε στο κωδωνοστάσιο της εκκλησίας San Giuseppe in Acì Castello στην Κατάνια. Η σημασιολογική βιβλιοθήκη που κατασκευάστηκε έλαβε υπόψη τους πιθανούς μηχανισμούς αύξησης της τρωτότητας των εν λόγω κατασκευών και κατά τον σχεδιασμό του μοντέλου στο λογισμικό Revit δημιουργήθηκαν τα κατάλληλα δομικά στοιχεία ώστε να αποδοθούν τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά τρωτότητας.





**Εικόνα 18. HBIM μοντέλο του Κωδωνοστασίου του San Giuseppe. Διακρίνεται η δόμηση του μοντέλου σύμφωνα και με τους δείκτες τρωτότητας αυτού του είδους των κατασκευών (νέα παραμετρική βιβλιοθήκη).**

Αρκετές έρευνες ασχολούνται με την παραμετροποίηση της παθολογίας των κατασκευών στα ψηφιακά μοντέλα που δομούνται στα λογισμικά HBIM. Δύο τέτοιες περιπτώσεις είναι ένα βιομηχανικό ιστορικό κτήριο των Ιταλικών Σιδηροδρόμων στο Τορίνο [38] και η εκκλησία Chiesa Della Pieta [39] στο Φέρμο της Ιταλίας. Και στα δύο μνημεία προηγήθηκε η ψηφιακή αποτύπωση με επίγειους σαρωτές και στη συνέχεια έγινε προσπάθεια χαρτογράφησης της παθολογίας στις όψεις τους. Κάθε στάδιο, από την αποτύπωση των μνημείων μέχρι την αναπαραγωγή του ψηφιακού ομοιώματος και την κατηγοριοποίηση της παθολογίας βασίστηκε σε πολυάριθμες μελέτες από επιστήμονες κατάλληλων ειδικοτήτων. Σημειώνεται ότι, όπως αναφέρεται και στα αποτελέσματα των εν λόγω ερευνητικών εργασιών, αποτελούν μέρη της συνεχούς προσπάθειας εύρεσης μιας βέλτιστης μεθοδολογίας για την κατηγοριοποίηση των παραμέτρων παθολογίας των ιστορικών κτηρίων, ενδεχομένως πιο αυτοματοποιημένων, ώστε να είναι ταχύτερη η μετάβαση από την ψηφιακή σάρωση στην δόμηση του ψηφιακού ομοιώματος στα λογισμικά BIM, σημειώνοντας εν τούτοις τη μοναδικότητα κάθε μνημείου και ως εκ τούτου τη μεγάλη δυσκολία καθολικής ταξινόμησης και εφαρμογής.



Εικόνα 19. Κτήριο Ιταλικών Σιδηροδρόμων στο Τορίνο της Ιταλίας. Θεματικό φύλλο του λογισμικού BIM με τη γραφική και αναλυτική περιγραφή της παθολογίας.



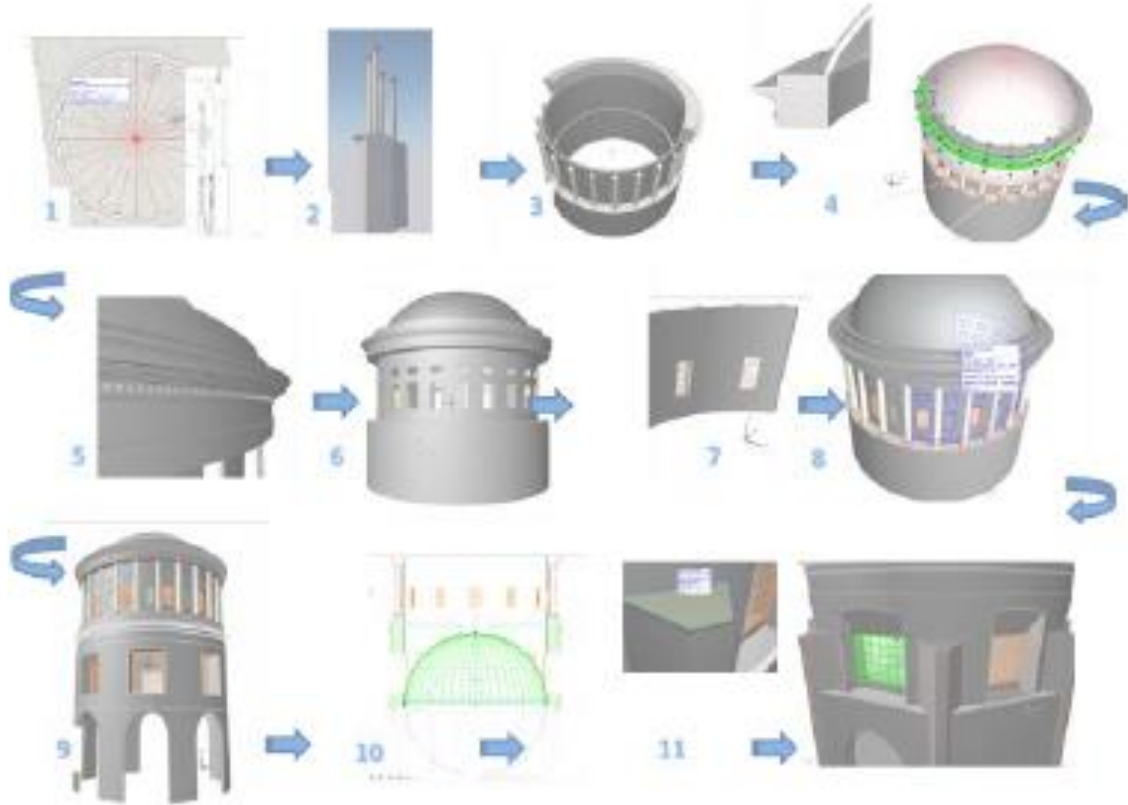
| DECAY                           | DESCRIPTION  | CAUSES   |
|---------------------------------|--|--|
| SURFACE DEPOSIT                 | NATURAL MODIFICATION OF THE SURFACE NOT CONNECTABLE TO DECAY PHENOMENA AND PERCEPTIBLE AS A VARIATION OF THE NATURAL COLOR                             | - MECHANICAL EROSION OF RAIN<br>- WIND EROSION<br>- CHEMICAL AGGRESSION FROM POLLUTANTS<br>- FORMATION OF ICE ON THE SURFACE |
| LATICES                         | FORMATION OF SUBSTANCE ON THE SURFACE OF THE BUILDING WITH WHISKY COLOR OR CRYSTALLINE - BUSTED AND FILAMENTOUS APPEARANCE                             | - MECHANICAL EROSION OF RAIN   |
| BIOLOGICAL PATINA               | COLOR LAYER THIN, SOFT AND HOMOGENEOUS ADHERENT TO THE SURFACE AND OF EVIDENT BIOLOGICAL NATURE  | - ACCUMULATIONS OF MOISTURE<br>- ATTACK OF AUTOOTROPHIC ORGANISMS (BACTERIA, UNICELLULARS, LICHENS, HIGHER)                  |
| SURFACE WASHOUT                 | VARIATION OF ONE OR MORE PARAMETERS THAT FORMS THE COLOR IN THIS CASE IT MANIFESTS ITSELF IN THE FORM OF A LARGE DISCOLORATION ON THE BUILDING         | - RAINWATER RUNOFF   |
| DISINTEGRATION OF MORTAR JOINTS | DE-COHERSION CHARACTERIZED BY THE DETACHMENT OF GRANULES OR CRUMBS FROM MORTAR STRATIGRAPHY  | - MECHANICAL EROSION OF RAIN<br>- WIND EROSION<br>- CHEMICAL AGGRESSION FROM POLLUTANTS<br>- FORMATION OF ICE ON THE SURFACE |
| STAIN                           | LOCALIZED CHROMATIC VARIATION OF THE SURFACE, CORRELATED TO THE PRESENCE OF FOREIGN MATERIALS, SPATTER, OXIDATION PRODUCTS, PAINTS, ORGANIC SUBSTANCES | - (HUMID) RELATIVE HUMIDITY  |
| LEAKAGE                         | DIAPYCNES WITH A VERTICAL COURSE BELOW THE PROJECTIONS   | - RAINWATER RUNOFF   |
| ABSENCE                         | FALL OR LOSS OF PARTS OF MATERIAL  | - MECHANICAL EROSION BY ATMOSPHERIC AGENTS   |
| CONCRETION                      | COMPACT DEPOSIT GENERALLY FORMED BY REMAINS OF LIMITED EXTENSION, BEING OF PREHOMERIES IN A SINGLE DIRECTION, NOT CONCLUDING WITH THE STONE SURFACE    | - MECHANICAL EROSION OF RAIN<br>- ACCUMULATIONS OF MOISTURE  |
| INCONGRUABLE PATCH              | ANTHROPIC INTERVENTION ON THE SURFACE OF THE BUILDING THAT AESTHETICALLY DETERIORATES THE BUILDING ITSELF  | - ANTHROPIC INTERVENTION   |
| INCONGRUOUS ELEMENTS            | PRESENCE OF INCONGRUOUS ELEMENTS THAT AESTHETICALLY DETERIORATE THE SURFACE OF THE BUILDING  | - ANTHROPIC INTERVENTION   |

Εικόνα 20. Chiesa della Pietà στο Φέρμο της Ιταλίας. Κύρια όψη με χαρτογράφηση της παθολογίας και περιγραφικό υπόμνημα.

Μία ακόμα ενδιαφέρουσα εφαρμογή της μεθόδου BIM στον τομέα της πολιτιστικής κληρονομιάς αποτελεί η αρχιτεκτονική αναπαράσταση κατεστραμμένου τμήματος μνημείου για εκπαιδευτικούς αλλά και επιστημονικούς σκοπούς. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι το κτήριο Four Courts στην

Συστηματικός εντοπισμός βλαβών και διαχείριση της πληροφορίας με χρήση ψηφιακών μεθόδων και μοντέλων δομικών πληροφοριών για ιστορικές κατασκευές (HBIM)

Ιρλανδία [40], μέρος του οποίου καταστράφηκε κατά τη διάρκεια του 2<sup>ου</sup> Παγκοσμίου Πολέμου. Η γραφική και ψηφιακή αναπαράσταση του κτηρίου στο λογισμικό ArchiCAD βασίστηκε σε ιστορικά στοιχεία, καταλήγοντας στην κατά το δυνατόν πιστότερη αναπαραγωγή του μοντέλου, λαμβάνοντας υπόψη δεδομένα όπως η παραμόρφωση και η εκτός επιπέδου κλίση του τυμπάνου του – κατεστραμμένου σήμερα – θόλου.



Εικόνα 21. Κτήριο Four Courts στην Ιρλανδία. Στάδια κατασκευής ψηφιακού ομοιώματος θόλου.

Σημειώνεται τέλος, ότι όπως φάνηκε από όλες τις ερευνητικές εργασίες που μελετήθηκαν, οι εφαρμογές της μεθόδου BIM στα μνημεία είναι πολυάριθμες και ανάλογα με τους εκάστοτε επιθυμητούς σκοπούς απαιτούν την ανθρώπινη παρέμβαση στον τρόπο σχεδιασμού τόσο των ψηφιακών μοντέλων όσο και των παραμέτρων [41]. Από το σύνολο των εξεταζόμενων ερευνών διαπιστώνεται η ανάγκη δημιουργίας παραμετρικών βιβλιοθηκών μεγάλου αριθμού δεδομένων, ώστε να είναι εφικτή η κατά το δυνατόν πληρέστερη οντολογική περιγραφή των ιστορικών κατασκευών [42].

#### 4.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της εφαρμογής BIM στη διαχείριση της Πολιτιστικής Κληρονομιάς

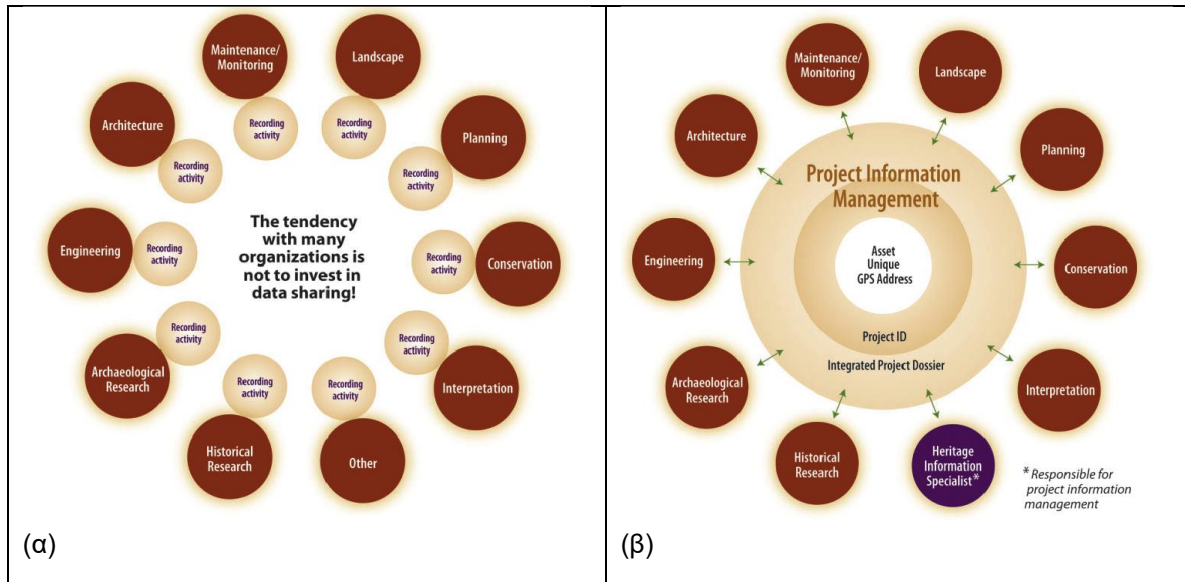
Η εφαρμογή της τεχνολογίας BIM στη διαχείριση της Πολιτιστικής Κληρονομιάς αναπτύσσεται, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ολοένα και περισσότερο, προκαλώντας θετικές αντιδράσεις από τους εμπλεκόμενους φορείς.

Ως βασικά **πλεονεκτήματα** της μεθόδου θεωρούνται:

1. Η δυνατότητα δημιουργίας μίας μόνο βάσης δεδομένων που θα συγκεντρώνει το σύνολο των ερευνών, εικόνων, σχεδίων, μελετών και λοιπών στοιχείων μιας ιστορικής κατασκευής, προσβάσιμη και επεξεργάσιμη από όλους τους εμπλεκόμενους φορείς. Η διεπιστημονική αυτή γνωστική βάση [43] δύναται να συμβάλλει θετικά στη βέλτιστη διαχείριση του αποθέματος της Πολιτιστικής Κληρονομιάς. Η παρουσία πλήθους

πληροφοριών/αρχείων διαφορετικής τυπολογίας (format) ενδέχεται να συνεισφέρει και στην απόδοση – κατανόηση των πολύπλοκων σχέσεων μεταξύ Υλικής και Άυλης Πολιτιστικής Κληρονομιάς.

Στο παρακάτω σχήμα [27] φαίνονται οι διαφορετικοί τομείς που εμπλέκονται στη διαχείριση του πολιτιστικού αποθέματος και η συμβολή της τεχνολογίας του BIM στην εξασφάλιση συνεργασίας και πρόσβασης στο σύνολο της υπάρχουσας πληροφορίας όλων των επιστημονικών κλάδων.



Εικόνα 22. Γράφημα που δείχνει (α) την τάση ύπαρξης στεγανών ανάμεσα στις διαφορετικές ειδικότητες που εμπλέκονται στη διαχείριση μνημείων και (β) τα οφέλη της διαχείρισης πληροφοριών σε αυτή τη διαδικασία.

2. Η δυνατότητα ρεαλιστικής απόδοσης των αρχιτεκτονικών και δομικών μελών των ιστορικών κατασκευών και η παραστατική οπτικοποίηση τόσο των κατασκευαστικών φάσεων όσο και των φάσεων αποκατάστασης / ανακατασκευής τους. Το ψηφιακό μοντέλο στα λογισμικά BIM διαθέτει υψηλή ανάλυση και απεικόνιση κάθε επιμέρους στοιχείου της κατασκευής, δυνατότητα μετρήσεων με μεγάλη ακρίβεια και δυνατότητα συνδυασμού παραμέτρων ακόμα και από διαφορετικούς επιστημονικούς τομείς κατά τη διάρκεια ερευνών για την εξαγωγή συμπερασμάτων και τη λήψη αποφάσεων.
3. Η δυνατότητα παραμετρικού σχεδιασμού, που συνεπάγεται μείωση του σχεδιαστικού χρόνου. Συγκεκριμένα, η ύπαρξη βιβλιοθηκών με παρόμοια αρχιτεκτονικά μέλη μπορεί να βοηθήσει στην ταχύτερη διαμόρφωση του ψηφιακού ομοιώματος, ακόμα και στην περίπτωση που πρόκειται για στοιχεία περίπλοκης μορφολογίας. Βέβαια, για να είναι εφικτή η πλήρης εκμετάλλευση της εν λόγω δυνατότητας, θα πρέπει να εμπλουτιστούν σημαντικά οι υπάρχουσες βιβλιοθήκες δεδομένων, ενδεχομένων με διασύνδεσή τους με plug-ins που θα επιτρέπουν τον σχεδιασμό και την ακριβή γεωμετρική απόδοση των μελών. Λαμβάνοντας υπόψη την ταχύτατη ανάπτυξη παρόμοιων εφαρμογών έστω και σε ερευνητικό επίπεδο, η προοπτική αυτή αποτελεί σχεδόν βεβαιότητα.
4. Η δυνατότητα διασύνδεσης του BIM με το τρισδιάστατο σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (3D GIS) και με άλλες εξωτερικές βάσεις δεδομένων, που συμβάλλουν στην ολιστική διαχείριση και την αιεφορία του πολιτιστικού αποθέματος.

Ωστόσο, παρά τα προαναφερθέντα πλεονεκτήματα που μπορεί να προσφέρει το BIM, εξακολουθεί να βρίσκεται σε φάση έρευνας, με περιορισμένη χρήση από τις αρχές που είναι αρμόδιες για τη διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς [43]. Η αργή ενσωμάτωση και εφαρμογή του BIM στον τομέα της αποκατάστασης των μνημείων [44] θα μπορούσε να αποδοθεί κυρίως:

Συστηματικός εντοπισμός βλαβών και διαχείριση της πληροφορίας με χρήση ψηφιακών μεθόδων και μοντέλων δομικών πληροφοριών για ιστορικές κατασκευές (HBIM)

1. Στην έλλειψη συγκεκριμένων κανονισμών και κατευθυντήριων γραμμών [45], καθώς σε αντίθεση με τις σύγχρονες κατασκευές, η αποκατάσταση μνημείων εξακολουθεί να βασίζεται στην αποσπασματική υιοθέτηση οικοδομικών κανονισμών, διεθνών χαρτών, κλπ χωρίς την ύπαρξη σαφούς κανονιστικού πλαισίου.
2. Στην ευρύτατη τυπολογία, ποικιλία και πολυπλοκότητα των ιστορικών κατασκευών [46]. Με δεδομένο ότι η τεχνολογία του BIM αναπτύχθηκε εξ αρχής για σύγχρονες κατασκευές, βασισμένη στα νέα υλικά και μεθόδους κατασκευής, η απόδοση των ιδιαίτερων γεωμετρικών, αρχιτεκτονικών και μορφολογικών στοιχείων που απαντούν στα μνημεία, αποτελεί τροχοπέδη για την ευρεία εξάπλωση της τεχνολογίας BIM σε αυτά. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η ακρίβεια στην αποτύπωση μιας ιστορικής κατασκευής αποτελεί προϋπόθεση για την εκπόνηση μελετών και την εκτέλεση οποιασδήποτε εργασίας επί αυτής. Παρόλο όμως που η χρήση επίγειων ψηφιακών σαρωτών μπορεί να παρέχει ακριβή αποτελέσματα ως προς τη γεωμετρική αποτύπωση, τα λογισμικά BIM δεν έχουν καταφέρει μέχρι σήμερα να ενσωματώσουν στις βιβλιοθήκες τους το εξαιρετικά μεγάλο πλήθος παραμετρικών αντικειμένων ώστε να επιτυγχάνεται η εξίσου ακριβής απόδοση στο ψηφιακό μοντέλο. Όπως δείχνουν οι μελέτες που εξετάστηκαν, ακόμα και για τον καθορισμό – περιγραφή ενός τοιχώματος κτηρίου πρέπει να ληφθεί σημαντική μέριμνα. Είναι σύνηθες για μια παραμετρική κατηγορία ενός κτηρίου να έχει πάνω από εκατό υπο-επίπεδα για τον ορισμό της. Το γεγονός αυτό εξηγεί γιατί οι χρήστες ενδέχεται να αντιμετωπίσουν προβλήματα με ασυνήθιστες γεωμετρικές στη δομή των κτηρίων, που δεν μπορούν να αποδοθούν με χρήση των ενσωματωμένων μορφών [12].
3. Στις υψηλές τεχνολογικές απαιτήσεις σε επίπεδο εξοπλισμού (hardware). Συγκεκριμένα, οι ψηφιακές σαρώσεις οδηγούν σε αρχεία πολύ μεγάλου μεγέθους, με αποτέλεσμα να απαιτείται υψηλού επιπέδου και κόστους εξοπλισμός που μάλιστα θα πρέπει διαρκώς να ανανεώνεται για να συμβαδίζει με τις σύγχρονες απαιτήσεις των νέων λογισμικών. Το γεγονός αυτό είτε οδηγεί στην υπεραπλούστευση των μοντέλων, με συνακόλουθη απώλεια πληροφορίας, είτε αποθαρρύνει εξ αρχής τους χρήστες – εμπλεκόμενους φορείς στην υιοθέτηση των σύγχρονων μεθόδων.
4. Στην επιφύλαξη μέρους της επιστημονικής κοινότητας σε σχέση με την επιρροή της κρίσης των ερευνητών στα αποτελέσματα της έρευνας [27]. Συγκεκριμένα, κάθε ερευνητική εργασία αντικατοπτρίζει στα αποτελέσματά της και την προσωπική ματιά του ερευνητή, καθώς ακόμα και οι αποφάσεις του σχετικά π.χ. με την επιλογή ή απόρριψη των συλλεγόμενων στοιχείων ή την μετρητική ακρίβεια μιας αποτύπωσης μπορεί να θεωρηθεί «προκατάληψη». Γνωρίζοντας αυτούς τους περιορισμούς, οι ερευνητές συχνά επανέρχονται στη φάση καταγραφής δεδομένων κατά την εξέλιξη του ερευνητικού τους έργου, προκειμένου να μειώσουν το ποσοστό επίδρασης της προσωπικής τους κρίσης στα αποτελέσματα της έρευνας. Στην περίπτωση των ψηφιακών αποτυπώσεων όμως και των μετέπειτα εργασιών διαμόρφωσης του ψηφιακού μοντέλου, η επιστροφή σε προγενέστερη φάση δεν είναι πάντα εφικτή.

Η αυξανόμενη εξάπλωση και εξοικείωση των χρηστών με την τεχνολογία BIM σε συνδυασμό με την περαιτέρω ανάπτυξη της τεχνολογίας και την εξέλιξη των μεθόδων καταγραφής, σχεδιασμού και επεξεργασίας των δεδομένων θα συμβάλλουν σημαντικά στην αντιμετώπιση και επίλυση των προαναφερθέντων προβλημάτων και στην ευρύτερη ενσωμάτωσή της στον τομέα της διαχείρισης της Πολιτιστικής Κληρονομιάς.

## **5 ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ – ΙΕΡΟΣ ΝΑΟΣ ΑΓΙΟΥ ΙΩΑΝΝΗ ΠΡΟΔΡΟΜΟΥ ΡΕΘΥΜΝΟΥ**

Στο πλαίσιο της μεταπτυχιακής εργασίας και με σκοπό τη διερεύνηση της εφαρμογής των σύγχρονων μεθόδων αποτύπωσης, τεκμηρίωσης, αποκατάστασης και διαχείρισης, επιλέχθηκε ένα εκκλησιαστικό μνημείο στην περιοχή του νομού Ρεθύμνου στην Κρήτη.

Η ψηφιακή αποτύπωση έγινε από τον Νεοπτόλεμο Μιχαηλίδη, αρχιτέκτονα μηχανικό ενώ στην παρούσα εργασία ελήφθησαν τα ανωτέρω στοιχεία και έγινε η προσπάθεια της μοντελοποίησης και τεκμηρίωσης του μνημείου με χρήση μεθόδων που έχουν χρησιμοποιηθεί σύμφωνα με τη βιβλιογραφία.

Η παρούσα εργασία δεν αποσκοπεί στην εκπόνηση ολοκληρωμένης μελέτης αποκατάστασης, με παρουσίαση και ανάλυση όλων των απαιτούμενων από τη νομοθεσία και τον αρχαιολογικό νόμο στοιχείων όπως αναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια. Επικεντρώνεται στην επεξεργασία των δεδομένων της ψηφιακής αποτύπωσης, με σκοπό τη βέλτιστη διαχείριση της πληροφορίας, τόσο κατά το στάδιο εκπόνησης μίας μελέτης αποκατάστασης, όσο και κατά το στάδιο διαχείρισης του μνημείου από τον εκάστοτε φορέα προστασίας.

Εν τούτοις, θα παρουσιαστούν οι βασικές αρχές εργασίας στο πεδίο της μελέτης αποκατάστασης, με σκοπό την διερεύνηση της χρήσης των σύγχρονων μέσων αποτύπωσης και επεξεργασίας προκειμένου να καλύπτονται – αλληλοσυμπληρώνονται – τεκμηριώνονται τα απαιτούμενα στάδια μιας ολοκληρωμένης μελέτης.

### **5.1 Ιστορικά στοιχεία**

Η Αξός ανήκει στο Δήμο Μυλοποτάμου του Νομού Ρεθύμνης και απέχει από την πόλη του Ρεθύμνου 46χλμ. και από το Ηράκλειο 48χλμ. Βρίσκεται στις βόρειες πλαγιές του Ψηλορείτη σε υψόμετρο περίπου 500μ..

Για την ονομασία του οικισμού της Αξούς έχουν δοθεί διάφορες ερμηνείες οι οποίες παρουσιάζονται στο βιβλίο του Μ. Κ. Δαφέρμου [47], με κυριότερες:

- α. την προέλευση από το απόκρημνο τοπίο (βάξους=άξους=κρημνούς) σύμφωνα με τον Στ. Βυζάντιο, θέση που αποδέχονται και ο Ξανθουδίδης, ο Pashley και ο Kirsten, και
- β. το όνομα του ιδρυτή της πόλης, Όαξο, γιο του Απόλλωνα και της Ακακαλλίδας.

Ο Ι. Ναός του Αγίου Ιωάννη του «κουτσοκεφαλιστή» ή «ριγολόγου» βρίσκεται περίπου 150μ. ανατολικά του σημερινού οικισμού της Αξού πάνω σε λόφο (Εικόνα 23). Περιμετρικά του ναού αναπτύσσεται το παλαιό κοιμητήριο της Αξού, ενώ στα βορειοανατολικά του έχει κατασκευαστεί το νεότερο κοιμητήριο του οικισμού. Στον νότο ο ναός συνορεύει με τον αρχαιολογικό χώρο της αρχαίας Αξού [48].



**Εικόνα 23. Ο ναός του Αγίου Ιωάννη του κουτσοκεφαλιστή ή ριγολόγου, 150 μ. ανατολικά της Αξού (σημειωμένος με κίτρινο χρώμα).**

Η ονομασία «κουτσοκεφαλιστής» ή «αποκεφαλισθείς» οφείλεται στο γεγονός ότι ο ναός ήταν αφιερωμένος στη μνήμη της αποτομής του Προδρόμου και «ριγολόγος» στην προστασία που παρείχε στο χωριό από το «ρίγο», δηλαδή την ελονοσία που μάστιζε στο χωριό ([47], υποσημ. 88, σελ 175).

Ο Άγιος Ιωάννης ανήκει στο δρομικό καμαροσκέπαστο (με οξυκόρυφο τόξο) τύπο ναού με δύο σφενδόνια στο εσωτερικό του. Είναι η καλύτερα σωζόμενη βυζαντινή εκκλησία στον οικισμό της Αξού, ολόγραφη με πλούσιο αγιογραφικό διάκοσμο, καθώς και ένα μοναδικό και περίτεχνο ψηφιδωτό στο δάπεδο της, από προηγούμενο ναό που υπήρχε σε αυτή τη θέση. Το γεγονός αυτό την καθιστά ένα σημαντικό μνημείο για την περιοχή. Σημειώνεται εδώ ότι η περιοχή της Αξού με βάση την Υπουργική Απόφαση Φ31/36852/2942/12-10-1973 - ΦΕΚ 1242/Β/16-10-1973 είναι κηρυγμένη ως περιοχή αρχαιολογικού χώρου, ιστορικός τόπος και τόπος ιδιαίτερου φυσικού κάλλους, ενώ ο ναός ως μεμονωμένο μνημείο δεν έχει κηρυχθεί.



Εικόνα 24: Φωτογραφία του Ι. Ναού του Αγίου Ιωάννη στην Αξό, εντός του κοιμητηρίου.

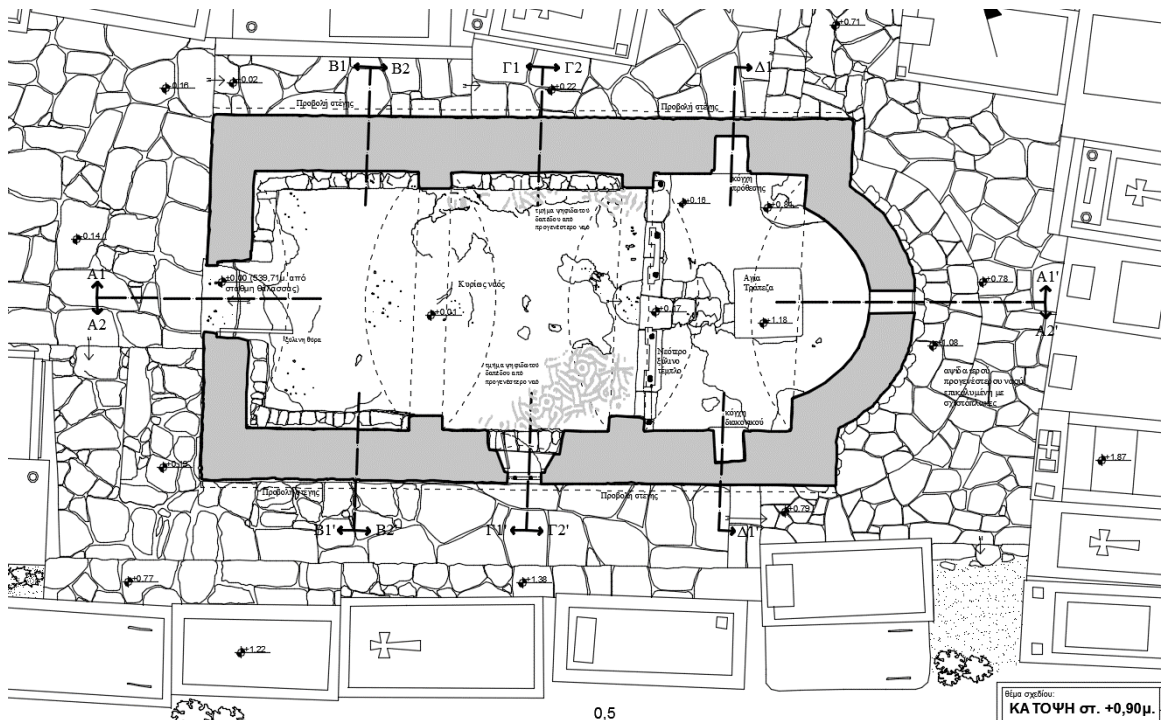
Στο ναό του Αγίου Ιωάννη (Εικόνα 24) δεν εντοπίζεται καμία επιγραφή και η χρονολόγηση του θα μπορούσε μερικώς να τεκμηριωθεί βάσει των τοιχογραφιών του. Κατά τον Εμμ. Μπορμπουδάκη [49] ο ναός μπορεί να χρονολογηθεί περίπου στο α΄ μισό του 15<sup>ου</sup> αιώνα.

## 5.2 Αρχιτεκτονική του ναού - περιγραφή

Ο ναός εντάσσεται στην κατηγορία των δρομικών καμαροσκέπαστων ναών με οξυκόρυφο τόξο και δύο σφενδόνια στο εσωτερικό του [50]. Στεγάζεται με δίρριχτη στέγη από βυζαντινά κολυμβητά κεραμίδια.

Το πλάτος του ναού εξωτερικά είναι 5,15m και το μήκος του μέχρι την αψίδα του ιερού 8,90m και με την αψίδα 10,00m. Εσωτερικά το πλάτος του είναι 3,62m, ενώ τα σφενδόνιά του εξέχουν της τοιχοποιίας του ναού κατά 0,20 με 0,22m (Εικόνα 25). Το ύψος του στην απόληξη της στέγης είναι 4,77m, ενώ το μέσο ύψος των περιμετρικών τοίχων είναι περίπου 3,50m.





Εικόνα 25: Κάτοψη Ιερού Ναού Αγίου Ιωάννη Αξού, στάθμη +0,90μ

### 5.2.1 Εξωτερικό του Ναού – υλικά και τρόπος δόμησης

Ο ναός, όπως αναφέρθηκε, έχει εξωτερικές διαστάσεις 10,00 x 5,15m και συνολικό ύψος 4,77m. Μοναδικά ανοίγματα είναι η είσοδος στη δυτική πλευρά, ένα μικρό άνοιγμα στην κόγχη του Ιερού και ένα παράθυρο στη νότια όψη, το οποίο ήταν παλαιότερα θύρα, όπως διαπιστώνεται από τη συνέχεια των παραστάδων του μέχρι τη στάθμη του εδάφους.

Εξωτερικά το έδαφος παρουσιάζει κλίση με διεύθυνση Α-Δ, με αποτέλεσμα να υπάρχει υψομετρική διαφορά της τάξης των 80 cm από την περιοχή του Ιερού έως την είσοδο του ναού στα δυτικά (Εικόνα 26).



**Εικόνα 26:** Νότια πλευρά του ναού. Διακρίνεται η υψομετρική διαφορά μεταξύ της δυτικής και της ανατολικής πλευράς, καθώς και το παράθυρο στο μέσον περίπου της όψης.

Η τοιχοποιία είναι επιχρισμένη και μόνο λίγοι λίθοι διακρίνονται, καθώς και ελάχιστες πλίνθοι ανάμεσα τους, κυρίως στη δυτική πλευρά. Από τα σημεία που τα επιχρίσματα έχουν αποσαθρωθεί διαπιστώνεται ότι ενώ η συνολική δόμηση δεν είναι επιμελημένη, στα άκρα διακρίνονται λαξευμένοι γωνιόλιθοι, πιθανότατα σε επανάχρηση από γειτονικό αρχαίο μνημείο. Οι τοιχοποιίες αποτελούνται κυρίως από ασβεστολιθικούς λίθους, αλλά και λίθους πιο μαλακούς, πωρόλιθους, ψαμμίτες και αμμόπετρες. Τοπικά παρατηρούνται επισκευαστικά αρμολογήματα και επιχρίσματα από τσιμέντο.

Το πάχος της ανατολικής και δυτικής τοιχοποιίας είναι 0,60m, ενώ της βόρειας και νότιας 0,75m, πιθανότατα για στατικούς λόγους, κυρίως την ανάληψη των ωθήσεων του θόλου.

Η αψίδα του ιερού είναι ενσωματωμένη στην εσωτερική παρειά της αψίδας του ιερού παλαιότερου ναού, η οποία σήμερα διατηρείται στη στάθμη της θεμελίωσής της και είναι επικαλυμμένη με σχιστόπλακες (Εικόνα 27).

Ο ναός στεγάζεται με δίρριχτη στέγη από βυζαντινά κεραμίδια που τοποθετήθηκαν τη δεκαετία του 90, κατά τη διάρκεια εργασιών αντικατάστασης της κεράμωσης του ναού. Παρατηρείται μικρή υψομετρική διαφορά, περίπου 0,20 m, μεταξύ της στάθμης απόληξης της στέγης στη βόρεια και στη νότια πλευρά του ναού (Εικόνα 28), γεγονός που οφείλεται στην προσθήκη μίας οριζόντιας σειράς λίθων στην στέψη της βόρειας τοιχοποιίας που είχε ως αποτέλεσμα την ανύψωση της τελικής στάθμης της. Σημειώνεται τέλος, η μικρή προεξοχή των κεράμων από το μέτωπο της τοιχοποιίας, με δυσμενείς επιπτώσεις στην προστασία της από την απορροή των ομβρίων.



**Εικόνα 27:** Η αψίδα του ιερού έχει κτιστεί στην εσωτερική παρειά της αψίδας του ιερού παλαιότερου ναού.



**Εικόνα 28:** Δυτική όψη, όπου παρατηρείται η υψομετρική διαφορά μεταξύ βόρειας και νότιας απόληξης της στέγης του ναού.

### 5.2.2 Εσωτερικό του Ναού – Εικονογραφικός διάκοσμος

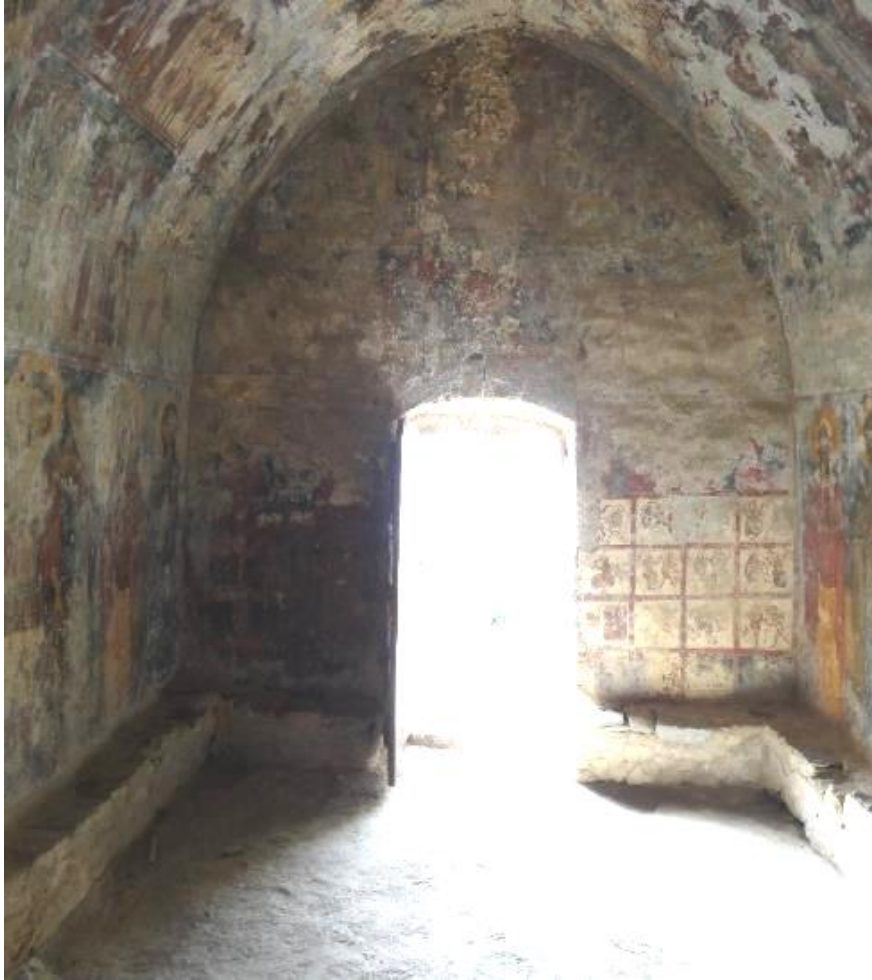
Ο ναός στο εσωτερικό του είναι δρομικός με οξυκόρυφη καμάρα σε όλο το μήκος του. Έχει δύο σφενδόνια με υψοψίδια, τα οποία τον διαιρούν σε τρία μέρη (Εικόνα 25). Τα δύο πρώτα μέρη εξ' αυτών είναι ο κυρίως ναός (από την είσοδο μέχρι και τα ανατολικά σφενδόνια), ενώ από τα ανατολικά σφενδόνια, μέχρι την αψίδα οριοθετείται το Ιερό, που διαχωρίζεται από τον κυρίως ναό με νεότερο λιτό ξύλινο τέμπλο (Εικόνα 29).

Το σύνολο του εσωτερικού είναι πλήρως τοιχογραφημένο, τόσο στον κυρίως ναό όσο και στο Ιερό. Η κατάσταση των τοιχογραφιών ποικίλει, με τις περισσότερες να εμφανίζουν τοπικές φθορές και αποφλοιώσεις, ενώ άλλες να είναι πλέον μη αναγνωρίσιμες [51].



**Εικόνα 29:** Διακρίνεται το νεότερο ξύλινο τέμπλο του ναού, καθώς και ο πλούσιος τοιχογραφικός διάκοσμος.

Περιμετρικά του κυρίως ναού υπάρχει λιθόκτιστο θρανίο, επικαλυμμένο με σχιστόπλακες (Εικόνα 30).



**Εικόνα 30: Λιθόκτιστο θρανίο περιμετρικά του κυρίως ναού.**

Στο μέσον περίπου της νότιας τοιχοποιίας υπάρχει, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, παράθυρο. Από τους αρμούς, εσωτερικά αλλά και εξωτερικά στη θέση του συγκεκριμένου κουφώματος γίνεται εμφανές πως παλαιότερα υπήρχε και δεύτερη θύρα εισόδου στο ναό (Εικόνα 31).



**Εικόνα 31: Εμφανής αρμός από παλαιότερο άνοιγμα στην εσωτερική παρειά της τοιχοποιίας του ναού.**

Στις δύο άκρες μπροστά στο Ιερό σώζονται υπολείματα ψηφιδωτού (Εικόνα 32), τα οποία αποτυπώθηκαν και μελετήθηκαν με τη βοήθεια της ψηφιακής σάρωσης και επεξεργασίας, ενώ το υπόλοιπο δάπεδο έχει καλυφθεί από κονίαμα εξυγίανσης που χρησιμοποιήθηκε για εφαρμογή επιχρίσματος στο ναό.



**Εικόνα 32: Ψηφιδωτό νότια του Ιερού.**

## 5.3 Αποτύπωση και μοντελοποίηση του ναού

### 5.3.1 Μεθοδολογία αποτύπωσης – εργασίες πεδίου

Για την εκπόνηση της μελέτης αποκατάστασης του ναού, πραγματοποιήθηκε αποτύπωση, με τη μέθοδο της τρισδιάστασης ψηφιακής σάρωσης. Η μέθοδος αυτή δίνει τη δυνατότητα ολοκλήρωσης της λήψης των απαραίτητων στοιχείων και μετρήσεων σε μικρό χρονικό διάστημα, γεγονός που ενδείκνυται ιδιαίτερα σε περιπτώσεις που το μνημείο βρίσκεται σε μακρινή απόσταση ή όταν για οποιοδήποτε λόγο δεν είναι δυνατή η παρουσία του μηχανικού επιτόπου για μεγάλο χρονικό διάστημα. Επιπρόσθετα, όπως θα αναλυθεί και παρακάτω, με την ψηφιακή σάρωση είναι δυνατή η τεκμηρίωση της παθολογίας του μνημείου, ακόμα και σε περιοχές όπου λόγω του διακόσμου ή της αδυναμίας ικανοποιητικής πρόσβασης και οπτικής δεν μπορεί να σημειωθεί εύκολα με επιτόπια παρατήρηση.

Η φωτογραφική τεκμηρίωση έγινε με χρήση της ψηφιακής μηχανής Nikon D5300. Όλες οι θέσεις, αλλά και η φορά λήψης των φωτογραφιών σημειώθηκε πάνω σε κατάλληλο σκαρίφημα της κάτοψης του Μνημείου.

Η αποτύπωση στο μνημείο πραγματοποιήθηκε με χρήση του επίγειου τρισδιάστατου ψηφιακού σαρωτή Faro Focus 3D Multisensor (Εικόνα 33), για λεπτομερές μετρήσεις και καταγραφές. Πρόκειται για προϊόν της εταιρείας FARO® και χρησιμοποιεί την τεχνολογία laser για τη παραγωγή εκτεταμένα λεπτομερών τρισδιάστατων εικόνων με εκατομμύρια τρισδιάστατα μετρήσιμα σημεία, από κάποιο σύνθετο περιβάλλον ή αντικείμενο.



Εικόνα 33: Επίγειος τρισδιάστατος ψηφιακός σαρωτής Focus 3D Multisensor

Η λειτουργία του σαρωτή περιλαμβάνει την αποστολή υπέρυθρης ακτίνας laser στο κέντρο ενός περιστρεφόμενου κατόπτρου (καθρέφτη), το οποίο στη συνέχεια την εκτρέπει σε κάθετη περιστροφή γύρω από το περιβάλλον που σαρώνεται και τελικά το διάσπαρτο φως από τα γύρω αντικείμενα, αντικατοπτρίζεται πίσω στο σαρωτή.

Η μέτρηση των αποστάσεων γίνεται μέσω της τεχνολογίας διαφοράς φάσης (phase shift), με την οποία σταθερά κύματα υπέρυθρου φωτός διαφορετικού μήκους διαχέονται από το σαρωτή και όταν έρθουν σε επαφή με ένα αντικείμενο ανακλώνται πίσω σε αυτόν. Η απόσταση από το σαρωτή στο αντικείμενο προσδιορίζεται με ακρίβεια υπολογίζοντας τη διαφορά φάσης μεταξύ του κύματος μετάβασης και του κύματος επιστροφής [33]. Κάθε σημείο ορίζεται από τρεις συντεταγμένες (x, y, z) στο καρτεσιανό σύστημα, οι οποίες προκύπτουν μετά την κατάλληλη μετατροπή των πολικών συντεταγμένων που μετράει ο σαρωτής. Συγκεκριμένα, για κάθε σημείο σάρωσης κωδικοποιούνται η απόστασή του και οι δύο γωνίες που σχηματίζονται μεταξύ αυτού και του σαρωτή (οριζόντια και κάθετη), δηλαδή η πολικές συντεταγμένες του, οι οποίες στη συνέχεια μετασχηματίζονται σε καρτεσιανές συντεταγμένες. Παράλληλα, προκειμένου να καθοριστεί η ανάκλαση κάθε σημείου, και επομένως η αντιστοιχισή του στην κλίμακα του γκρι ως προς τη φωτεινότητά του, για κάθε σημείο μετράται μία ακόμα τιμή η οποία αντιστοιχεί στην ένταση της ληφθείσας δέσμης laser. Προφανώς, τα φωτεινότερα σημεία αντανακλούν περισσότερο φως. Όλες οι μετρήσεις αποθηκεύονται σε κάρτα SD.

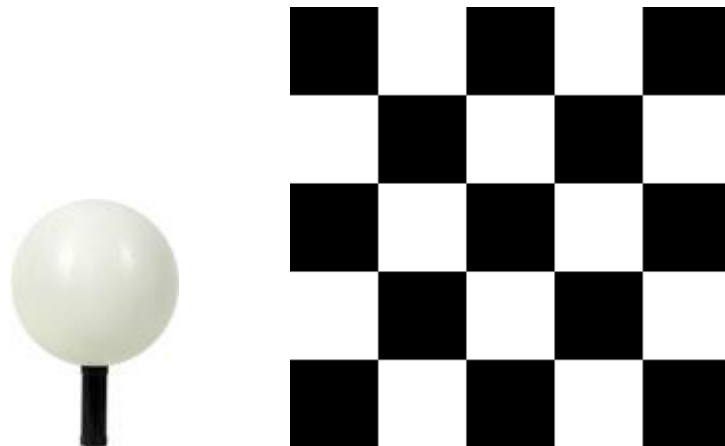
Οι εργασίες ξεκινήσαν με μία γενική επισκόπηση του χώρου και δημιουργία αυτοσχεδίου υπαίθρου σκαριφήματος – «κροκί» ώστε να γίνει η επιλογή των κατάλληλων θέσεων τοποθέτησης του σαρωτή, αλλά και ο προγραμματισμός του μηχανήματος με βάση τις επικρατούσες συνθήκες στην περιοχή του μνημείου (θερμοκρασία, ήλιος, κτλ.).

Ο αριθμός των θέσεων και επομένως των απαιτούμενων σαρώσεων, εξαρτάται από τον εκάστοτε χώρο ή αντικείμενο - κτίσμα. Κρίσιμο κριτήριο για την επιλογή είναι η αποφυγή, κατά το μέγιστο δυνατό, των κρυφών- μη εμφανών σημείων και των σκιάσεων του χώρου. Σε περίπτωση ύπαρξης εμποδίων ή επικαλυπτόμενων αντικειμένων, αυξάνεται ο αριθμός σαρώσεων ώστε υπό διαφορετικές οπτικές γωνίες να σαρωθεί κάθε επιθυμητό στοιχείο και να συμπεριληφθεί στο τελικό μοντέλο. Ο τρισδιάστατος σαρωτής διαθέτει οπτικό πεδίο  $360^\circ \times 305^\circ$  σε οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση, αντίστοιχα, μειώνοντας σημαντικά τον αριθμό σαρώσεων και επομένως το χρόνο αποκλεισμού του μνημείου, καθώς κατά τη διαδικασία σάρωσης είναι καλό να μην υπάρχουν κινούμενα στοιχεία (πχ άνθρωποι, οχήματα, κλπ).

Στη συνέχεια έγινε ο ορισμός των παραμέτρων σάρωσης για κάθε χώρο, δηλαδή της επιθυμητής ανάλυσης και ταχύτητας σάρωσης. Για το λόγο αυτό έγιναν οι εξής ρυθμίσεις:

- α. ως προς την *ανάλυση* επιλέχθηκε η καταγραφή σημείων στο χώρο ανά 6,15 mm,
- β. ως προς την *ποιότητα* επιλέχθηκε η επανάληψη κάθε σάρωσης 4 φορές, προκειμένου να γίνουν εσωτερικά διορθώσεις από τον σαρωτή και να μειωθούν οι περιπτώσεις λαθών ή παραμορφώσεων.

Για τη διαδικασία της σάρωσης τοποθετήθηκαν κατάλληλοι στόχοι, επίπεδοι και σφαιρικοί, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν για την ένωση των σαρώσεων στο κατάλληλο λογισμικό. Η τοποθέτησή τους στο χώρο έγινε έτσι ώστε να υπάρχουν αρκετοί στόχοι κοινά ορατοί από τις θέσεις των σαρώσεων και να γίνει η ένωση στο λογισμικό με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια [52]. Σημειώνεται εδώ ότι οι στόχοι είτε απλά τοποθετήθηκαν πάνω στο μνημείο (επίπεδοι στόχοι, βάρους 5γρ. περίπου), είτε τοποθετήθηκαν επί εδάφους (σφαίρες βάρους 90γρ. περίπου), χωρίς να προκαλείται οποιαδήποτε φθορά στο ναό. (Εικόνα 34), (Εικόνα 35).



Εικόνα 34: Δείγμα σφαίρας και επίπεδου στόχου για την ψηφιακή σάρωση.





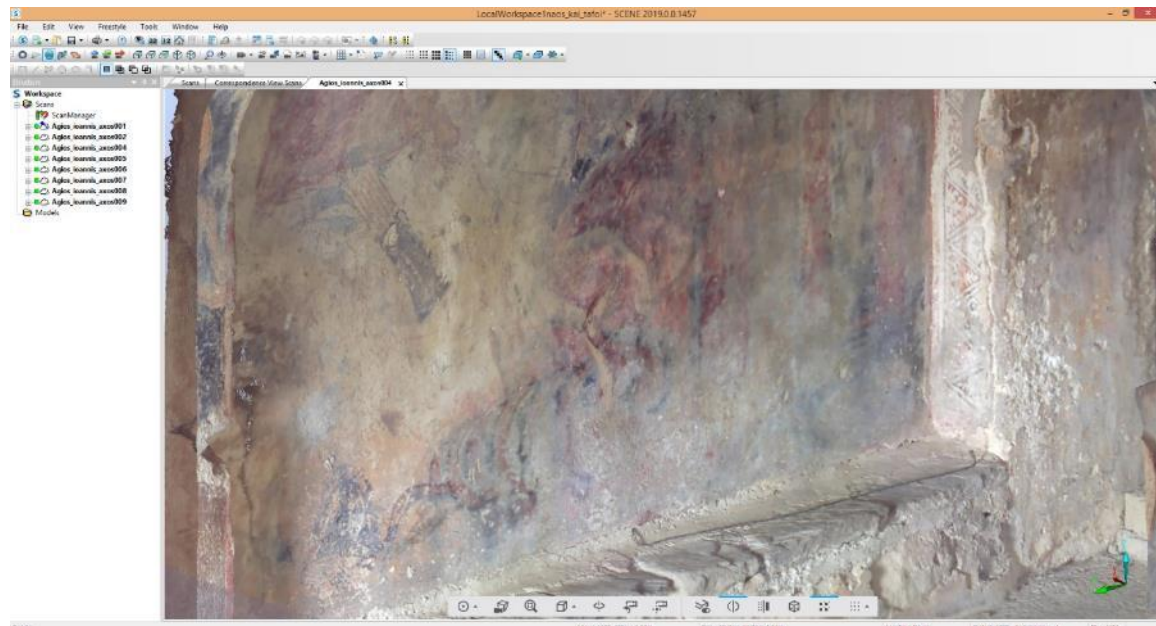
Εικόνα 35: Σφαίρες τοποθετημένες στο ναό για τη διαδικασία της ψηφιακής σάρωσης

Ταυτόχρονα με τη σάρωση γίνεται και ο χρωματισμός των σημείων. Ο σαρωτής διαθέτει ενσωματωμένη αυτορρυθμιζόμενη έγχρωμη ψηφιακή κάμερα, ικανή να παράγει πανοραμική εικόνα υψηλής ανάλυσης έως και 70 megapixel. Η οπτική ακτίνα της κάμερας είναι ομοαξονική με τη δέσμη laser. Έτσι, ο σαρωτής μπορεί να φωτογραφίζει ταυτόχρονα με τη σάρωση το αντικείμενο και να αποδίδει στο νέφος σημείων την πραγματική χρωματική υφή από την κάμερα.

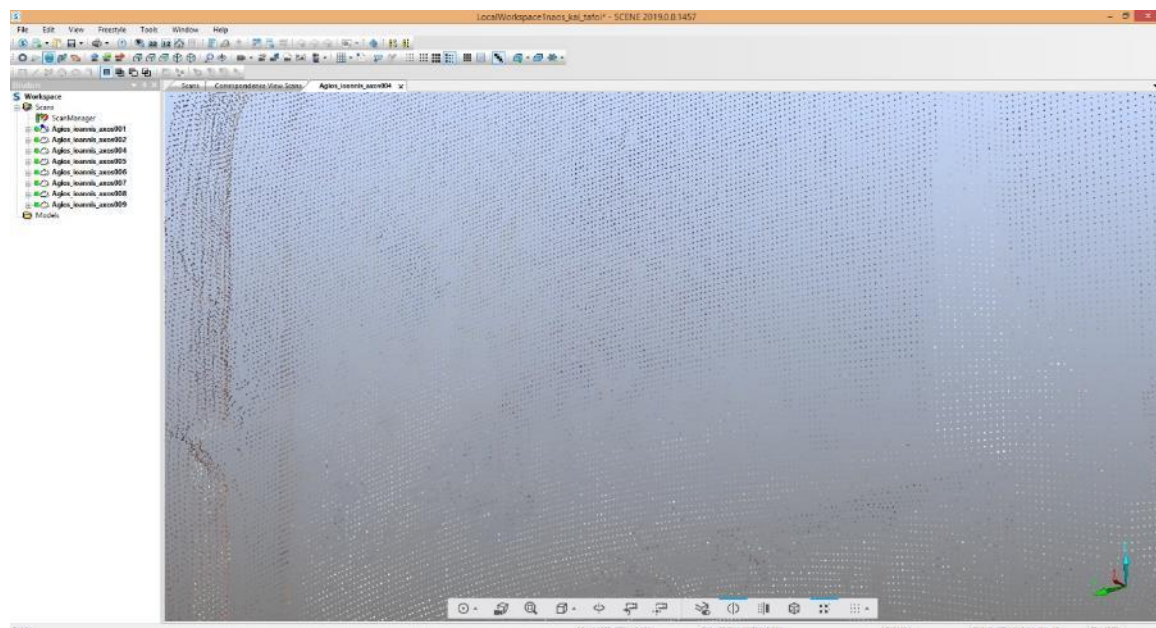
Ο σαρωτής αποθηκεύει τα δεδομένα σε κάρτα μνήμης SD, οπότε μόλις ολοκληρωθούν οι εργασίες πεδίου, γίνεται μεταφορά των δεδομένων στον υπολογιστή γραφείου και εισαγωγή τους στο λογισμικό **Faro Scene** για επεξεργασία.

Πραγματοποιήθηκαν 17 σαρώσεις, διάρκειας περίπου 15 λεπτών η κάθε μία, επομένως το σύνολο των μετρήσεων ολοκληρώθηκε εντός μίας ημέρας, γεγονός πολύ σημαντικό καθώς το μνημείο βρίσκεται σε μακρινή περιοχή και με αυτό τον τρόπο ελήφθη το σύνολο των απαιτούμενων στοιχείων για μια ολοκληρωμένη μελέτη εντός τόσο περιορισμένου χρονικού διαστήματος.

Τα παραγόμενα αρχεία είναι μορφής \*.fls. Σημειώνεται ότι το μέγεθος κάθε αρχείου προέκυψε από 160 έως 180 MB, γεγονός που έκανε τη μετέπειτα επεξεργασία τους ιδιαίτερα απαιτητική σε υπολογιστικό επίπεδο.



Εικόνα 36: Κοντινή λήψη στο νέφος σημείων, όπου διακρίνεται η μεγάλη λεπτομέρεια σάρωσης.



Εικόνα 37: Ίδια θέση με την εικόνα 36, με πολύ κοντινή λήψη. Γίνεται αντιληπτή η μορφή του νέφους.

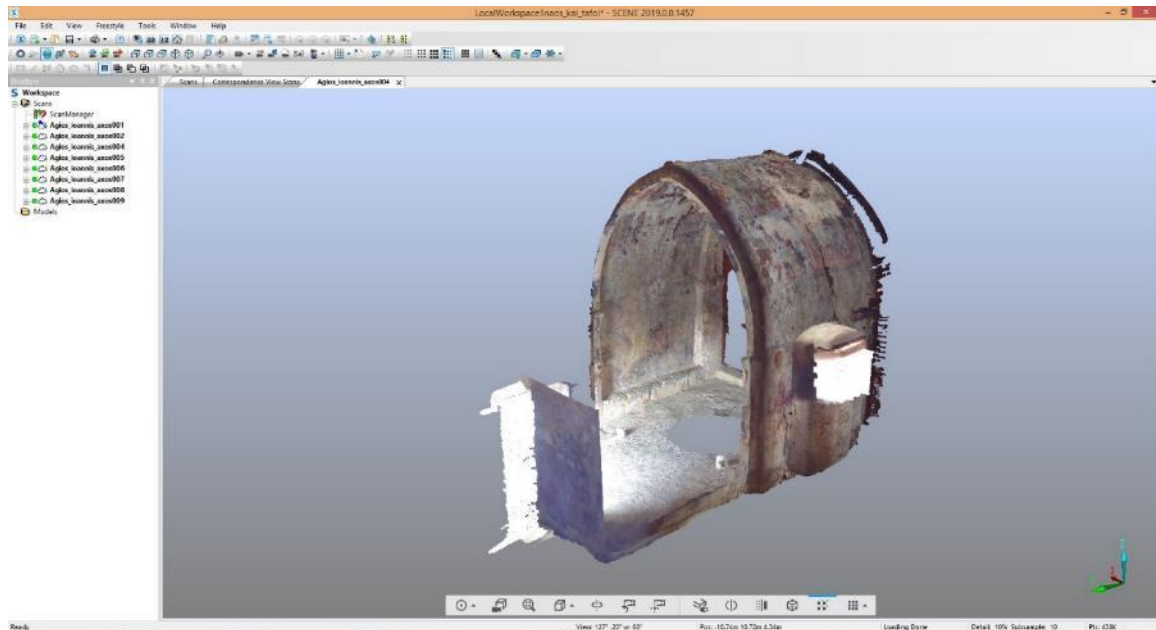
### 5.3.2 Μοντελοποίηση νέφους σημείων – point cloud modelling

Για την εργασία της επεξεργασίας των δεδομένων των σαρώσεων χρησιμοποιήθηκε, όπως αναφέρθηκε, το πρόγραμμα Faro Scene. Με το λογισμικό δημιουργείται ένα μετρητικό τρισδιάστατο νέφος σημείων για κάθε λήψη του σαρωτή και η αντίστοιχη πανοραμική εικόνας 360° υψηλής ανάλυσης. Ακολουθεί η εξομάλυνση (smoothing) και το φιλτράρισμα (filtering) των νεφών σημείων με κατάλληλες παραμέτρους ώστε να βελτιωθεί η ποιότητα και η αξιοπιστία των μετρήσεων. Με την μεταφόρτωση κάθε αρχείου, το πρόγραμμα εφαρμόζει αυτόματα φίλτρα προκειμένου, μεταξύ άλλων, να:

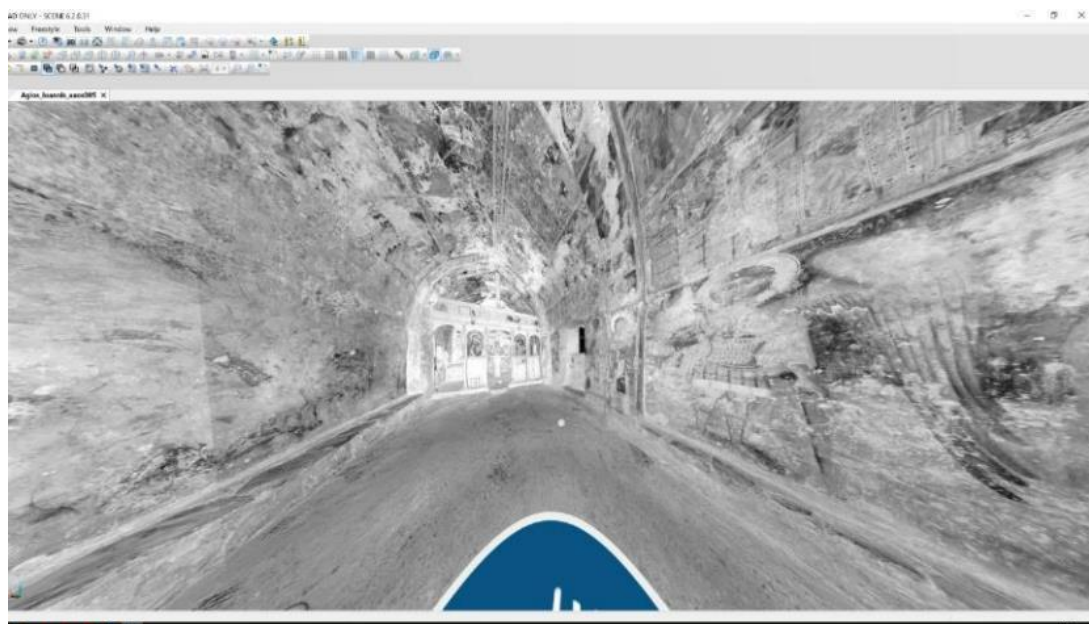
1. Εντοπιστούν οι ακμές – γωνίες του αντικειμένου / κτιρίου σάρωσης

Συστηματικός εντοπισμός βλαβών και διαχείριση της πληροφορίας με χρήση ψηφιακών μεθόδων και μοντέλων πληροφοριών για ιστορικές κατασκευές (HBIM)

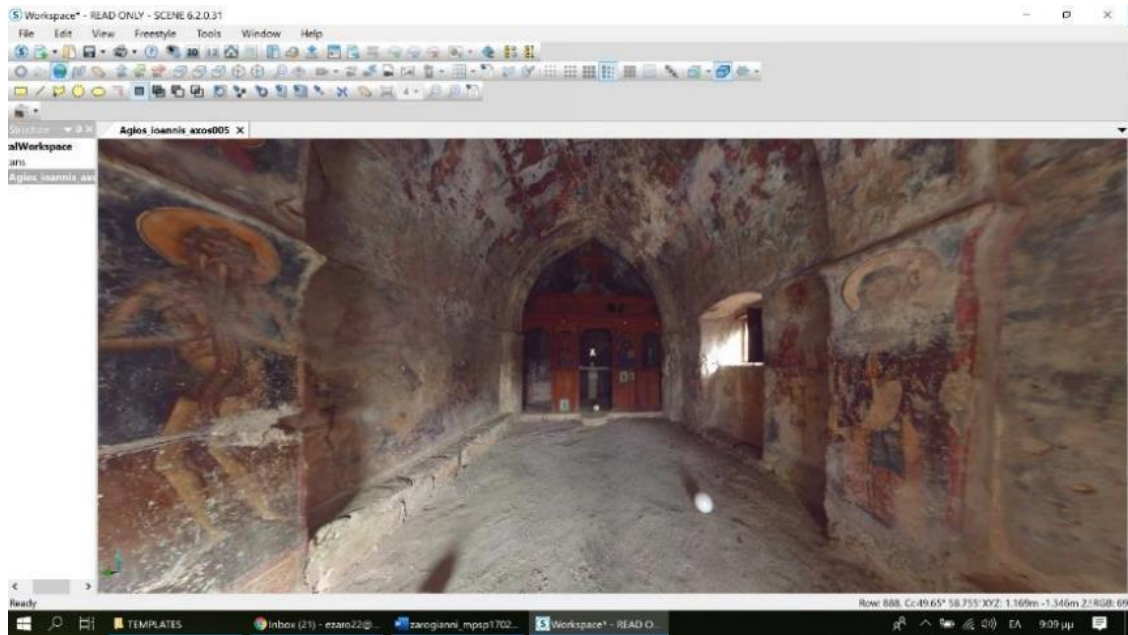
2. Αφαιρεθούν περιμετρικά στοιχεία όπως ο ουρανός
3. Αφαιρεθούν μαύρα σημεία (dark points)



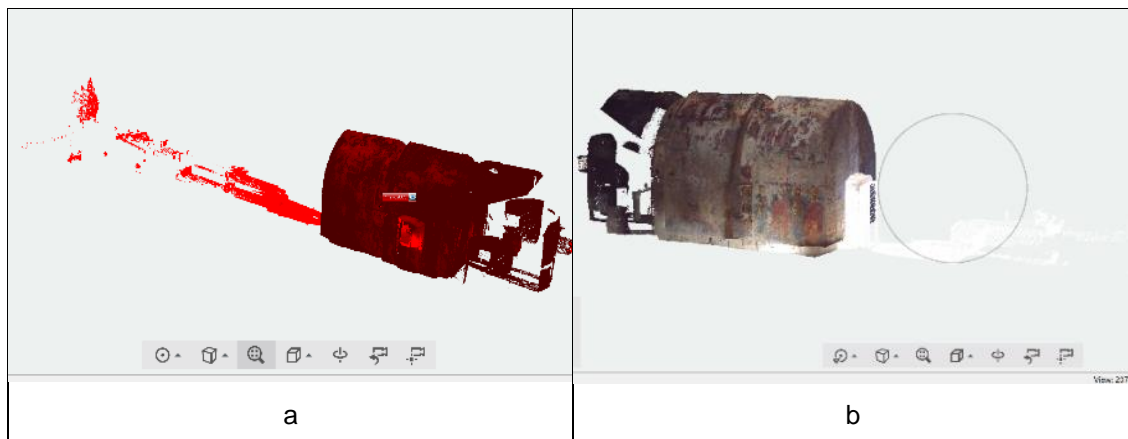
**Εικόνα 38: Μία από τις 17 συνολικά σάρωσεις, μετά την εξομάλυνση και το φιλτράρισμα (σάρωση 4).**



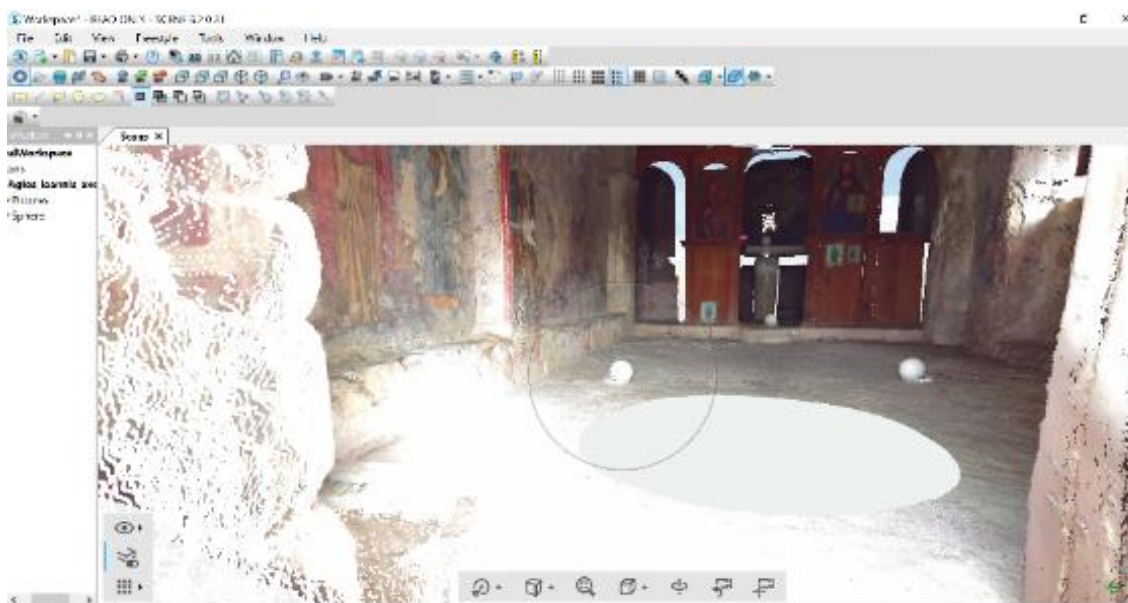
**Εικόνα 39: Απόδοση ψηφιακής σάρωσης σε grayscale (σάρωση No 2).**



**Εικόνα 40: Απόδοση ψηφιακής σάρωσης σε RGB. Διακρίνονται οι τοποθετημένες σφαίρες – στόχοι (σάρωση No 2).**



**Εικόνα 41: Παράδειγμα του νέφους σημείων από την προηγούμενη σάρωση (σάρωση No2). Διακρίνεται η μεγάλη πύκνωση των σημείων στον χώρο του σαρωτή και η αραιώση στις μακρινότερες θέσεις, όπου δεν ήταν εφικτή η λεπτομερής σάρωση.**



**Εικόνα 42: Εσωτερικό του ναού από την ίδια σάρωση. Αριστερά διακρίνεται το νέφος των σημείων (point cloud), ενώ φαίνονται και οι τρεις σφαίρες που έχουν τοποθετηθεί σε κατάλληλες θέσεις, προκειμένου να είναι εφικτή η συνένωση των σημείων (points) με ακρίβεια.**

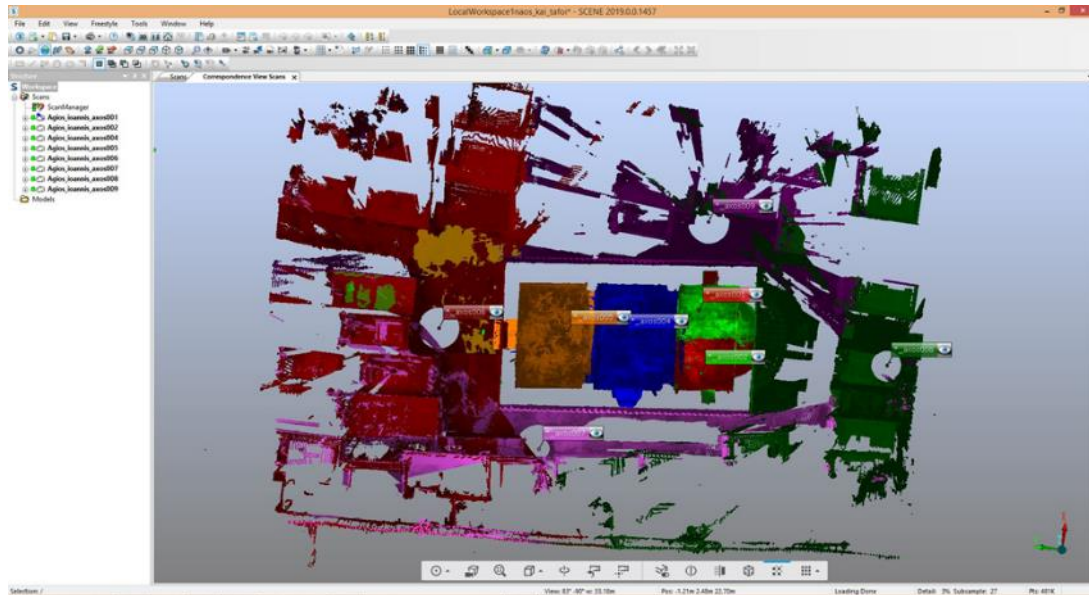
Τα νέφη σημείων που προκύπτουν από τις μεμονωμένες θέσεις σάρωσης ευθυγραμμίζονται στη συνέχεια με τη βοήθεια των στόχων, ώστε να δημιουργηθεί ένα ενιαίο νέφος σημείων για το σύνολο του μνημείου. Με την εντολή find spheres εντοπίζονται οι σφαίρες που τοποθετήθηκαν κατά την σάρωση και χρησιμοποιούνται από το λογισμικό για την ευθυγράμμιση – ταύτιση των διαφορετικών σαρώσεων. Το λογισμικό, μετά την διαδικασία επεξεργασίας και ένωσης αυτών ελέγχει το αναμενόμενο σφάλμα, ώστε να επανελεγχεται το αποτέλεσμα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η ακρίβεια του συνολικού προσομοιώματος – νέφους σημείων ολόκληρου του ναού είναι της τάξης των 3mm.

Σε κάθε διαδικασία ευθυγράμμισης δίνονται οι τιμές RMS, καθώς και άλλα στατιστικά μεγέθη (για τον έλεγχο της ακρίβειας και ποιότητας της σύνδεσης).

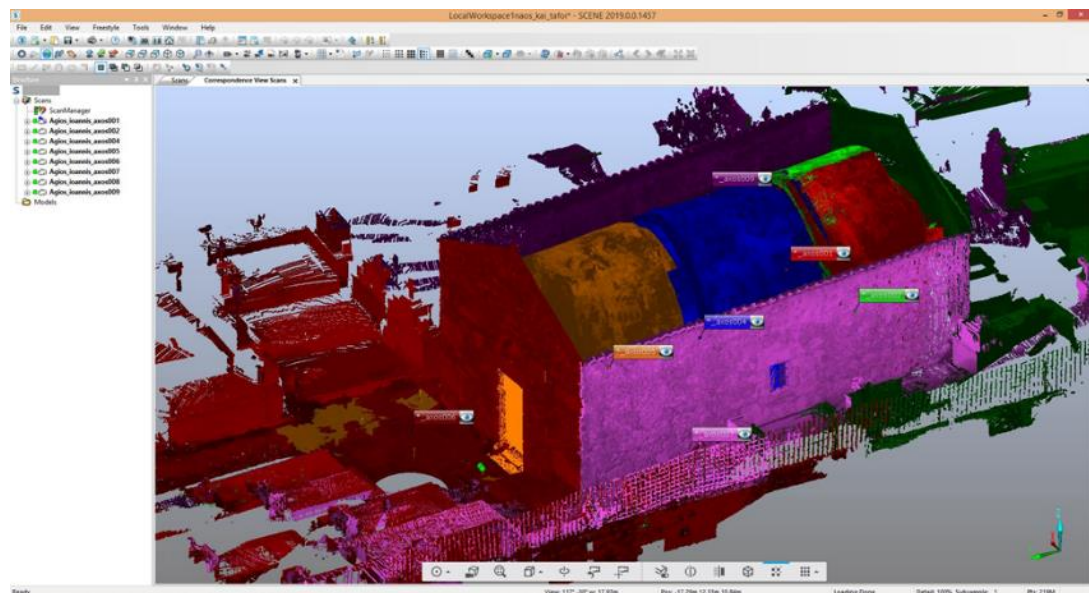
### **Ενοποίηση (registration) σαρώσεων.**

Το σύνολο των σημείων (λεπτομερή και μη) ενώνονται στο τέλος αφού τοποθετηθούν όλες οι σαρώσεις μαζί, ώστε να υπάρξει η μέγιστη δυνατή ακρίβεια – απόδοση. Η διαδικασία απαιτεί μεγάλη υπολογιστική ισχύ και μνήμη της τάξης των 16GB RAM, καθώς πρόκειται για αρχεία μεγάλου όγκου και υψηλών υπολογιστικών απαιτήσεων.

Στο ενοποιημένο νέφος σημείων αποδίδεται τόσο πραγματικό χρώμα RGB, όσο και αποχρώσεις τόνων του γκριζου (grayscale) με βάση την ένταση του ανακλώμενου σήματος του laser (intensity). Η εναλλαγή των δύο αποδόσεων γίνεται με την εντολή Scan - Operation – Color – apply pictures, προκειμένου να μεταφορτωθούν οι έγχρωμες εικόνες – φωτογραφίες που έχει αποθηκεύσει ο σαρωτής.

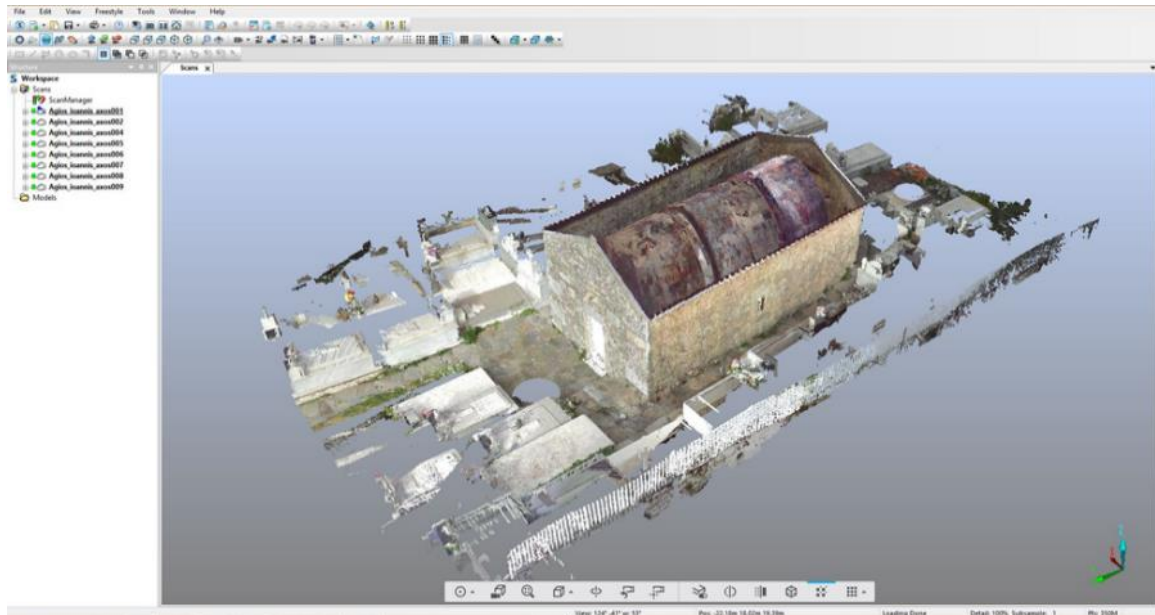


Εικόνα 43: Τοποθέτηση και ενοποίηση όλων των επιμέρους νεφών σημείων – κάτοψη.



Εικόνα 44: Ολοκληρωμένη ψηφιακή αναπαράσταση του ναού, μετά την τοποθέτηση και ενοποίηση όλων των επιμέρους σαρώσεων νεφών σημείων, που διακρίνονται με διαφορετικά χρώματα.

Συστηματικός εντοπισμός βλαβών και διαχείριση της πληροφορίας με χρήση ψηφιακών μεθόδων και μοντέλων δομικών πληροφοριών για ιστορικές κατασκευές (HBIM)



**Εικόνα 45:** Τελικό ψηφιακό προσομοίωμα μετά την ενοποίηση και την χρωματική απόδοση RGB του νέφους σημείων.

#### **Διαδικασία ελέγχου και καθαρισμού**

Η διαδικασία ενοποίησης και η συνολική παραγωγή του νέφους σημείων ακολουθείται από τον καθαρισμό του θορύβου γύρω από το μνημείο. Στην προκειμένη περίπτωση αφαιρέθηκε η φύση, τα τμήματα του νεκροταφείου, καθώς και εξοστρακισμένα σημεία, ώστε τελικά να παραμείνει η ψηφιακή αναπαράσταση του ναού. Η αφαίρεση γίνεται με προσοχή, καθώς δεν υπάρχει η δυνατότητα από το πρόγραμμα της αναίρεσης (undo) μιας εντολής.

#### **5.3.3 Παραγωγή τρισδιάστατου αρχείου και ορθοφωτογραφιών**

Μετά την επεξεργασία του νέφους σημείων γίνεται η εξαγωγή του σε αρχείο της μορφής \*.rod, προκειμένου να δημιουργηθεί το τρισδιάστατο μοντέλο του μνημείου και να παραχθούν οι απαιτούμενες ορθοφωτογραφίες, με το λογισμικό Bentley Pointools View της εταιρείας Bentley Systems.



**Εικόνα 46:** Ορθοφωτογραφία της εσωτερικής πλευράς της βόρειας τοιχοποιίας του ναού.

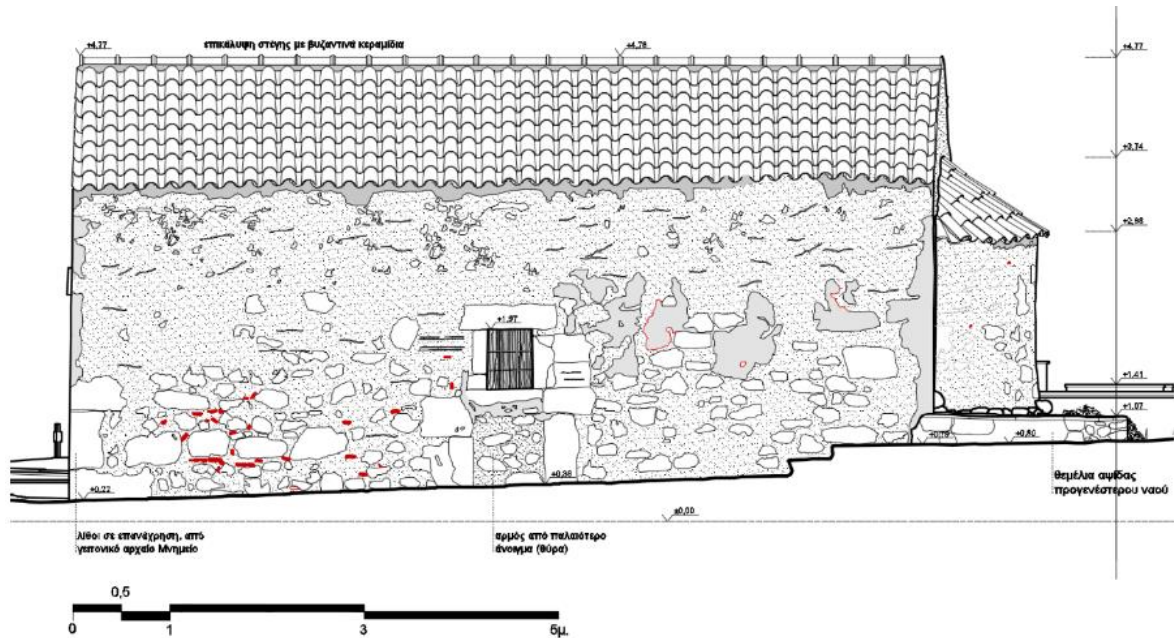
Συστηματικός εντοπισμός βλαβών και διαχείριση της πληροφορίας με χρήση ψηφιακών μεθόδων και μοντέλων δομικών πληροφοριών για ιστορικές κατασκευές (HBIM)



Εικόνα 47: Ορθοφωτογραφία με την άνοψη του ναού.

### 5.3.4 Παραγωγή σχεδίων CAD

Με το λογισμικό Bentley Pointools View της εταιρείας Bentley Systems, παρήχθησαν το σύνολο των αρχιτεκτονικών σχεδίων του ναού, με ιδιαίτερη ταχύτητα και ακρίβεια, καθώς ήταν εφικτή η εξαγωγή λεπτών τομών σε κάθε επιθυμητή θέση, ώστε στο AutoCad να σχεδιάζεται με σχετική ευκολία η εκάστοτε τομή – όψη – κάτοψη (Εικόνα 48).



Εικόνα 48: Νότια όψη ναού – Σχέδιο αποτύπωσης.



## 5.4 Μέθοδος μελέτης παθολογίας

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκε διερεύνηση της χρήσης των ορθοφωτογραφιών στη διάγνωση της παθολογίας του μνημείου. Δεν θα αναλυθεί η παθολογία στο πλαίσιο και υπό το πρίσμα μιας αρχιτεκτονικής – δομοστατικής μελέτης, αλλά θα παρουσιαστεί η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε προκειμένου να εντοπιστούν βασικές βλάβες και φθορές του μνημείου αποκλειστικά με τη χρήση και επεξεργασία των ψηφιακών αρχείων του.

### 5.4.1 Οπτικός εντοπισμός βασικών φθορών – βλαβών του μνημείου

Για την καταγραφή της παθολογίας εντοπίστηκαν αρχικά οι βασικές κατηγορίες βλαβών και φθορών μακροσκοπικά, με οπτική παρατήρηση. Αν και η βασική κατηγοριοποίηση στην παθολογία ενός μνημείου αφορά στη διάκριση των εμφανιζόμενων προβλημάτων σε φθορές ή βλάβες, διάκριση που υποδηλώνει κυρίως τη σημασία του προβλήματος ως προς τη δομική υπόσταση του δομήματος – μνημείου, στην παρούσα φάση σημειώθηκε το σύνολο των παρατηρήσεων, ώστε να είναι εφικτή η αξιοποίησή τους από όλες τις σχετικές επιστημονικές ειδικότητες (αρχαιολόγους, μηχανικούς, συντηρητές, κ.α.).

Από την παρατήρηση του μνημείου φαίνεται ότι η βασικότερη φθορά αφορά σε *μικρορρηγματώσεις και αποφλοιώσεις* του ζωγραφικού διακόσμου, ενώ σημαντικότερη βλάβη είναι η εμφάνιση *ρηγματώσεων* στις τοιχοποιίες και στη θολοδομία, η οποία σε ορισμένες περιπτώσεις φτάνει μέχρι και στην μερική αποδιοργάνωση της λιθοδομής.

Σε ότι αφορά τον έλεγχο απόκλισης των τοιχοποιιών του μνημείου από την κατακόρυφο, στοιχείο που σε συνδυασμό με την υπόλοιπη παθολογία μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά συμπεράσματα και αναγκαία μέτρα αντιμετώπισης, από την αποτύπωση υψηλής ακρίβειας δεν προέκυψε – εντοπίστηκε κάποιο πρόβλημα.

Η μακροσκοπική παρατήρηση κατέδειξε επίσης τα σημαντικά προβλήματα *υγρασίας* που παρουσιάζει ο ναός, τα οποία αποτελούν και το βασικότερο αίτιο των φθορών του ζωγραφικού διακόσμου, ενώ παράλληλα συμβάλλουν στην υποβάθμιση και τοπική αποδιοργάνωση των λιθοδομών (Εικόνα ).



**Εικόνα 49: Εσωτερική παρειά δυτικής τοιχοποιίας. Διακρίνεται η έντονη υγρασία που δυσχεραίνει τον εντοπισμό των βλαβών.**

Το συγκεκριμένο φαινόμενο καθιστά εξαιρετικά δυσχερή τον οπτικό εντοπισμό των ρηγματώσεων, καθώς η εκτεταμένη χρωματική διαφοροποίηση του υποστρώματος των ζωγραφικών επιφανειών σε συνδυασμό με τη δημιουργία σκουρόχρωμων ζωνών, δεν επιτρέπει την άμεση διάκριση των ρωγμών στις τοιχοποιίες.

Συνοπτικά, οι σημαντικότερες φθορές και βλάβες που εντοπίστηκαν στον ναό είναι οι ακόλουθες:

- Ρηγματώσεις στις τοιχοποιίες και στη θολοδομία.
- Αποδιοργάνωση λιθοδομής
- Καταρρεύσεις επιχρισμάτων
- Καταστροφές ζωγραφικού διακόσμου -απώλεια χρώματος
- Μικρορηγματώσεις στη ζωγραφική επιφάνεια
- Βιολογικές επικαθίσεις
- Επισκευές λιθοδομών από τσιμέντο (σημειώνεται στην παθολογία λόγω της δυσμενούς επίδρασης των τσιμεντοπικιών κονιαμάτων στις τοιχογραφίες με εξανθήματα αλάτων)
- Φθορές κουφωμάτων

Σημαντικότερα αίτια είναι, όπως αναφέρθηκε, η υγρασία, ανερχόμενη και κατερχόμενη και οι πιθανές σεισμικές δράσεις στην περιοχή σε ότι αφορά τις ρηγματώσεις. Τα ανωτέρω σε συνδυασμό με την γενικότερη εγκατάλειψη και έλλειψη συντήρησης του ναού συμβάλλουν στην επιδείνωση της κατάστασής του.

Συστηματικός εντοπισμός βλαβών και διαχείριση της πληροφορίας με χρήση ψηφιακών μεθόδων και μοντέλων δομικών

πληροφοριών για ιστορικές κατασκευές (HBIM)

#### 5.4.2 Συστηματικός εντοπισμός βλαβών με χρήση ψηφιακών μεθόδων

Για τον εντοπισμό των ρηγματώσεων του ναού στο εσωτερικό του δοκιμάστηκε και τελικά εφαρμόστηκε η ψηφιακή επεξεργασία των ορθοφωτογραφιών. Από το τρισδιάστατο μοντέλο της ψηφιακής σάρωσης δημιουργήθηκαν οι κατάλληλες ορθοφωτογραφίες, από τις οποίες αφαιρέθηκαν όλα τα χρώματα (RGB) από το εσωτερικό των τοιχογραφιών του ναού, με αποτέλεσμα να φαίνονται ξεκάθαρα όλες οι αλλοιώσεις πάνω στην επιφάνεια των τοιχοποιιών του. Σε κάθε ορθοφωτογραφία πραγματοποιήθηκαν δοκιμές στην σταδιακή αφαίρεση των χρωμάτων RGB ώστε να βρεθεί η βέλτιστη τιμή στην οποία διακρίνονται ευκρινώς οι ρηγματώσεις πάνω στις τοιχοποιίες, χωρίς να επηρεάζεται η εικόνα από τις υπάρχουσες τοιχογραφίες.

Παρακάτω σημειώνονται χαρακτηριστικά οι τρεις εσωτερικές όψεις του ναού και η άνοψη της θολοδομίας, με την παράλληλη εμφάνιση της έγχρωμης και της επεξεργασμένης ορθοφωτογραφίας με τις βλάβες που φαίνονται μετά την αφαίρεση του χρώματος. Στα αρχεία αυτά είναι επίσης δυνατή η μέτρηση των ρηγματώσεων, για την εκτίμηση της σημασίας κάθε βλάβης.

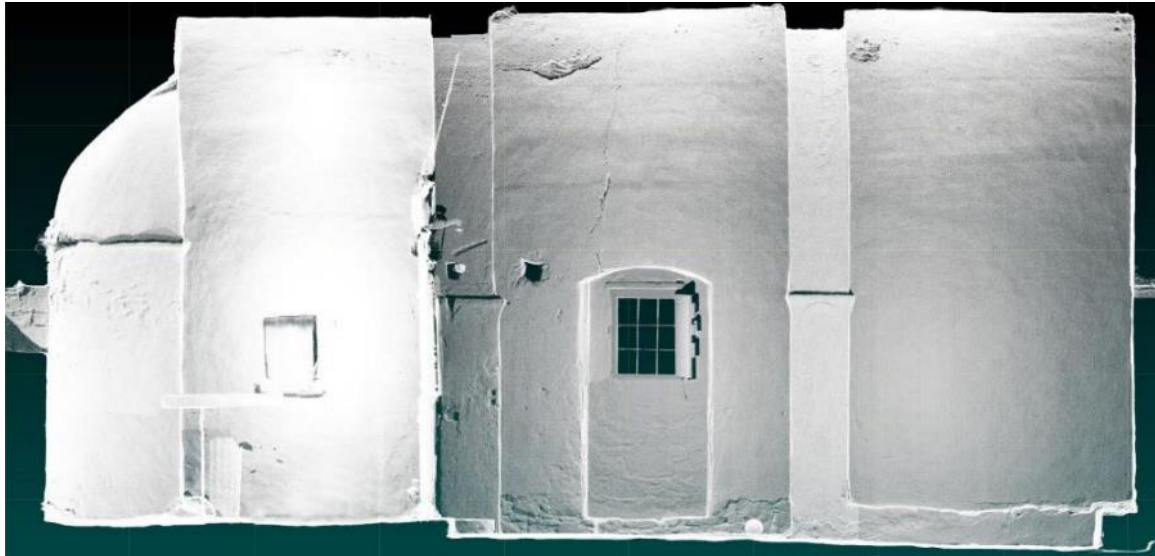


**Εικόνα 50: Εσωτερική παρειά δυτικής τοιχοποιίας. Αριστερά εικονίζεται φωτογραφία δυτικού τοίχου του ναού και δεξιά ορθοφωτογραφία της δυτικής εσωτερικής όψης χωρίς χρώματα, παρά μόνο με τις ανάγλυφες αλλοιώσεις της επιφάνειας της τοιχοποιίας**

Στον δυτικό τοίχο εντοπίζεται αποσάθρωση των επιχρισμάτων και αξονική κατακόρυφη ρωγμή εύρους 0,003μ. έως 0,007μ., η οποία καταλήγει στο κλειδί από τους θολίτες πάνω από τη θύρα εισόδου στο ναό. Η ρωγμή φαίνεται επιφανειακή εντός του επιχρίσματος, χωρίς να έχει εισχωρήσει στη δομή του τοίχου.

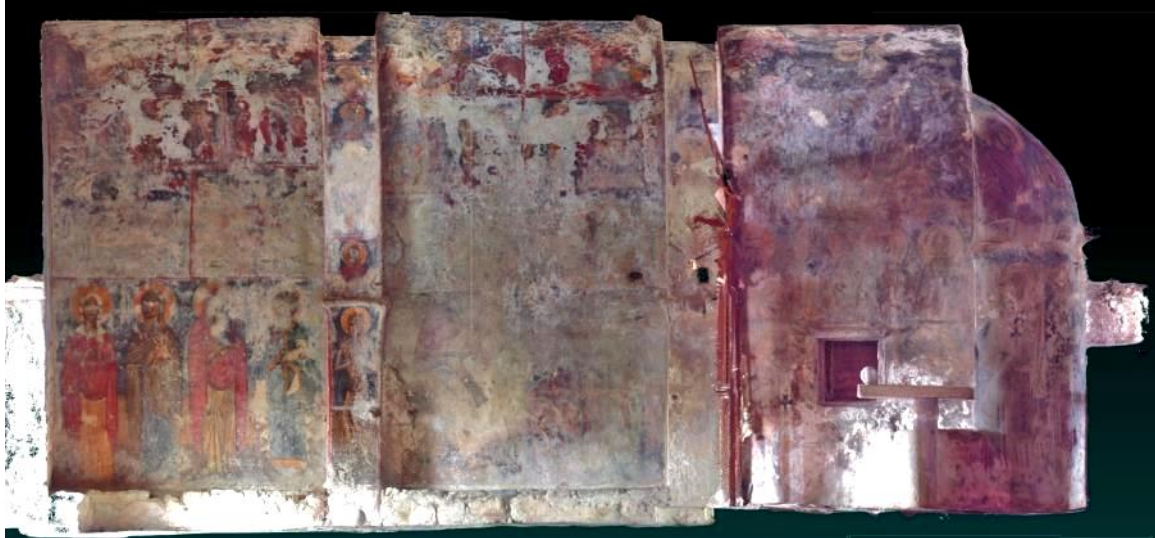


(α)



(β)

**Εικόνα 51:** Πάνω (α) εικονίζεται φωτογραφία της εσωτερικής παρειάς της τοιχοποιίας του νότιου τοίχου του ναού σε ορθή προβολή και κάτω (β) ορθοφωτογραφία της νότιας εσωτερικής όψης χωρίς χρώματα, παρά μόνο με τις ανάγλυφες αλλοιώσεις της επιφάνειας της τοιχοποιίας



(α)

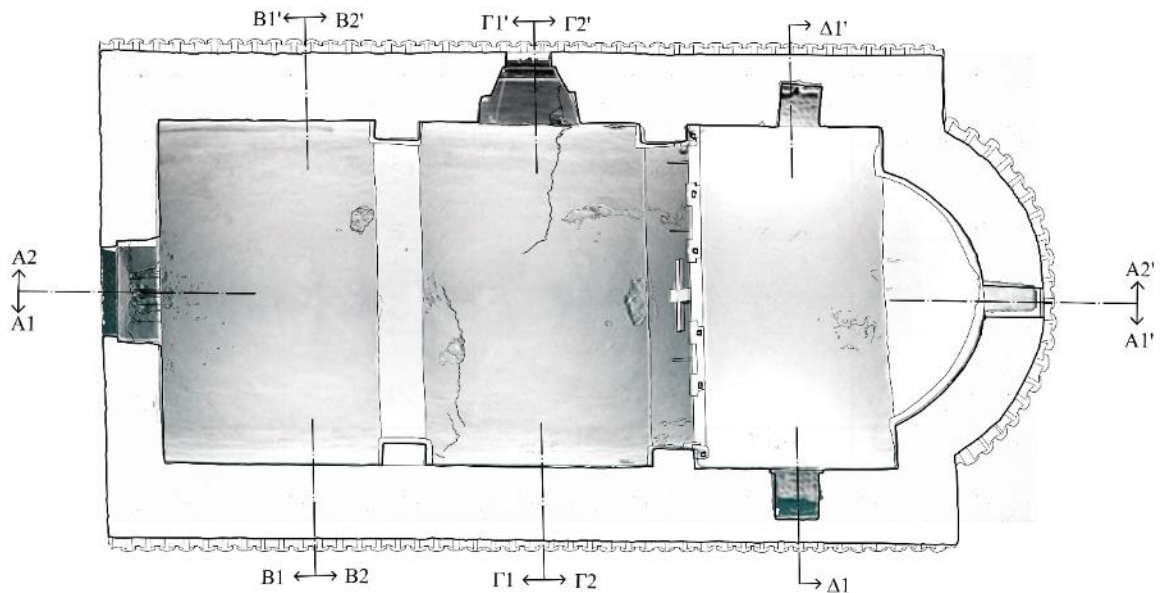


(β)

**Εικόνα 52: Πάνω (α) εικονίζεται φωτογραφία της εσωτερικής παρειάς της τοιχοποιίας του βόρειου τοίχου του ναού σε ορθή προβολή και κάτω (β) ορθοφωτογραφία της βορείας εσωτερικής όψης χωρίς χρώματα, παρά μόνο με τις ανάγλυφες αλλοιώσεις της επιφάνειας της τοιχοποιίας**



(α)



(β)

Εικόνα 53: Πάνω (α) εικονίζεται φωτογραφία της άνοψης του ναού σε ορθή προβολή και κάτω (β) ορθοφωτογραφία της άνοψης χωρίς χρώματα, παρά μόνο με τις ανάγλυφες αλλοιώσεις της επιφάνειας της θολοδομίας

### 5.4.3 Καταγραφή παθολογίας με κατηγοριοποίηση βλαβών

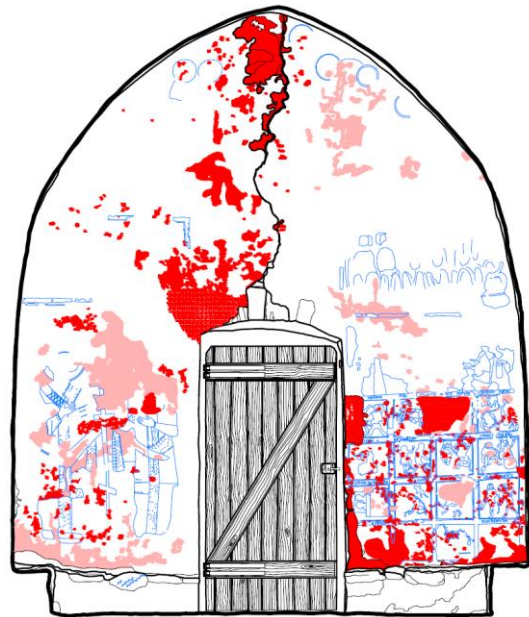
Ακολουθώντας την ανωτέρω διαδικασία, έγινε αναλυτική καταγραφή της παθολογίας στο σύνολο των σχεδίων του ναού, τόσο στις τοιχοποιίες όσο και στις τοιχογραφίες του.

|                            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|----------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|                            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ΚΥΡΙΟΣ ΝΑΟΣ - ΔΥΤΙΚΟ ΤΜΗΜΑ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ΑΝΟΡΘΗ                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Εικόνα 54. Καταγραφή παθολογίας τοιχογραφιών

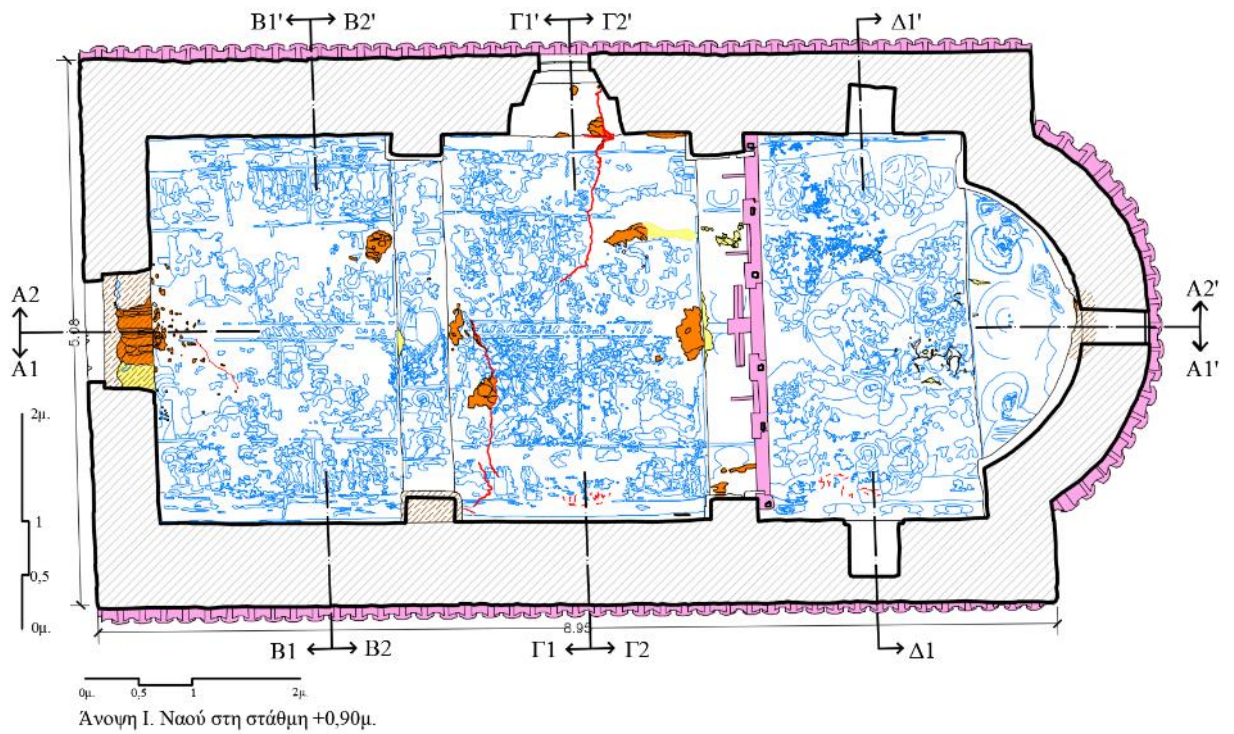


a

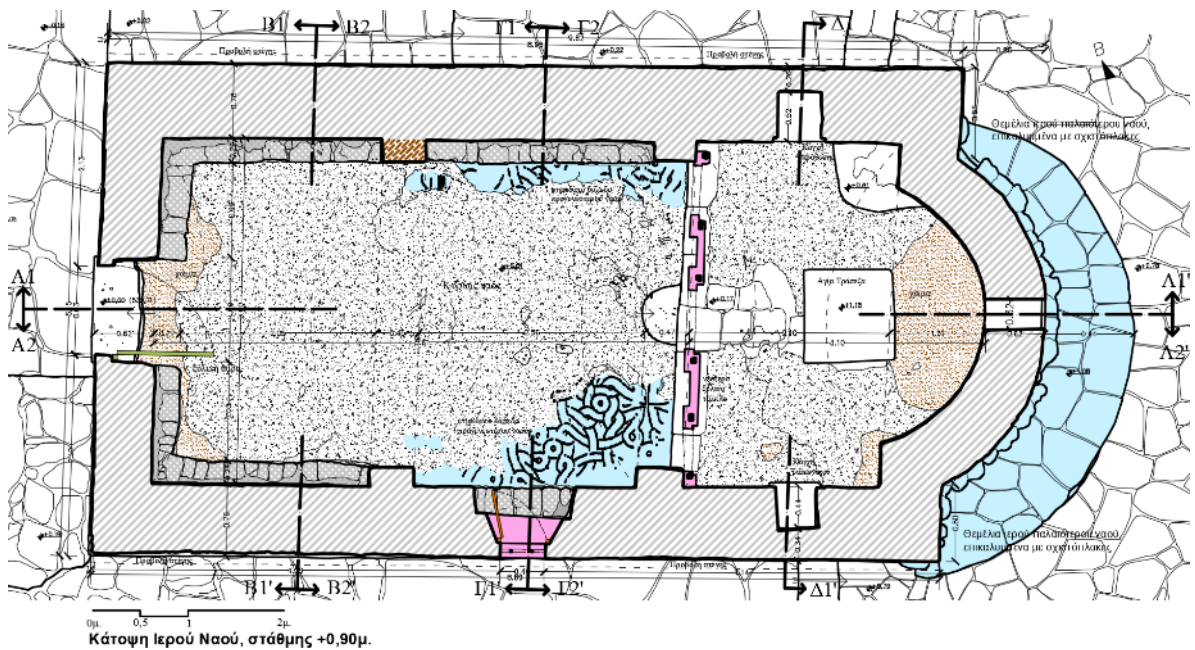


b

Εικόνα 55. Δυτική όψη εσωτερικά a) Ορθοφωτογραφία b) Σχέδιο στο AutoCad με χαρτογράφηση της παθολογίας



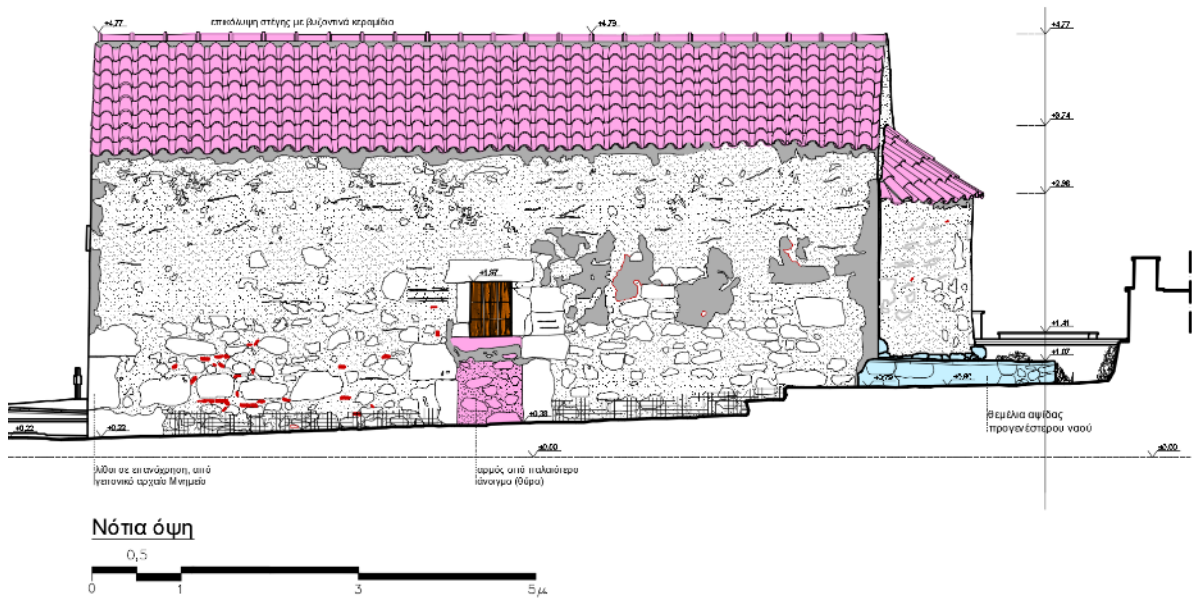
**Εικόνα 56. Άνοψη ναού - Τεκμηρίωση και καταγραφή παθολογίας.**



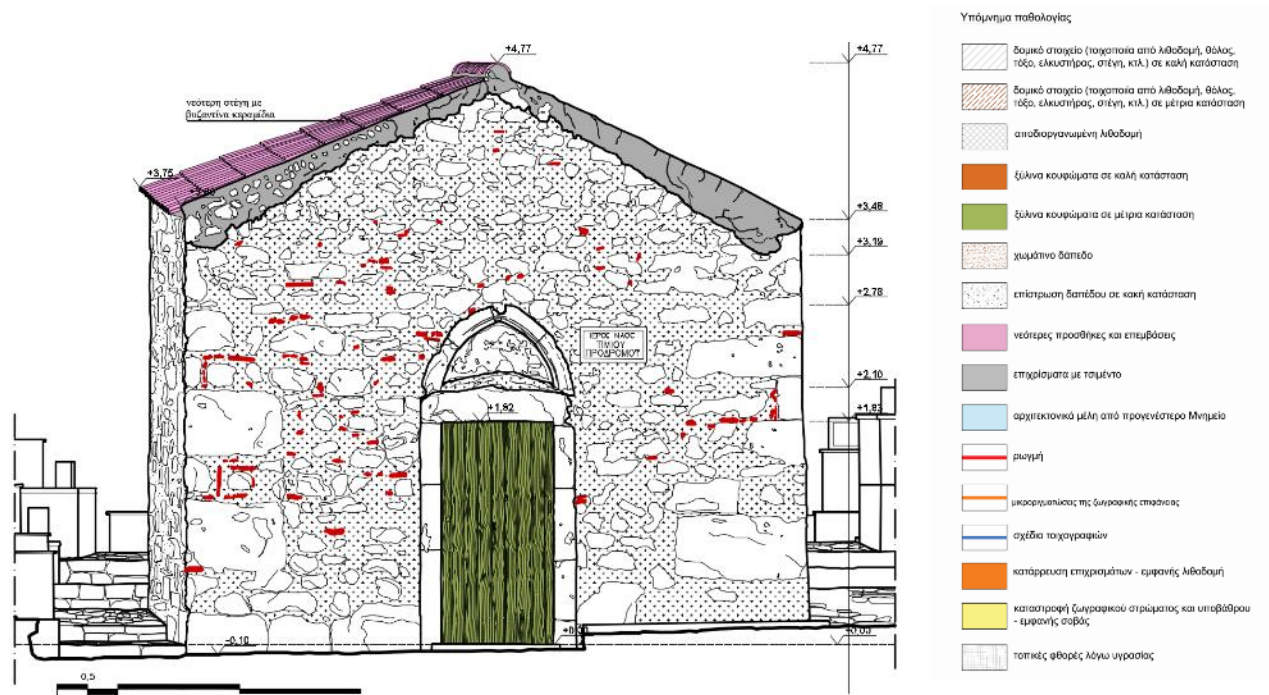
**Εικόνα 57. Κάτοψη ναού - Τεκμηρίωση και καταγραφή παθολογίας.**

Συστηματικός εντοπισμός βλαβών και διαχείριση της πληροφορίας με χρήση ψηφιακών μεθόδων και μοντέλων δομικών πληροφοριών για ιστορικές κατασκευές (HBIM)





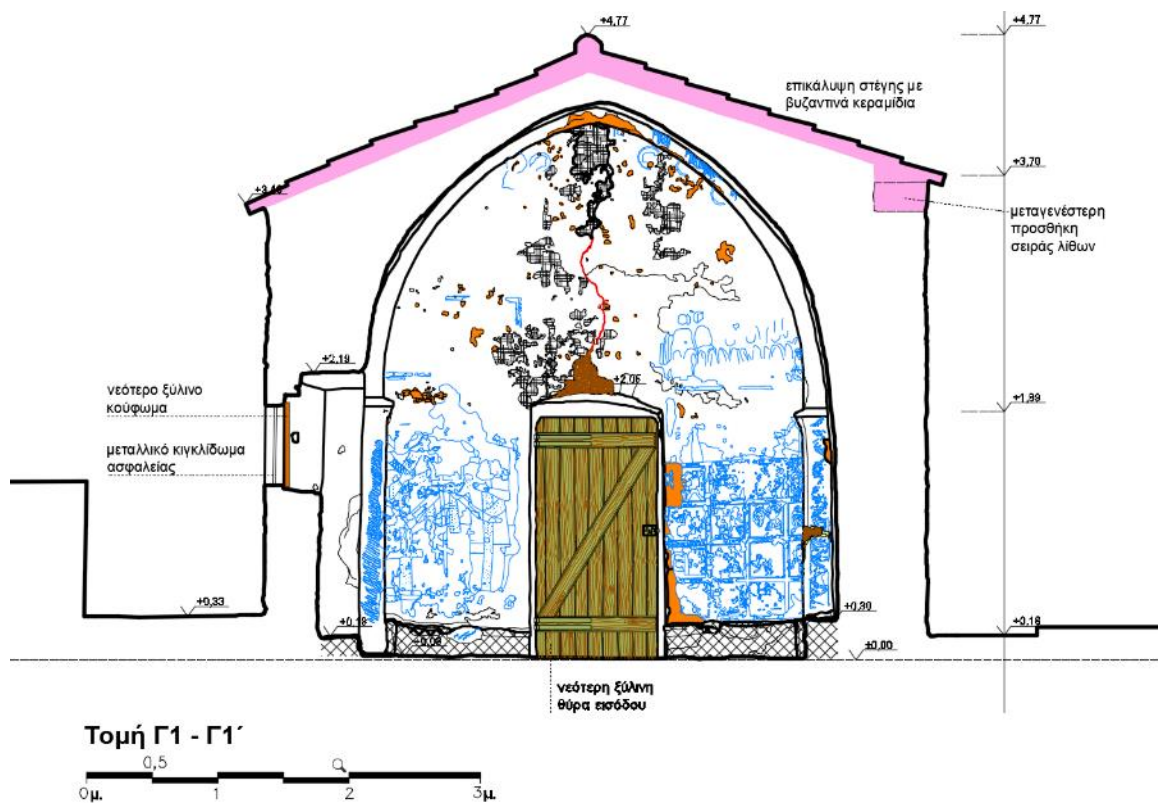
Εικόνα 58 Νότια όψη - Τεκμηρίωση και καταγραφή παθολογίας.



Εικόνα 59. Δυτική όψη - Τεκμηρίωση και καταγραφή παθολογίας.



Εικόνα 60. Κατά μήκος τομή - Τεκμηρίωση και καταγραφή παθολογίας



Εικόνα 61. Εγκάρσια τομή - Τεκμηρίωση και καταγραφή παθολογίας

## 5.5 Εισαγωγή μοντέλου στο πρόγραμμα REVIT

Ακολούθησε η διαμόρφωση του προσομοιώματος στο πρόγραμμα REVIT της Autodesk, καθώς όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 2 αποτελεί ένα από πλέον διαδεδομένα λογισμικά εφαρμογής της τεχνολογίας BIM. Σημειώνεται ότι, όπως αναφέρθηκε πιο αναλυτικά στα προηγούμενα κεφάλαια της παρούσης εργασίας, η αποκλειστική χρήση των λογισμικών που εφαρμόζουν την τεχνολογία του BIM δεν μπορεί να καλύψει στον μέγιστο απαιτούμενο βαθμό τις απαιτήσεις μιας ολοκληρωμένης μελέτης αποκατάστασης, κυρίως σε ότι αφορά την τεκμηρίωση και παρουσίαση των αρχιτεκτονικών σχεδίων, καθώς δεν μπορούν να αποδοθούν με ακρίβεια οι παραμορφώσεις – αποκλίσεις – διαφοροποιήσεις μεμονωμένων μελών από τυποποιημένες μορφές. Για το λόγο αυτό, σύμφωνα και με την βιβλιογραφική έρευνα που εκπονήθηκε, επιλέγεται συχνά η απόδοση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το σύνολο των ιδιαίτερων στοιχείων του μνημείου, τα οποία εν τούτοις αναλύονται διεξοδικά στις επιμέρους μελέτες (αρχιτεκτονική, στατική) και σε σειρές σχεδίων τεκμηρίωσης.

Στην παρούσα εργασία επιχειρήθηκε η εφαρμογή της μεθόδου BIM στον Ι. Ν. Αγ. Ιωάννη με τη χρήση του προγράμματος Revit 2021.

### 5.5.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά λογισμικού

Η βασική διαφορά των προγραμμάτων BIM από τα προγράμματα CAD είναι, όπως αναφέρθηκε, η εννοιολογική απόδοση χαρακτηριστικών κατά το σχεδιασμό και την απεικόνιση των κατασκευών. Στα λογισμικά BIM οι γραφικές οντότητες (γραμμές, τόξα, κλπ) «μεταφράζονται» σε οικοδομικά μέλη (τοίχοι, τρούλοι, παράθυρα, κλπ) αποκτώντας τη δυνατότητα να φέρουν πλήθος πληροφοριών τόσο δομικού χαρακτήρα όσο και χρονικού, οικονομικού ή άλλων τύπων.

Το λογισμικό Revit έχει τη δυνατότητα επεξεργασίας διαφορετικών τύπων αρχείων, τόσο από σχεδιαστικά προγράμματα CAD όσο και από τα υπόλοιπα προγράμματα της Autodesk, καθώς και άλλες μορφές διαλειτουργικών αρχείων (IFC). Στην περίπτωση χρήσης του προγράμματος για το σχεδιασμό υφιστάμενων κατασκευών, υπάρχει η δυνατότητα είτε απευθείας εισαγωγής του νέφους σημείων στο πρόγραμμα είτε η εισαγωγή σχεδίων από το Autocad και στη συνέχεια η σχεδίαση του φορέα με τη βοήθεια αυτών. Η σχεδίαση γίνεται σε περιβάλλον δύο διαστάσεων, χρησιμοποιώντας παράλληλα τα στοιχεία από τη βάση δεδομένων του προγράμματος και ταυτόχρονα δημιουργείται η τρισδιάστατη δομή των μελών.

Κάθε μέλος αποτελεί ξεχωριστή οντότητα, με διαφορετικά χαρακτηριστικά, ενώ το πρόγραμμα παρέχει την ταξινόμηση όλων των μελών και των επιμέρους χαρακτηριστικών τους σε πίνακες, ώστε να μπορεί σε δεύτερο στάδιο να γίνει οποιαδήποτε επεξεργασία και κατηγοριοποίηση αυτών.

Κατά τη σχεδίαση είναι δυνατή η εποπτεία όλων των πλευρών της κατασκευής (όψεων και τομών), ενώ κάθε αλλαγή που γίνεται σε κάθε ένα από αυτά ενημερώνεται ταυτόχρονα στο τρισδιάστατο μοντέλο. Σημειώνεται ότι οι παραμετρικές βιβλιοθήκες του προγράμματος διαθέτουν μεγάλο πλήθος επιλογών που όμως απευθύνονται κυρίως στους χρήστες που σχεδιάζουν νέες κατασκευές και όχι υπάρχουσες, ιδιαίτερα μάλιστα ιστορικές, οι οποίες έχουν πολλές ιδιαιτερότητες και δεν μπορούν να αποδοθούν με ακρίβεια χρησιμοποιώντας τις τυποποιημένες μορφές του Revit.

### 5.5.2 Διαδικασία σχεδιασμού μοντέλου στο Revit της Autodesk

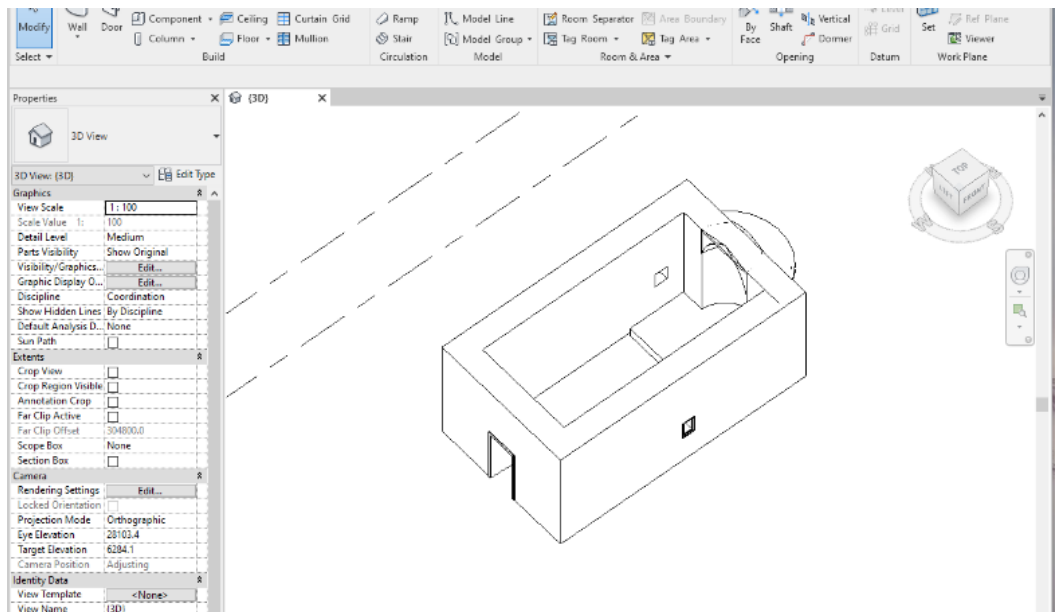
Για τον σχεδιασμό του τρισδιάστατου προσομοιώματος του Ι. Ν. Αγ. Ιωάννη έγινε η εισαγωγή των σχεδίων AutoCad στο περιβάλλον του Revit, καθώς είχε ήδη προηγηθεί η επεξεργασία του νέφους σημείων και η παραγωγή σχεδίων cad. Αρχικά δημιουργήθηκαν τα επίπεδα της κατασκευής (Level), θεωρώντας ως αρχικό επίπεδο την άνω στάθμη του εσωτερικού δαπέδου του ναού και δεύτερο επίπεδο την απόληξη των τοιχοποιιών του.

Στη συνέχεια ακολούθησε η σχεδίαση των στοιχείων (Elements) του ναού. Στο πλαίσιο της εργασίας αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν τα κατάλληλα διαθέσιμα υλικά και παραμετρικά στοιχεία από τις βιβλιοθήκες του προγράμματος, ώστε να αποδοθεί κατά το δυνατόν πληρέστερα η κατασκευή.

Συστηματικός εντοπισμός βλαβών και διαχείριση της πληροφορίας με χρήση ψηφιακών μεθόδων και μοντέλων δομικών πληροφοριών για ιστορικές κατασκευές (HBIM)

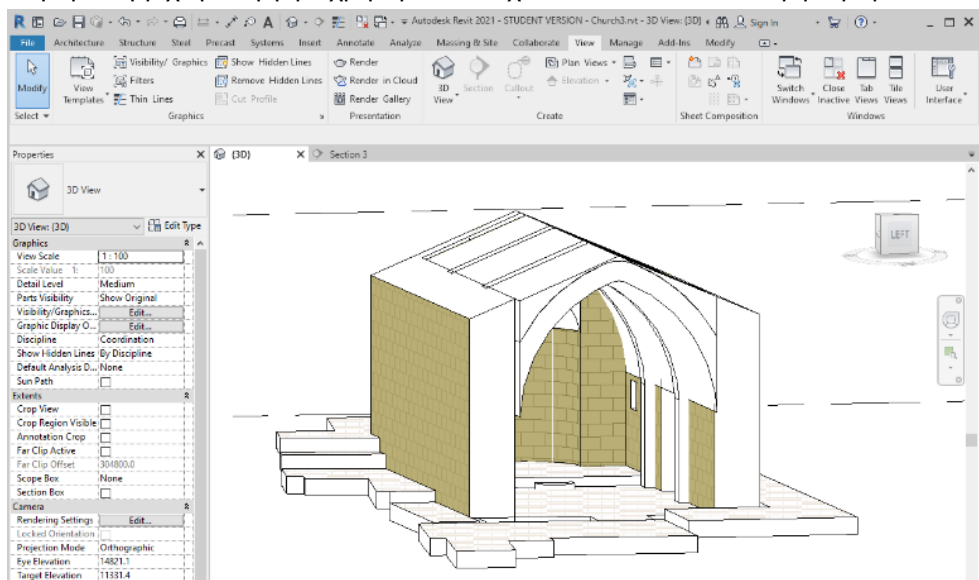
Για τις τοιχοποιίες και τους θόλους χρησιμοποιήθηκε το στοιχείο Wall με ανάλογες διαφοροποιήσεις ως προς τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του (πάχος, ύψος, κλπ).

Η τοποθέτηση του δαπέδου έγινε με το στοιχείο Floor architectural επιλέγοντας την κατάλληλη οικογένεια και τροποποιώντας το κατάλληλο πάχος (τύπο), ενώ για τη θύρα και το παράθυρο χρησιμοποιήθηκαν ουδέτεροι τύποι ανοιγμάτων από την κατάλληλη βιβλιοθήκη παραμετρικών αντικειμένων.



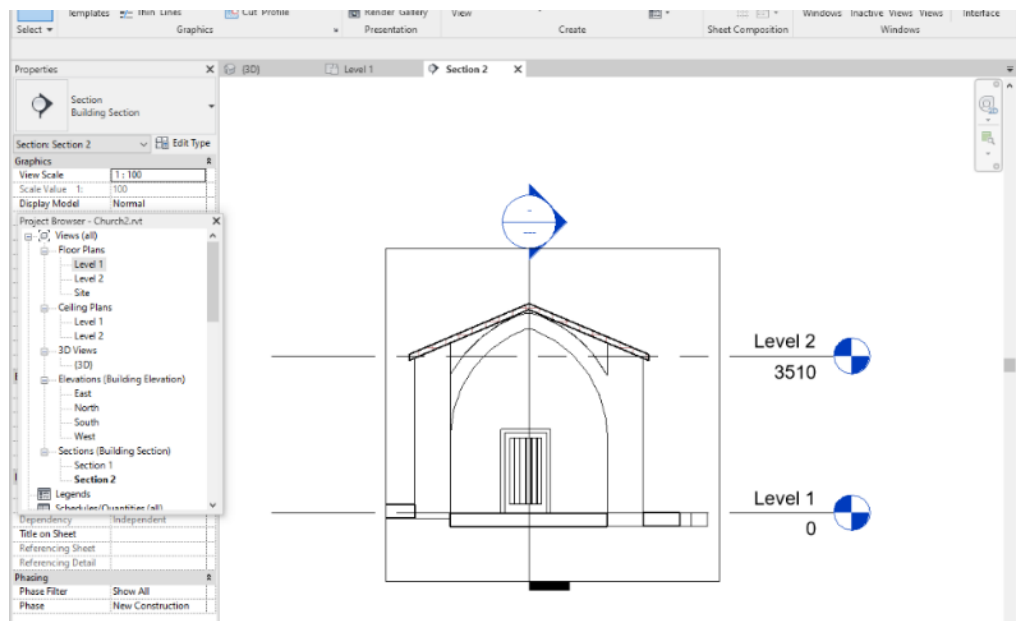
**Εικόνα 62.** Τρισδιάστατο προσομοίωμα ναού, όπου διακρίνεται η δημιουργία των περιμετρικών τοίχων με στοιχεία wall, τα ανοίγματα καθώς και το εσωτερικό δάπεδο.

Για το σχεδιασμό της στέγασης του ναού έγινε η προσομοίωση του θόλου με στοιχεία τοιχοποιίας, στη συνέχεια προσομοιώθηκε το γέμισμα των κενών εκατέρωθεν αυτού και τέλος τοποθετήθηκε δίρριχτη στέγη, με χρήση του στοιχείου Roof και επικάλυψη κεραμιδιών.

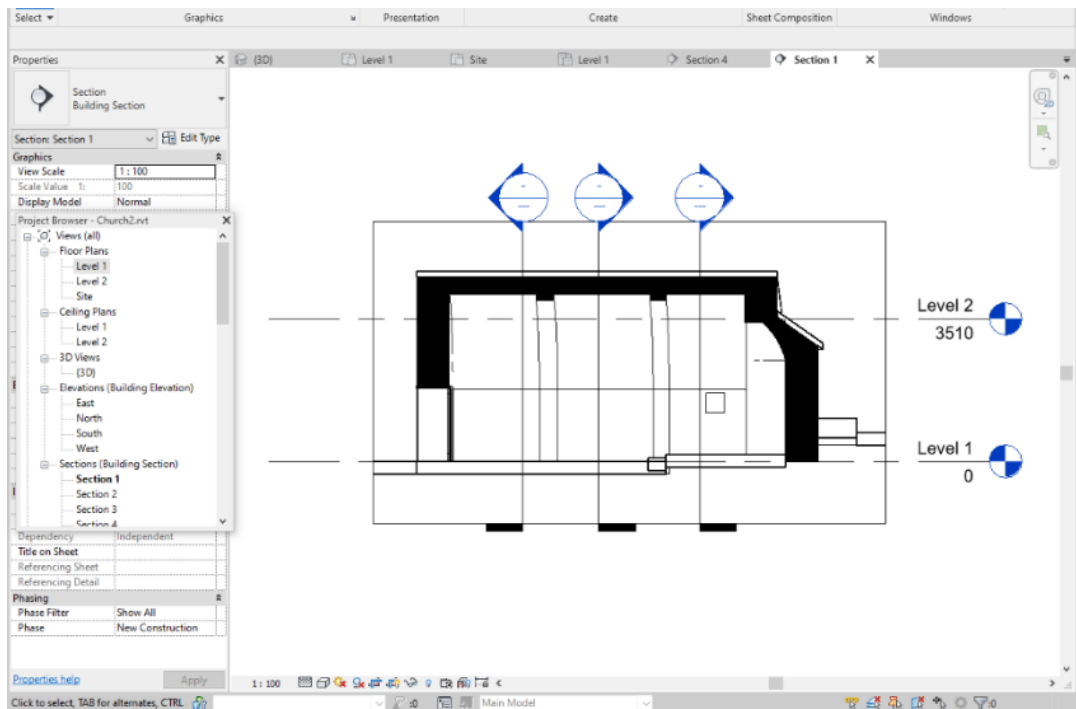


**Εικόνα 63.** Αποψη από εγκάρσια τομή ψηφιακού μοντέλου, όπου διακρίνεται η σχεδίαση των σφενδονίων και θόλων του ναού, καθώς και η προσομοίωση του υλικού γέμισματος της θολοδομίας.

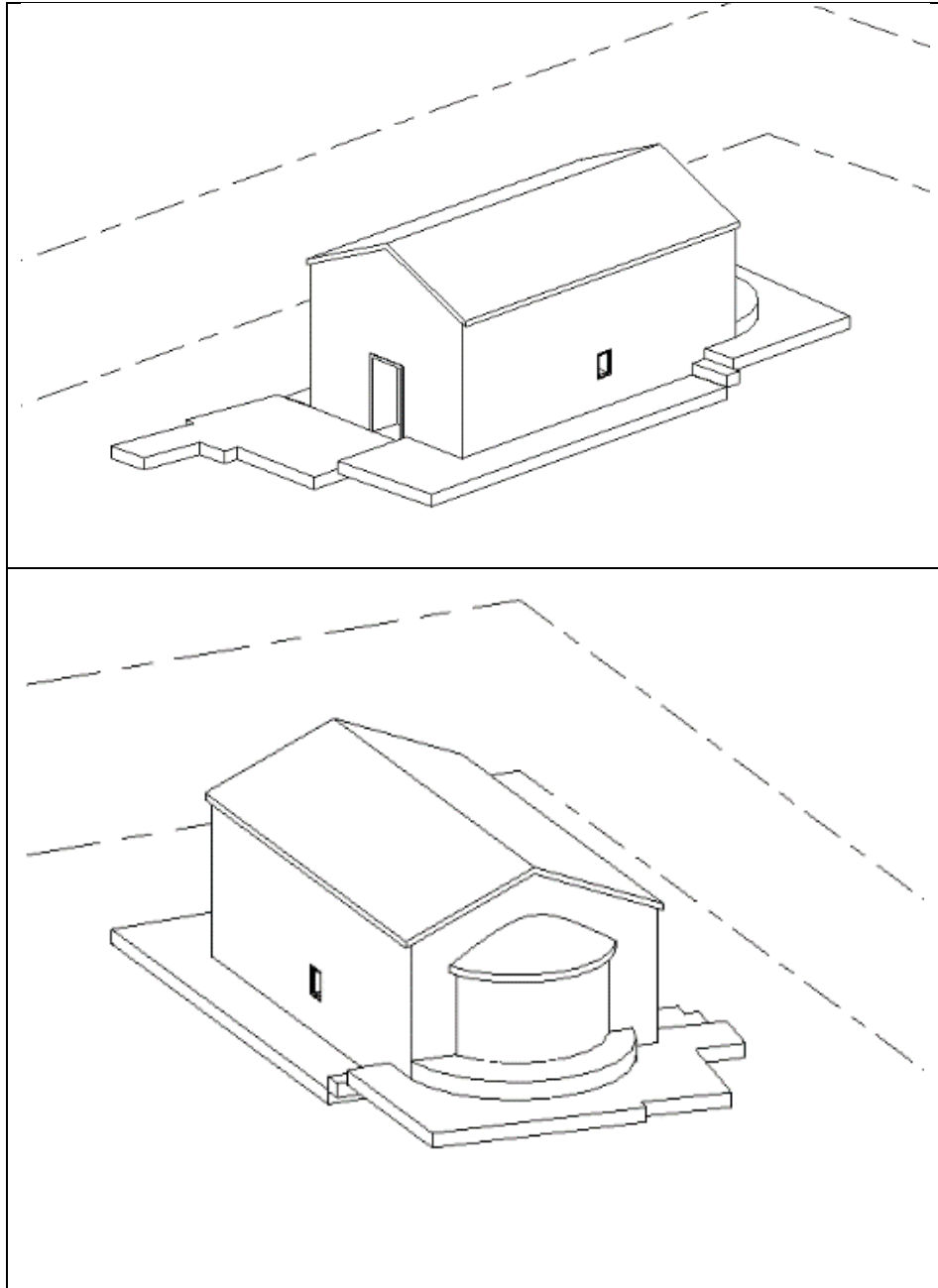
Συστηματικός εντοπισμός βλαβών και διαχείριση της πληροφορίας με χρήση ψηφιακών μεθόδων και μοντέλων δομικών πληροφοριών για ιστορικές κατασκευές (HBIM)



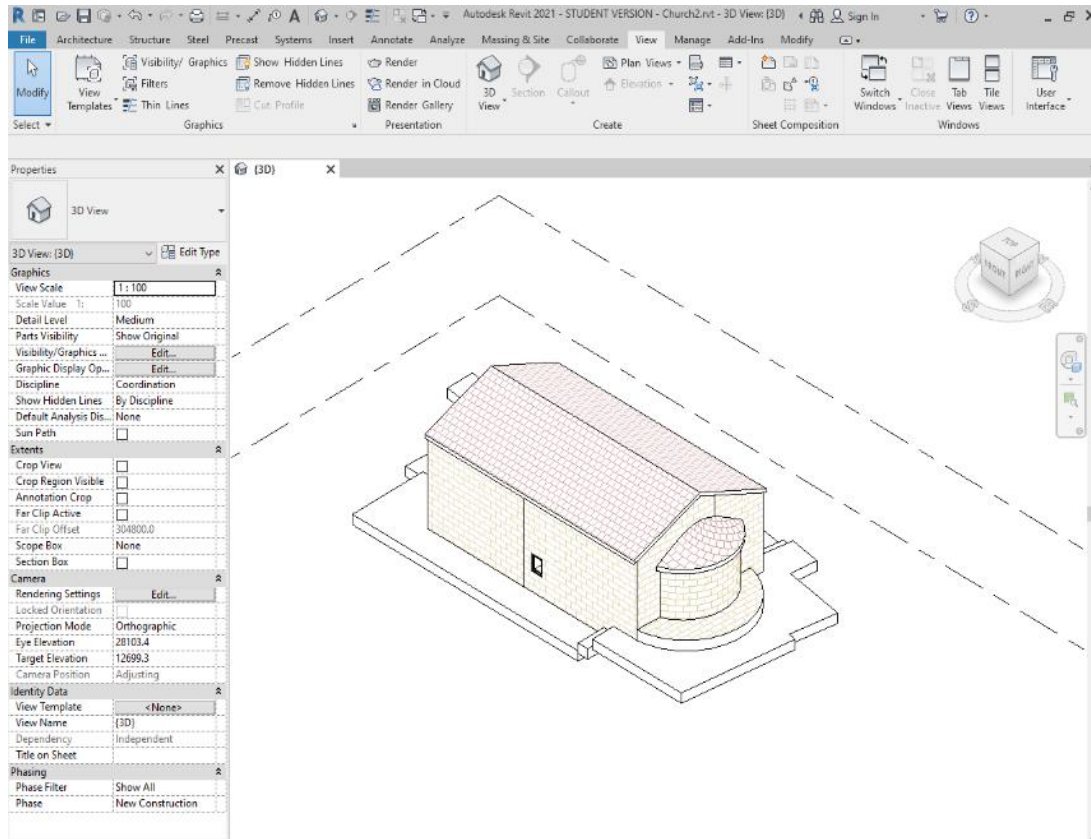
Εικόνα 64. Εγκάρσια τομή ψηφιακού μοντέλου, όπου διακρίνεται η σχεδίαση του θόλου, της δυτικής θύρας και της στέγης του ναού.



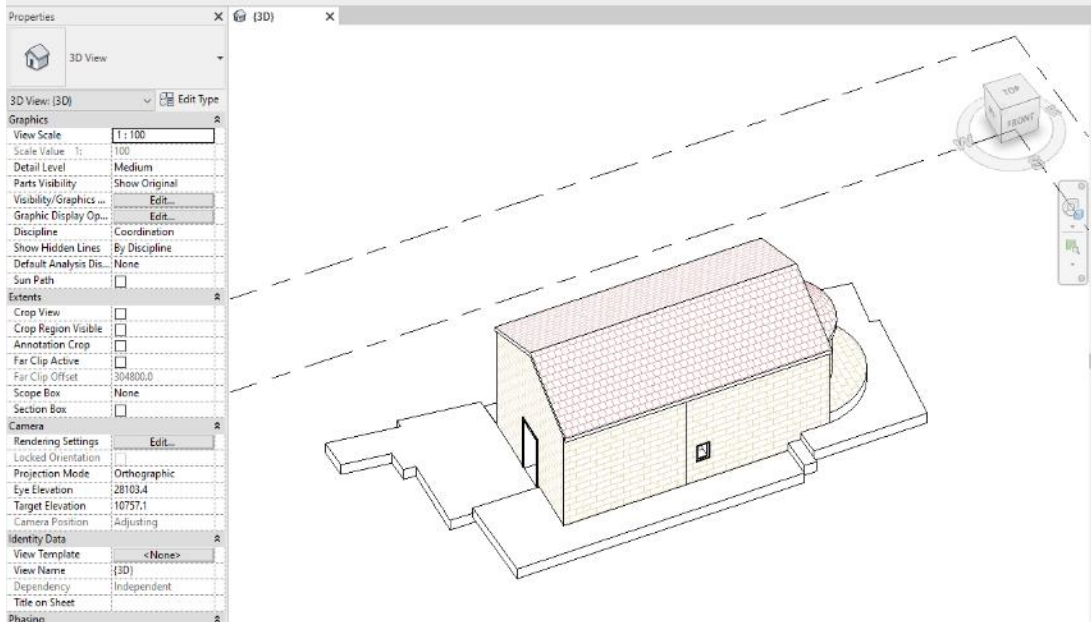
Εικόνα 65. Κατά μήκος τομή, όπου διακρίνεται η ανισοσταθμία του δαπέδου, η σχεδίαση των σφενδονιών και η θολοδομία.



**Εικόνα 66. Τρισδιάστατη απεικόνιση του ολοκληρωμένου ψηφιακού μοντέλου.**



**Εικόνα 67. Τρισδιάστατη απεικόνιση από ΒΑ του ολοκληρωμένου ψηφιακού μοντέλου, με σχηματική απόδοση των υλικών.**

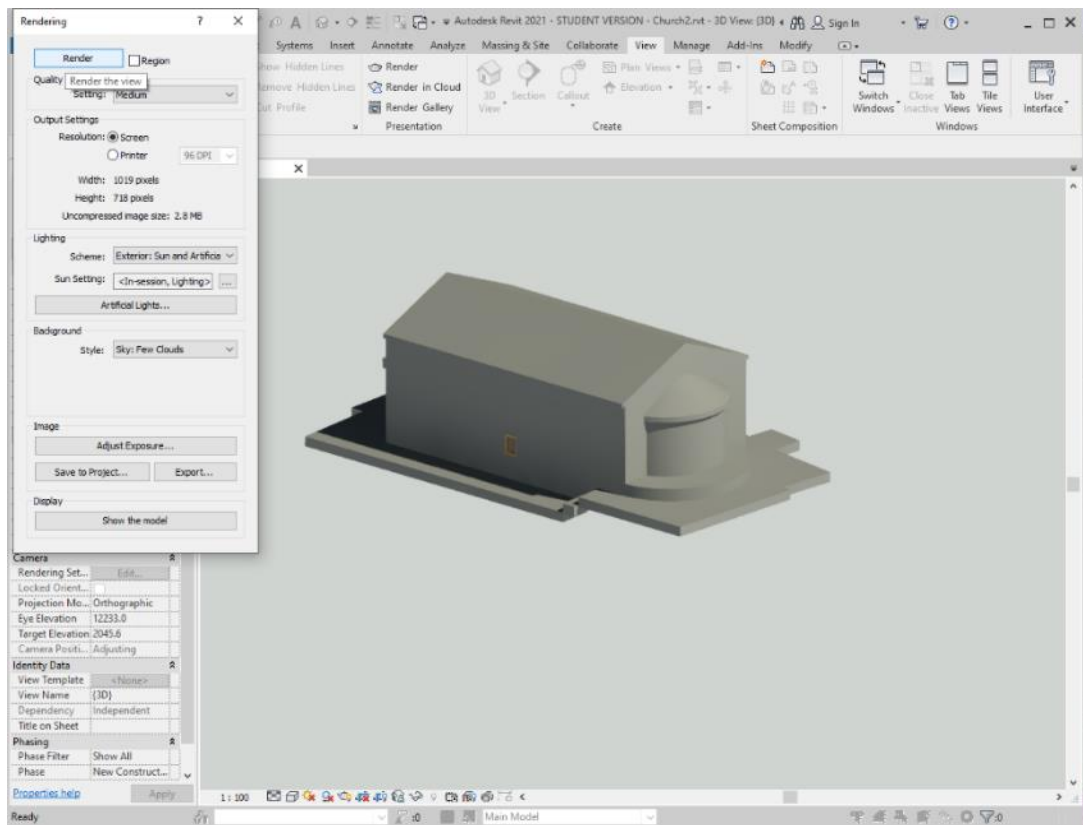


**Εικόνα 68. Τρισδιάστατη απεικόνιση από ΝΔ του ολοκληρωμένου ψηφιακού μοντέλου, με σχηματική απόδοση των υλικών.**

Παρακάτω φαίνεται το ολοκληρωμένο ψηφιακό μοντέλο του ναού, καθώς και μια πρώτη φωτορεαλιστική απεικόνισή του χρησιμοποιώντας στοιχεία από τις βιβλιοθήκες του προγράμματος. Σημειώνεται ότι για την φωτορεαλιστική απεικόνιση του τρισδιάστατου μοντέλου απαιτείται ο ορισμός υλικών (κεραμίδι, λιθοδομή, ξύλο, κλπ) και χρωμάτων στα διάφορα στοιχεία του μοντέλου και η χρήση της εντολής «απόδοση» (rendering).

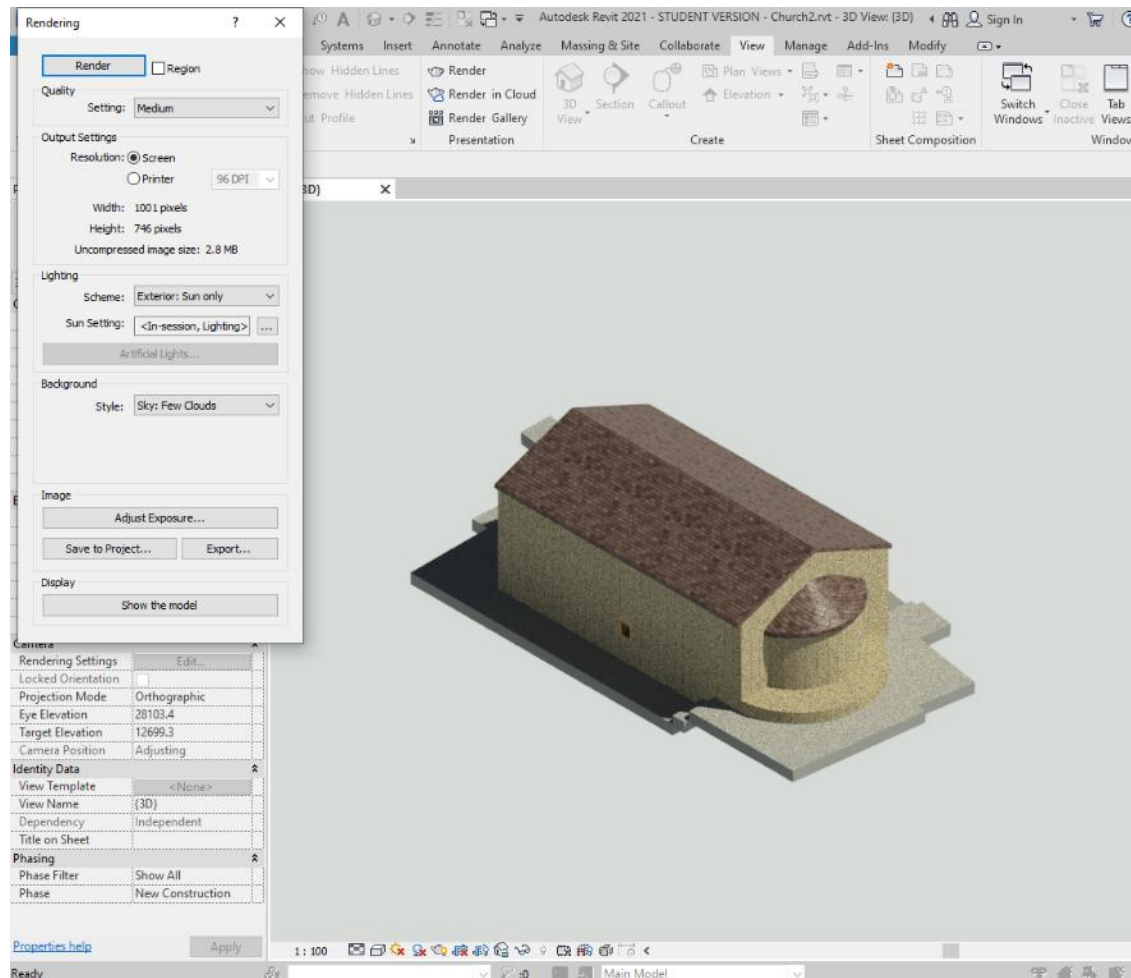
Συστηματικός εντοπισμός βλαβών και διαχείριση της πληροφορίας με χρήση ψηφιακών μεθόδων και μοντέλων

πληροφοριών για ιστορικές κατασκευές (HBIM)

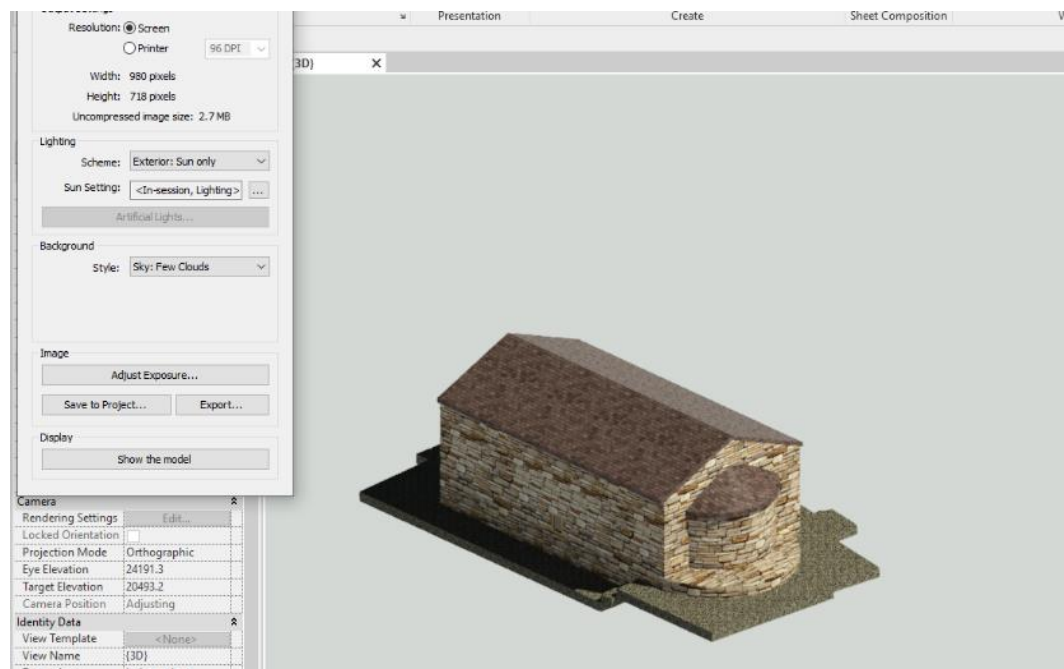


**Εικόνα 69. ΒΑ άποψη του τρισδιάστατου μοντέλου στο πρόγραμμα Revit 2021, χωρίς απόδοση υλικών.**



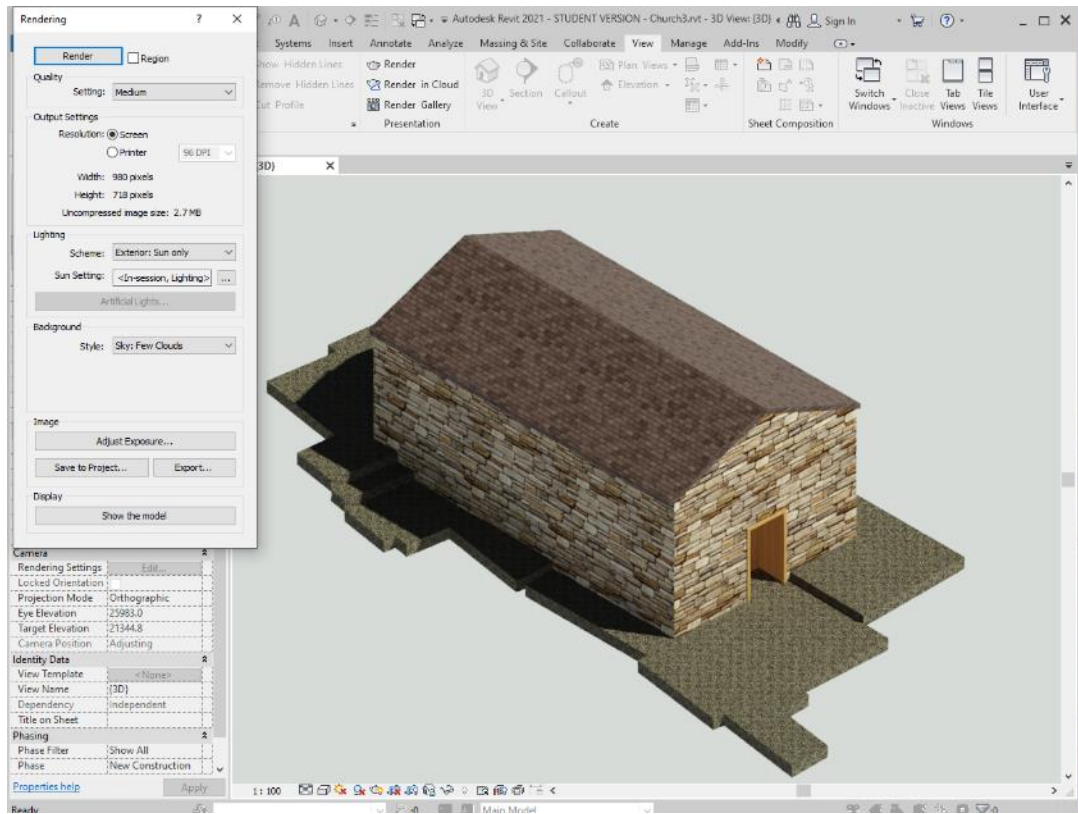


**Εικόνα 70. ΒΑ άποψη του τρισδιάστατου μοντέλου στο πρόγραμμα Revit 2021, με αρχική απόδοση υλικών.**

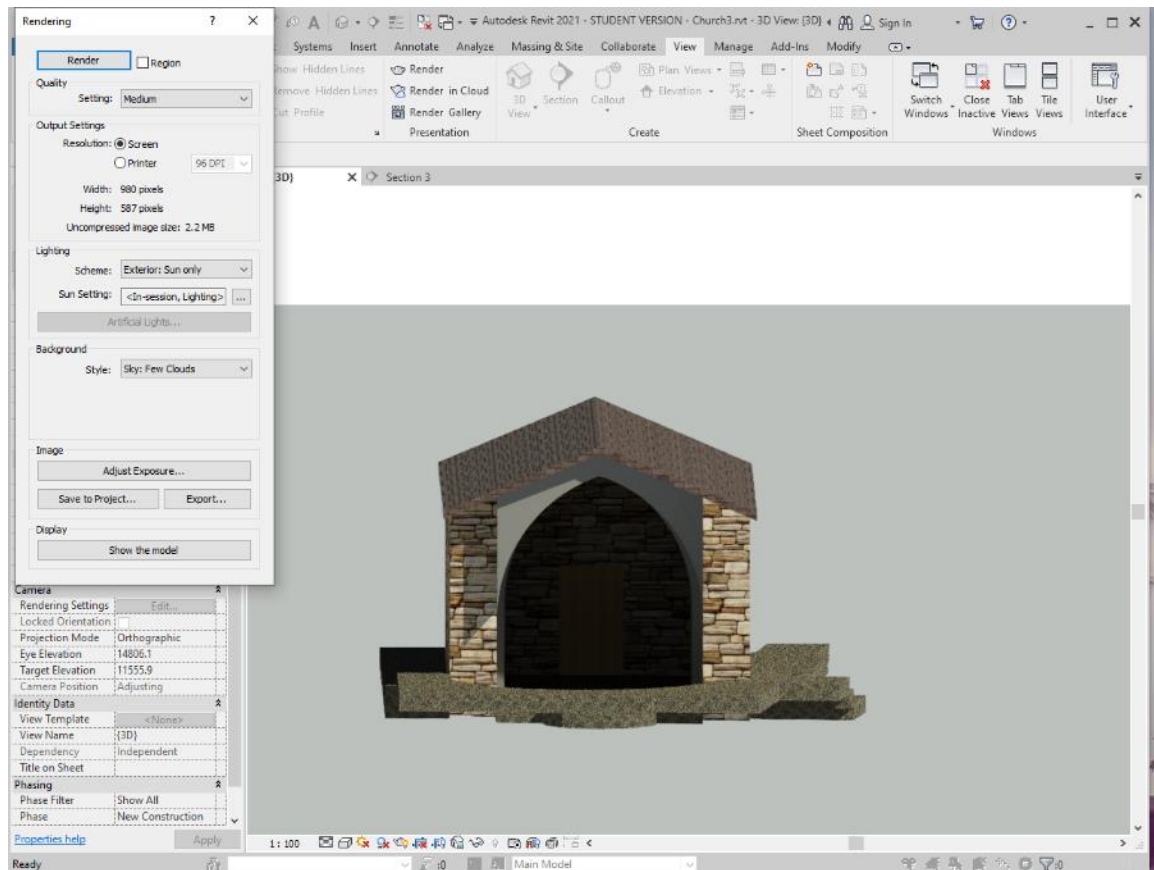


Συστηματικός εντοπισμός βλαβών και διαχείριση της πληροφορίας με χρήση ψηφιακών μεθόδων και μοντέλων δομικών πληροφοριών για ιστορικές κατασκευές (HBIM)

**Εικόνα 71. ΒΑ άποψη του τρισδιάστατου μοντέλου στο πρόγραμμα Revit 2021, με εναλλακτική απόδοση υλικών.**



**Εικόνα 72. ΝΑ άποψη του τρισδιάστατου μοντέλου στο πρόγραμμα Revit 2021, με εναλλακτική απόδοση υλικών.**



**Εικόνα 73. Εγκάρσια τομή τρισδιάστατου μοντέλου στο πρόγραμμα Revit 2021, με απόδοση υλικών.**

Όπως φαίνεται από την προσπάθεια απόδοσης ρεαλιστικής υφής, η χρήση των χρωμάτων και των έτοιμων χαρακτηριστικών που υπάρχουν στις βιβλιοθήκες του προγράμματος δεν αποδίδουν την πραγματική εικόνα του μνημείου. Για το λόγο αυτό χρειάζεται η αξιοποίηση των δεδομένων από τα ορθοφωτομωσαϊκά που όμως θα πρέπει να προσαρμοστούν κατάλληλα για να «τοποθετηθούν» εντός των επιφανειών του μοντέλου. Η εργασία αυτή δυσχεραίνεται επιπρόσθετα λόγω της ύπαρξης των γεωμετρικών αποκλίσεων της υπάρχουσας κατασκευής από το απλοποιημένο σε κάποιο βαθμό τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο, το οποίο δεν έχει λάβει υπόψη μικρές ασυμμετρίες, αποκλίσεις από την κατακόρυφο, δομικές βλάβες που επηρεάζουν την όψη του ναού (πχ αποκολλησεις επιχρισμάτων, τοπικά φουσκώματα, εκτός επιπέδου μικρές μετακινήσεις κλπ).

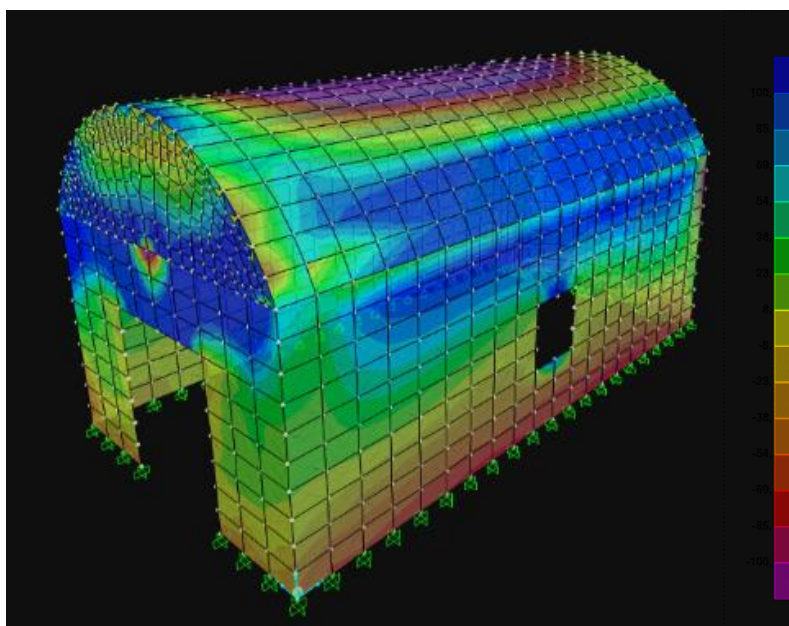
Εν τούτοις, η απόδοση των υλικών δόμησης, έστω και με σχετική ρεαλιστική ακρίβεια, μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στη διεπιστημονική συνεργασία και στη λήψη αποφάσεων κατά τη διάρκεια ενός προγράμματος αποκατάστασης, καθώς αποτελεί τη βάση για ευκολότερη επικοινωνία, οπτικοποίηση των προτεινόμενων επεμβάσεων και συνεπώς ταχύτερο και αποτελεσματικότερο σχεδιασμό.

### 5.5.3 Δυνατότητες εξέλιξης

Στο πλαίσιο περαιτέρω εξέλιξης της παρούσας εργασίας, η δημιουργία εκτεταμένης παραμετρικής βιβλιοθήκης με αξιοποίηση όλου του παραγόμενου υλικού που δημιουργήθηκε σε αυτή θα συνέβαλε στην ολιστική διαχείριση των αρχιτεκτονικών, δομικών και αρχαιολογικών στοιχείων του. Ο σχεδιασμός αυτός μπορεί να συμπεριλάβει ακόμη την προσθήκη αριθμητικών δεδομένων για το μοντέλο, όπως το εύρος των ρηγματώσεων αλλά και μη ποσοτικών στοιχείων, όπως τα αίτια εμφάνισής τους, παρέχοντας παράλληλα τη δυνατότητα διασύνδεσης με το

Συστηματικός εντοπισμός βλαβών και διαχείριση της πληροφορίας με χρήση ψηφιακών μεθόδων και μοντέλων δομικών πληροφοριών για ιστορικές κατασκευές (HBIM)

υπολογιστικό προσομοίωμα που επίσης δημιουργήθηκε στο πρόγραμμα SAP 2000 για τη δομική – στατική ανάλυση του μνημείου.



**Εικόνα 74. Υπολογιστικό προσομοίωμα πεπερασμένων στοιχείων στο πρόγραμμα SAP2000.**

Με τον τρόπο αυτό μπορεί να γίνει αξιοποίηση των αποτελεσμάτων της δομικής ανάλυσης η οποία εντοπίζει τις πιο ευάλωτες περιοχές του ναού, προκειμένου οι μηχανικοί που θα ασχοληθούν με τη διαχείριση του μνημείου να είναι σε θέση να εκτιμήσουν με σχετική ταχύτητα και ασφάλεια τυχόν περαιτέρω επιδείνωση της κατάστασης διατήρησης της κατασκευής και να προτείνουν εγκαίρως τα βέλτιστα απαραίτητα μέτρα σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης ή κινδύνου κατάρρευσης.

Παράλληλα, η εξέλιξη του σχεδιασμού περιλαμβάνει την ενσωμάτωση προτύπων μεταδεδομένων με χρήση δομημένων λεξιλογίων, ώστε η πρόσβαση στην πληροφορία να εναρμονίζεται με τα διεθνή πρότυπα και τα δεδομένα να μπορούν να αναζητηθούν και να ανακτηθούν επιτυχώς από διαφορετικούς χρήστες. Στο χώρο της Πολιτιστικής Κληρονομιάς, η εισαγωγή μεταδεδομένων σε τρισδιάστατα μοντέλα χρησιμοποιώντας την τεχνολογία του κτιριακού συστήματος πληροφοριών (BIM) παρέχει τη δυνατότητα ενσωμάτωσης εξαιρετικά ευρείας πληροφορίας που θα είναι διαθέσιμη σε όλους τους χρήστες – φορείς [53]. Στο πλαίσιο αυτό σχεδιάστηκε στο Excel μία αρχική κατηγοριοποίηση των δομικών και αρχιτεκτονικών στοιχείων του ναού σύμφωνα με το πρότυπο VRA Core 4.0 και χρήση δομημένων λεξιλογίων, κυρίως από το Getty vocabulary program. Όπως φαίνεται και από το επισυναπτόμενο φύλλο, έγινε προσπάθεια κατηγοριοποίησης της τοποθεσίας, του τύπου του μνημείου, της χρονολογίας κατασκευής του, των υλικών δόμησης, κλπ. Πρόσθετη εξέλιξη που βέβαια ξεπερνάει το σκοπό και τις δυνατότητες της παρούσας εργασίας, θα μπορούσε να αποτελέσει η αναλυτική καταγραφή - κατηγοριοποίηση των τοιχογραφιών, ως προς το θέμα, την τεχνοτροπία, και άλλα χαρακτηριστικά τους, ώστε να μπορεί ενδεχομένως να γίνει διασύνδεση των δεδομένων με παρόμοιες θεματικές άλλων ναών.

| WORK             |                 |                   |               |                   |   |
|------------------|-----------------|-------------------|---------------|-------------------|---|
| VRA Core Element | XML Element     | XML Child Element | XML Attribute | XML Child Element | DATA  |
| TITLE            | title           |                   | type          |                   | Church of St Ioannis Prodromos in Axos cited  |
| WORK TYPE        | worktype        |                   | vocab         |                   | churches (buildings)  |
|                  |                 |                   | refid         |                   | AAT<br>300007466  |
| CULTURAL CONTEXT | culturalContext |                   | vocab         |                   | unknownGreek Orthodox   |
|                  |                 |                   | refid         |                   | ULAN<br>500355123   |
| DATE             | date            |                   | type          |                   | 15th century  |
|                  |                 |                   | latestDate    |                   | creation<br>1450  |
| DESCRIPTION      | description     |                   |               |                   | Church of St. Prodromos is the best well-preserved byzantine church in the settlement of Axos. It is a single-aisled arched church with two internal stone arcs for additional structural support and a duo - pitched roof with byzantine tiles |
| LOCATION         | location        | type              | name          | type              | Crete   |
|                  |                 |                   |               | vocab             | administrative  |
|                  |                 |                   |               | refid             | Crete   |
|                  |                 |                   |               | type              | inhabited place   |
|                  |                 |                   |               | vocab             | TGN   |
|                  |                 |                   |               | refid             | 7012056   |
|                  | location        | type              | name          | type              | Axos  |
|                  |                 |                   |               | vocab             | administrative  |
|                  |                 |                   |               | refid             | Axos  |
|                  |                 |                   |               | type              | inhabited place   |
|                  |                 |                   |               | vocab             | TGN   |
|                  |                 |                   |               | refid             | 7233983   |
| MATERIAL         | material        |                   | type          |                   | masonry   |
|                  |                 |                   |               |                   | medium  |

Εικόνα 75. Χρήση μεταδεδομένων για κατηγοριοποίηση της πληροφορίας του ναού με χρήση δομημένων λεξιλογίων.

## 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η βιβλιογραφική έρευνα που διενεργήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας καταδεικνύει ότι η εφαρμογή του μοντέλου κτηριακών πληροφοριών (BIM) στη διαχείριση της Πολιτιστικής Κληρονομιάς αναπτύσσεται ολοένα και περισσότερο, προκαλώντας θετικές αντιδράσεις από τους εμπλεκόμενους φορείς, ενώ το ερευνητικό ενδιαφέρον για την εξάπλωση και βελτίωση της μεθόδου μεγαλώνει διαρκώς. Όπως αναφέρθηκε, η χρήση των μοντέλων κτηριακών πληροφοριών για ιστορικές κατασκευές (HBIM πλατφόρμα) έχει, μέσω βιβλιοθηκών, τη δυνατότητα να αποδώσει χαρακτηριστικά – πληροφορίες στα επιμέρους μέλη ενός ψηφιακού ομοιώματος, αλλά παράλληλα παρέχει τη δυνατότητα για ορισμό νέων χαρακτηριστικών, όπως για παράδειγμα η αυθεντικότητα. Η δομή της βάσης δεδομένων επιτρέπει την «κίνηση» από το γενικό στο ειδικό και αντίστροφα σε οποιαδήποτε αναζήτηση – έρευνα για την κάθε ιστορική κατασκευή, καθώς και την αντίστοιχη κατηγοριοποίηση – ταξινόμηση των αποτελεσμάτων.

Εν τούτοις, τα δύο βασικότερα προβλήματα που αναδεικνύονται στην εφαρμογή των λογισμικών BIM σε κατασκευές της πολιτιστικής κληρονομιάς είναι αφενός η έλλειψη εκτεταμένων βιβλιοθηκών που να περιέχουν τις παραμέτρους για τα πολυσύνθετα αρχιτεκτονικά και δομικά στοιχεία και αφετέρου η αδυναμία αυτοματοποιημένης αναγνώρισης μελών κατά την ψηφιακή αποτύπωση των κατασκευών αυτών, γεγονός που καθιστά την εργασία αποτύπωσης και σύνθεσης του μοντέλου εξαιρετικά πολύπλοκη και επίπονη. Τα ανωτέρω έχουν ως αποτέλεσμα η τεχνολογία του BIM στον τομέα της πολιτιστικής κληρονομιάς να βασίζεται κυρίως στην πράξη, χωρίς δηλαδή βασικό θεωρητικό υπόβαθρο – πλαίσιο, καθώς ο μελετητής / μελετητές κατά τη διάρκεια της εργασίας τους έρχεται αντιμέτωπος με τα πραγματικά – και όχι θεωρητικά – προβλήματα που ανακύπτουν σε κάθε περίπτωση και καλείται να τα επιλύσει.

Στην παρούσα εργασία ελήφθησαν τα δεδομένα της ψηφιακής αποτύπωσης ενός βυζαντινού ναού και με την κατάλληλη επεξεργασία του νέφους σημείων παρήχθησαν τελικά το σύνολο των σχεδίων της κατασκευής, καθώς και τα σχέδια παθολογίας του. Παράλληλα, στο πλαίσιο κατηγοριοποίησης των παραμέτρων παθολογίας μιας ιστορικής κατασκευής έγινε προσπάθεια εφαρμογής μιας περισσότερο αυτοματοποιημένης μεθοδολογίας ώστε να επιταχύνεται η διαδικασία καταγραφής και αναγνώρισης της παθολογίας και συγκεκριμένα των ρηγματώσεων ενός δομήματος. Η ακολουθούμενη συστηματική αφαίρεση των χρωμάτων (RGB) στις παραγόμενες ορθοφωτογραφίες μπορεί να αποτελέσει μια πιο γρήγορη μέθοδο καταγραφής και ανάλυσης της παθολογίας, μειώνοντας τον απαιτούμενο χρόνο των μελετητών επιτόπου του έργου, καθώς πρόκειται για εργασία που δύναται να εκτελεστεί στο γραφείο μετά την ψηφιακή σάρωση και λήψη φωτογραφιών. Η δυνατότητα αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί από τους μελετητές αλλά και από τους δικαιούχους – φορείς προστασίας των μνημείων που σε σύντομο χρονικό διάστημα θα είναι σε θέση να συλλέγουν την πληροφορία και να την επεξεργάζονται αναλυτικότερα σε δεύτερο χρόνο. Η εργασία σε δεύτερο επίπεδο προχώρησε στην παραγωγή τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου στο πρόγραμμα Revit της Autodesk με σκοπό τη μελλοντική δυνατότητα ολιστικής διαχείρισης των δεδομένων. Τα δεδομένα από την ανάλυση της παθολογίας αν και δεν ενσωματώθηκαν στο ψηφιακό μοντέλο, καθώς εντοπίζονται και σχεδιάζονται σε διδιάστατα σχέδια ενώ το μοντέλο είναι τρισδιάστατο, μπορούν εν τούτοις να αποτελούν μέρος της βάσης δεδομένων του μνημείου, ως εικόνες, ανά όψη ή δομικό μέλος, ανάλογα με το σχεδιασμό, χωρίς ωστόσο να σχετίζονται σημασιολογικά με αυτό. Σημειώνεται τέλος ότι η πληθώρα της πληροφορίας που είναι δυνατόν να κατηγοριοποιηθεί απαιτεί σωστό σχεδιασμό εξαρχής, από επιστήμονες με γνώση του αντικείμενου της αποκατάστασης, ώστε όλα τα δεδομένα να είναι εύκολα προσβάσιμα και αξιοποιήσιμα από την διεπιστημονική ομάδα εργασίας.

## 7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] “ΕΛΛΗΝΙΚΟ ICOMOS.” [Online]. Available: <https://www.icomoshellenic.gr/>. [Accessed: 06-Jul-2019].
- [2] “Ν.3028 ‘Για την προστασία των Αρχαιοτήτων και εν γένει της Πολιτιστικής Κληρονομιάς.’” 2002.
- [3] Ε. Βαγενά, “Εισαγωγή στο δίκαιο της πνευματικής ιδιοκτησίας – Ειδικότερα θέματα τεχνολογίας (Πληροφορικής και Διαδικτύου).” Παραδόσεις Μαθημάτων Π.Μ.Σ. Προηγμένα Συστήματα Πληροφορικής, Κατεύθυνση Ψηφιακός Πολιτισμός, Σχολή Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών, Τμήμα Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Πειραιά, 2018.
- [4] Μ.-Γ. Αγάθος, “Διερεύνηση πρακτικών παραγωγής και διαχείρισης μεταδεδομένων ιστορικών κτηρίων: μελέτη σχημάτων κωδικοποίησής τους,” Ιόνιο Πανεπιστήμιο. Σχολή Επιστήμης της Πληροφορίας και Πληροφορικής., 2017.
- [5] R. Thornes and J. Bold, “Documenting the Cultural Heritage,” *J. Paul Getty Trust, Los Angeles*, 1998. [Online]. Available: <http://archives.icom.museum/object-id/heritage/index.html>. [Accessed: 03-Dec-2019].
- [6] Φ. 7/Α/22-01-2018, “Οργανισμός ΥΠΠΟΑ 2018.” 2018.
- [7] Jenn Riley, *Understanding Metadata What Is Metadata* ,. NISO, 2014.
- [8] Ι. Αναγνωστόπουλος, “Διαχείριση Ψηφιακού Πολιτισμικού ΟΑ Περιεχομένου: Καλές Πρακτικές από εξωτερικό.” .
- [9] “BIM definition - Wikipedia,” 2019. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Building\\_information\\_modeling](https://en.wikipedia.org/wiki/Building_information_modeling). [Accessed: 20-May-2019].
- [10] V. Quirk, “A Brief History of BIM,” 2012. [Online]. Available: <https://www.archdaily.com/302490/a-brief-history-of-bim>. [Accessed: 28-May-2019].
- [11] C. Eastman and Others, “An Outline of the Building Description System. Research Report No. 50,” p. 23, 1974.
- [12] C. M. Eastman, *BIM handbook : a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*. Wiley, 2008.
- [13] N. Gu and K. London, “Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry,” *Autom. Constr. - AUTOM CONSTR*, vol. 19, pp. 988–999, 2010.
- [14] S. Logothetis, A. Delinasiou, and E. Stylianidis, “Building Information Modelling for Cultural Heritage: A review,” *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. II-5/W3, no. September, pp. 177–183, 2015.
- [15] M. K. Najjar, V. W. Y. Tam, L. T. Di Gregorio, A. C. J. Evangelista, A. W. A. Hammad, and A. Haddad, “Integrating parametric analysis with building information modeling to improve energy performance of construction projects,” *Energies*, vol. 12, no. 8, 2019.
- [16] S. Bruno, M. De Fino, and F. Fatiguso, “Historic Building Information Modelling: performance assessment for diagnosis-aided information modelling and management,” *Automation in Construction*, vol. 86. 2018.
- [17] S. O’Keeffe and F. Bosché, “The Need for Convergence of BIM and 3D Imaging in the Open World,” *CITA BIM Gather. 2015*, 2015.
- [18] R. Derickson and L. Cochran, “Making the wind engineer’s role more effective in urban projects: A proposed three-facet framework for enhanced success,” *12th Am. Conf. Wind Eng. 2013, ACWE 2013 Wind Eff. Struct. Communities, Energy Gener.*, vol. 2, no. June, pp. 1237–1250, 2013.
- [19] S. Alsina Saltarén, L. Gutierrez Buchelí, J. L. Ponz Tienda, and M. Sierra Aparicio,

- “Implementación de BIM en infraestructura: la necesidad de abordarlo desde el sector público,” *Build. Manag.*, vol. 2, no. 3, pp. 62–72, 2018.
- [20] I. J. Ewart and V. Zuecco, *Advances in Informatics and Computing in Civil and Construction Engineering*. Springer International Publishing, 2019.
- [21] I. Maxwell, “Integrating Digital Technologies in Support of Historic Building Information Modelling: BIM4Conservation (HBIM),” p. 50, 2014.
- [22] EUBIM Task Group, “Εγχειρίδιο Για Την Υιοθέτηση Της Μοντελοποίησης Κατασκευαστικών Πληροφοριών Από Τον Ευρωπαϊκό Δημόσιο Τομέα,” p. 84, 2016.
- [23] M. Murphy, E. McGovern, and S. Pavia, “Structural Survey Historic building information modelling (HBIM) Historic building information modelling (HBIM),” *Struct. Surv.*, 2009.
- [24] M. Murphy, “Historic Building Information Modelling (HBIM). For Recording and Documenting Classical Architecture in Dublin 1700 to 1830,” 2012.
- [25] I. Maxwell, *COTAC BIM4C Integrating HBIM Framework Report Part 2: Conservation Influences*, no. February. 2016.
- [26] ΕΜΠ, “Σημειώσεις ΔΠΜΣ ‘Προστασία μνημείων - Υλικά και επεμβάσεις συντήρησης.’” 2004.
- [27] R. Letellier, Werner Schmid, and François LeBlanc, *Recording and information management for the conservation of heritage places: guiding principles*. 2007.
- [28] R. Volk, J. Stengel, and F. Schultmann, “Building Information Modeling (BIM) for existing buildings - Literature review and future needs,” *Autom. Constr.*, vol. 38, no. October 2017, pp. 109–127, 2014.
- [29] E. Tsilimantou, E. T. Delegou, I. A. Nikitakos, C. Ioannidis, and A. Moropoulou, “GIS and BIM as Integrated Digital Environments for Modeling and Monitoring of Historic Buildings,” *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 3, p. 1078, 2020.
- [30] Μ. Τ. Ιωάννου, “Ανάπτυξη BIM για τη διαγνωστική μελέτη του εσωτερικού χώρου της Βίλλας Κλωναρίδη,” ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ, 2016.
- [31] F. Remondino and A. Rizzi, “Reality-based 3D documentation of natural and cultural heritage sites—techniques, problems, and examples,” *Appl. Geomatics*, vol. 2, pp. 85–100, 2010.
- [32] C. Aveta, M. Salvatori, and G. P. Vitelli, “The complex point cloud for the knowledge of the architectural heritage. Some experiences,” *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. - ISPRS Arch.*, vol. 42, no. 5W1, pp. 235–244, 2017.
- [33] Χ. Αναγνωστόπουλος, “Μεικτή Πραγματικότητα και Ευφυή Εικονικά Περιβάλλοντα και Ηλεκτρονικός Πολιτισμός.”
- [34] J. E. Nieto, J. J. Moyano, F. Rico Delgado, and D. Antón García, “Management of built heritage via HBIM Project: A case of study of flooring and tiling,” *Virtual Archaeol. Rev.*, vol. 7, no. 14, p. 1, 2016.
- [35] “About the Scottish Ten Project | The Engine Shed | Part of HES.” [Online]. Available: <https://www.engineshed.scot/about-us/the-scottish-ten/about-the-scottish-ten-project/>. [Accessed: 13-Apr-2020].
- [36] G. Castellazzi, A. M. D’Altri, G. Bitelli, I. Selvaggi, and A. Lambertini, “From laser scanning to finite element analysis of complex buildings by using a semi-automatic procedure,” *Sensors (Switzerland)*, 2015.
- [37] A. Mondello, R. Garozzo, A. Salemi, and C. Santagati, “HBIM for the SEISMIC VULNERABILITY ASSESSMENT of TRADITIONAL BELL TOWERS,” *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. - ISPRS Arch.*, vol. 42, no. 2/W15, pp. 791–798, 2019.



- [38] M. Lo Turco, M. Mattone, and F. Rinaudo, "Metric survey and bim technologies to record decay conditions," *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. - ISPRS Arch.*, vol. 42, no. 5W1, pp. 261–268, 2017.
- [39] E. S. Malinverni, F. Mariano, F. Di Stefano, L. Petetta, and F. Onori, "MOdelling in hbim to document materials decay by a thematic mapping to manage the cultural heritage: The case of 'chiesa della pietà' in fermo," *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. 42, no. 2/W11, pp. 777–784, 2019.
- [40] C. Dore, M. Murphy, S. McCarthy, F. Brechin, C. Casidy, and E. Dirix, "Structural simulations and conservation analysis-historic building information model (HBIM)," *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. - ISPRS Arch.*, vol. 40, no. 5W4, pp. 351–357, 2015.
- [41] E. S. García, J. García-Valldecabres, and M. J. V. Blasco, "The use of hbim models as a tool for dissemination and public use management of historical architecture: A review," *Int. J. Sustain. Dev. Plan.*, vol. 13, no. 1, pp. 96–107, 2018.
- [42] D. Oreni, "From 3D content models to HBIM for conservation and management of built heritage," in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 2013.
- [43] S. Fai, K. Graham, T. Duckworth, N. Wood, and R. Attar, "Building Information Modelling and Heritage Documentation," *XXIII CIPA Int. Symp. Prague, Czech Repub.*, 2011.
- [44] L. Fregonese *et al.*, "Survey and modelling for the bim of Basilica of San Marco in Venice," in *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 2017, vol. 42, no. 2W3.
- [45] Y. Arayici, J. Counsell, L. Mahdjoubi, G. Nagy, S. Hawas, and K. Dewidar, *Heritage building information modelling*. 2017.
- [46] J. García-Valldecabres, E. Pellicer, and I. Jordan-Palomar, "BIM Scientific Literature Review for Existing Buildings and a Theoretical Method: Proposal for Heritage Data Management Using HBIM," in *Construction Research Congress 2016*, 2016.
- [47] Μ. Κ. Δαφέρμου, *Η Αξός, Μυλοποτάμου Κρήτης, Ιστορία, Λαογραφία, Παραδόσεις*. Ρέθυμνο: Ο Ραδαμάνθους, 2001.
- [48] Α. Ι. Μανδαλάκη, "Αξός: ιστορία μιας κρητικής πόλης από την αρχαϊκή μέχρι την ελληνιστική εποχή," in *Ο Μυλοπόταμος από την αρχαιότητα ως σήμερα, Περιβάλλον-Αρχαιολογία-Ιστορία-Λαογραφία- Κοινωνιολογία*, Γ. Ζ. Τζιφόπουλος and Ε. Γαβριλάκη, Eds. Ρέθυμνο, 2006, pp. 187–204.
- [49] Ε. Μπορμπουδάκης, "Εργασίαι στερεώσεως Αγίου Γεωργίου Αξού," *Κρητικά Χρονικά*, vol. ΚΔ', 1972.
- [50] Χ. Μπούρας, *Η εκκλησιαστική αρχιτεκτονική στην Ελλάδα μετά την Αλωση (1453-1821)*. Αρχιτεκτονικά Θέματα 3, 1969.
- [51] Τ. Αλμπάνη, "Οι τοιχογραφίες του ναού του Αγίου Ιωάννη στην Αξό Μυλοποτάμου," in *Ο Μυλοπόταμος από την Αρχαιότητα ως σήμερα» V: Βυζαντινοί Χρόνοι, Ιστορική και Λαογραφική Εταιρεία Ρεθύμνου*, 2006, pp. 190–192.
- [52] H. England, "3D Laser Scanning for Heritage: Advice and Guidance on the Use of Laser Scanning in Archaeology and Architecture," 2018.
- [53] A. Scianna, S. Gristina, and S. Paliaga, "Experimental BIM Applications in Archaeology: A Work-Flow BT - Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection," 2014, pp. 490–498.