ePublishing
ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ
NATIONAL DOCUMENTATION CENTRE

ACAWA-GR Conference Proceedings

Vol 1, No 1 (2024)

Conservators-Restorers in a Digital Environment

Σύγχρονες τεχνικές συντήρησης και αναπαράστασης της Πολιτιστικής Κληρονομιάς μέσω νέων ψηφιακών εργαλείων τρισδιάστατης μοντελοποίησης

Θ. Ανδρουλάκη, Π. Παρθένιος

doi: 10.12681/acawa-grcp.7197

https://epublishing.ekt.gr | **e-Publisher:** EKT | **Downloaded at:** 06/02/2026 05:34:04

ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ ΜΕΣΩ ΝΕΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

Θ. Ανδρουλάκη[1], Π. Παρθένιος[2]
[1]Νέο Αρχαιολογικό Μουσείο Χανίων, Εφορεία Αρχαιοτήτων Χανίων, Σκρα 15, 731 33, Χανιά
[2]Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Πολυτεχνείο Κρήτης, Κουνουπιδιανά 731 00

Περίληψη

Τις τελευταίες δεκαετίες οι ψηφιακές τεχνολογίες εξελίσσονται συνεχώς και βρίσκουν πολλές εφαρμογές στο πεδίο της πολιτιστικής κληρονομιάς. Η εμβυθισμένη απεικόνιση, η ψηφιακή αποτύπωση και αναπαράσταση αρχαιολογικών χώρων και ευρημάτων και οι εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας είναι μόνο μερικά δυνητικά εργαλεία, διαθέσιμα για τη μελέτη του παρελθόντος.

Σήμερα στα εργαστήρια συντήρησης οι προκλήσεις για ποικίλες εφαρμογές των ψηφιακών τεχνολογιών είναι καθημερινές. Ειδικά η παραγωγή και η χρήση τρισδιάστατων μοντέλων αρχαιολογικών χώρων, μνημείων και ευρημάτων διευρύνεται συνεχώς και μπορεί να χρησιμεύσει για την αποτύπωση και προβολή τέχνεργων, για ψηφιακή περιήγηση σε μνημεία απομακρυσμένα, με δύσκολη πρόσβαση ή κατεστραμμένα· για την καταγραφή φθορών. Ειδικά στα εργαστήρια συντήρησης ενός σύγχρονου μουσείου η ψηφιακή μοντελοποίηση μνημείων και ευρημάτων είναι δυναμικό εργαλείο στην αποτύπωση της αρχικής κατάστασης, στην αποτύπωση αντικειμένων πριν την απομάκρυνση τους από την ανασκαφή, στην καταγραφή και στην αποτύπωση των εργασιών από τα στάδια συντήρησης και στην απόδοση της τελικής κατάστασης.

Στο Εργαστήριο Ψηφιακών Μέσων της Σχολής Αρχιτεκτόνων Μηχανικών του Πολυτεχνείου Κρήτης έχουν πραγματοποιηθεί σχετικές έρευνες οι οποίες στη συνέχεια εφαρμόστηκαν σε μνημεία και αρχαιολογικά ευρήματα της Εφορείας Αρχαιοτήτων Χανίων.

1. ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑ

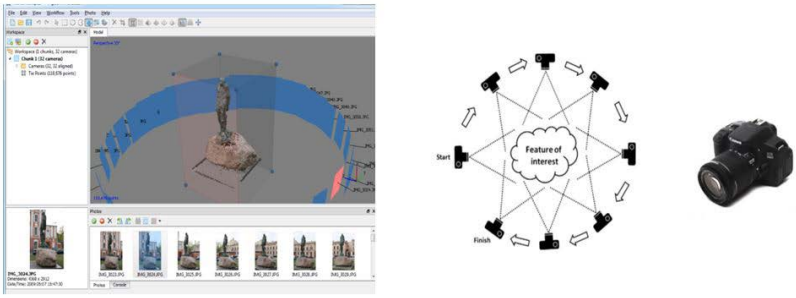
Στο πεδίο της Πολιτιστικής Κληρονομιάς οι τεχνολογίες δημιουργίας ψηφιακών μοντέλων τρισδιάστατης πραγματικότητας [1, 2, 3, 4] εξελίσσονται εντυπωσιακά και παρόλο που η απεικόνιση, με τρισδιάστατα μοντέλα αρχικά αναπτύχθηκε για εργασίες στη βιομηχανία και την ψυχαγωγία, βρίσκει σημαντικές εφαρμογές στο πεδίο της Πολιτιστικής Κληρονομιάς [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11]. Συγκεκριμένα και ειδικά στον τομέα της Συντήρησης και Αποκατάστασης τα ψηφιακά μοντέλα χώρων, μνημείων και αντικειμένων μπορούν να χρησιμοποιηθούν:

- Για καταγραφή και αποτύπωση αρχικής κατάστασης πριν την έναρξη των εργασιών αποκατάστασης
- Για καταγραφή και αποτύπωση κατά τη διάρκεια των εργασιών αποκατάστασης
- Για καταγραφή κατάστασης διατήρησης και αποτύπωση φθορών και
- Για μελέτη κατασκευής και καταγραφή τεχνοτροπίας και υλικών [12, 13, 14, 15].

2. ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΧΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΑΠΟ ΚΙΝΗΣΗ (STRUCTURE FROM MOTION TECHNIQUE)

Είναι γνωστό ότι οι τοπογραφικές εργασίες και η τοπογραφία υψηλής ανάλυσης παραδοσιακά απαιτούν εξοπλισμό με υψηλό κόστος για την απόκτηση των δεδομένων. Όμως, η

επαναστατική φωτογραμμετρικη τεχνική Δομή από Κίνηση (Structure from Motion Technique) είναι μια τεχνική χαμηλού κόστους [16], φιλική προς το χρήστη και αποτελεί ένα αποτελεσματικό εργαλείο, για εφαρμογές γεωδαιτικής καταγραφής [17, 18].



Εικόνα 1: *Η τεχνική «Δομή από Κίνηση» Structure from Motion Technique (SfM) αποτελεί δυναμικό εργαλείο για εφαρμογές Τρισδιάστατης Μοντελοποίησης αρχαιολογικών χώρων, μνημείων και ευρημάτων.*

Για την απόδοση της γεωμετρίας απαιτούνται τουλάχιστον τρεις αντιστοιχίες συντεταγμένων χώρου, εικόνας και αντικειμένου. Τα ψηφιακά αποτελέσματα αποδίδονται σε αρχεία της μορφής νέφους σημείων (points clouds). Για την παραγωγή των ψηφιακών μοντέλων απαιτούνται εργασίες στο πεδίο, αποτύπωση δηλαδή, με μη μετρικές ψηφιακές μηχανές και καταγραφή των δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν στη μοντελοποίηση. Αλλά και εργασίες στο γραφείο, την εισαγωγή δηλαδή των δεδομένων που αποτυπώθηκαν επί τόπου σε λογισμικά παραγωγής απόδοσης της γεωμετρίας του χώρου ή των αντικειμένων σε μορφή νέφους σημείων (point clouds). Η μετατροπή των δεδομένων πραγματοποιείται σε ισχυρούς υπολογιστές, με ειδικά λογισμικά μοντελοποίησης, επεξεργασίας και απόδοσης αποτελεσμάτων όπως το Agisoft Photoscan, το Reality Capture, το 3Ds Max, το Recap, το Sketchfab.

3. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΜΕΣΩΝ, ΣΧΟΛΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ, ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ, (DIGITAL MEDIA LAB, TUC)

Το εργαστήριο Ψηφιακών Μέσων της Σχολής Αρχιτεκτόνων Μηχανικών του Πολυτεχνείου Κρήτης, "Digital Media Lab", παράλληλα με τη διδασκαλία προπτυχιακών μαθημάτων, Ψηφιακών Τεχνολογιών και Αρχιτεκτονικού Σχεδιασμού, διεξάγει έρευνες που εστιάζουν σε τρεις τομείς της Σύγχρονης Αρχιτεκτονικής: την Πολιτιστική Κληρονομιά, τη Μουσική και Αρχιτεκτονική και τις Έξυπνες Πόλεις.

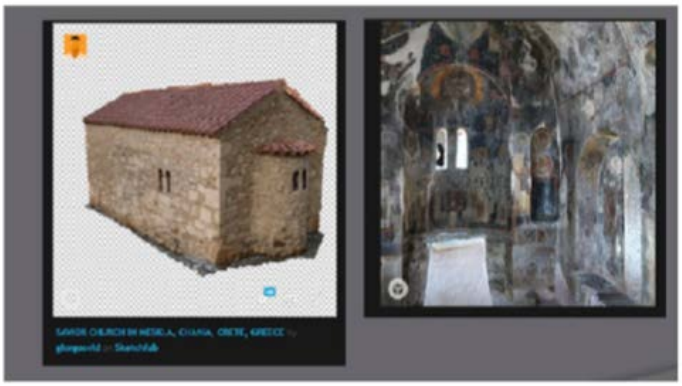
Ομάδες μεταπτυχιακών φοιτητών, κατά διαστήματα, εργάστηκαν και εφάρμοσαν στο Digital Media Lab, την τεχνική παραγωγής τρισδιάστατων μοντέλων «Δομή από Κίνηση» για τη μοντελοποίηση μνημείων του νομού Χανίων, με σταδιακή εξέλιξη των παραγόμενων αποτελεσμάτων. Έχουν μοντελοποιηθεί τρισδιάστατα το Γιαλί Τζαμισί, στο Ενετικό Λιμάνι [19] και ο τοιχογραφημένος ναός του 13ου αι. της Μεταμόρφωσης του Σωτήρα, στα Μεσκλά [20]. Τα αποτελέσματα των ερευνών έχουν παρουσιαστεί σε διεθνή συνέδρια.

3.1 Μοντελοποίηση του Ισλαμικού τεμένους Γιαλί Τζαμισί και του Ι.Ν. Μεταμόρφωσης του Σωτήρα στα Μεσκλά Χανίων

Αρχικά μοντελοποιήθηκε τρισδιάστατα το Γιαλί Τζαμισί στο Ενετικό Λιμάνι [19]. Μετά την απαιτητική φωτογραφική καταγραφή των δεδομένων ακολούθησε η παραγωγή και η επεξεργασία τριών ψηφιακών μοντέλων του μνημείου· το μοντέλο των εξωτερικών όψεων του μνημείου, το μοντέλο των εσωτερικών χώρων και ένα μοντέλο του ευρύτερου εξωτερικού χώρου.

Εικόνα 2: *Οι έρευνες του εργαστηρίου Ψηφιακών Μέσων της Σχολής Αρχιτεκτόνων Μηχανικών του Πολυτεχνείου Κρήτης εστιάζουν σε τρεις τομείς: Πολιτιστική Κληρονομιά, Μουσική και Αρχιτεκτονική και Έξυπνες Πόλεις.*

Τα τρία αυτά αρχεία μετά από επεξεργασία ενώθηκαν, ώστε να εξαχθεί το τελικό ενιαίο ψηφιακό μοντέλο του μνημείου και του εξωτερικού χώρου. Αντίστοιχες εργασίες πραγματοποιήθηκαν

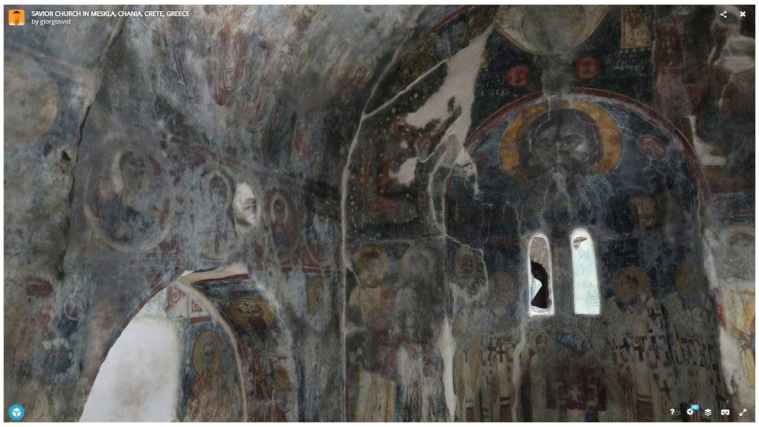


Εικόνες 3,4: *Στο DMLab εφαρμόστηκε η τεχνική SfM και μοντελοποιήθηκαν τρισδιάστατα το Γιαλί Τζαμισί στο Ενετικό λιμάνι και το τοιχογραφημένος ναός της Μεταμόρφωσης του Σωτήρα, στα Μεσκλά Χανίων.*

στον τοιχογραφημένο ναό του 13ου αι. της Μεταμόρφωσης του Σωτήρα στα Μεσκλά Χανίων [20]. Δημιουργήθηκε το ψηφιακό μοντέλο των εξωτερικών επιφανειών, της στέγης και των εσωτερικών χώρων με τον τοιχογραφικό διάκοσμο της εσωτερικής τοιχοποιίας να αποδίδεται με αρκετή λεπτομέρεια. Σημειώνεται ότι στο βυζαντινό ναό είχαν πραγματοποιηθεί πρωτύτερα εργασίες συντήρησης και αποκατάστασης από την 28η ΕΒΑ και την ΕΦΑΧ, οπότε μέσα από το ψηφιακό μοντέλο μπορεί να προχωρήσει η καταγραφή και η μελέτη παραστάσεων και κατάστασης διατήρησης. Το ψηφιακό μοντέλο του ναού είναι διαθέσιμο στο Sketchfab για εικονική περιήγηση από ειδικούς και κοινό. (https://skfb.ly/NnNR) [20,21, 22].

4. ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΕΠΙΖΩΓΡΑΦΙΣΕΩΝ ΣΕ ΕΡΓΑ ΤΕΧΝΗΣ

Σε συνεργασία με το εργαστήριο Ηλεκτρονικής της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πολυτεχνείου Κρήτης και τον καθ. Κων/νο Μπάλα, προχωρήσαμε στη μοντελοποίηση πειραματικού αντικειμένου με επιζωγραφίσεις, από εικόνες που καταγράφηκαν με κάμερα υπέρυθρου φωτός. Σκοπός ήταν η εφαρμογή της μεθόδου σε έργα τέχνης ή μνημεία για την ανίχνευση επιζωγραφίσεων. Η δοκιμή στο πειραματικό αντικείμενο ήταν επιτυχής και προχωρήσαμε σε δοκιμή μοντελοποίησης επάλληλων στρωμάτων τοιχογραφιών του Βυζαντινού ναού των Μεσκλών.

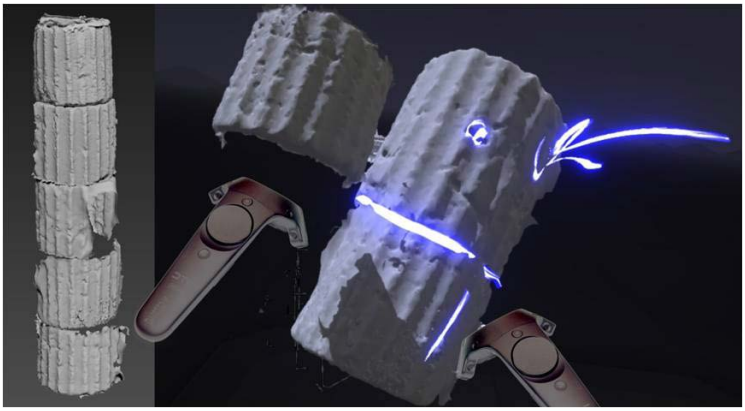


Εικόνες 5,6: *Μοντελοποιήθηκε τρισδιάστατα πειραματικό αντικείμενο με επάλληλα ζωγραφικά στρώματα και έγινε δοκιμαστική εφαρμογή στον τοιχογραφημένο ναό, των Μεσκλών, με τα επιζωγραφισμένα στρώματα τοιχογραφίας.*

Έτσι πραγματοποιήθηκε νέα επίσκεψη στο ναό της Μεταμόρφωσης του Σωτήρα με την κάμερα υπερύθρων και ανάλογο εξοπλισμό, όπου υπήρχαν ενδείξεις για επάλληλα στρώματα ζωγραφικού τοιχογραφικού διακόσμου. Οι λήψεις της κάμερας δεν κατάφεραν να αποδώσουν τη ζωγραφική σε επάλληλα στρώματα γιατί σε όλη την έκταση, ανάμεσα στις ζωγραφικές επιφάνειες παρεμβαλλόταν κονίαμα, μεταξύ των επάλληλων στρωμάτων, το οποίο δεν ήταν δυνατόν να διαπεράσει το υπέρυθρο φως [21].

5. ΑΝΑΣΥΣΤΑΣΗ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΥΡΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

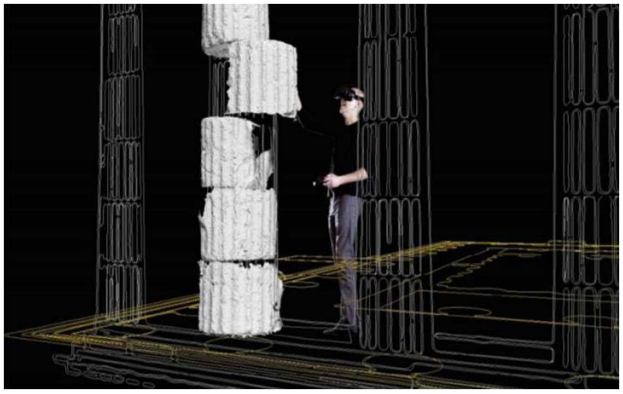
Είναι γνωστό ότι στα εργαστήρια συντήρησης η ανασύσταση αρχαιολογικών αντικειμένων αποτελεί για τους συντηρητές σύνθετη και επίπονη εργασία. Σε παγκόσμιο επίπεδο, πολλαπλές έρευνες προσπαθούν να επιλύσουν την αυτόματη συναρμολόγηση ευρημάτων από σπαράγματα. Η πλήρης αυτοματοποίηση δεν είναι ακόμα εφικτή, αλλά υπάρχει συνεχής εξέλιξη [23, 24].

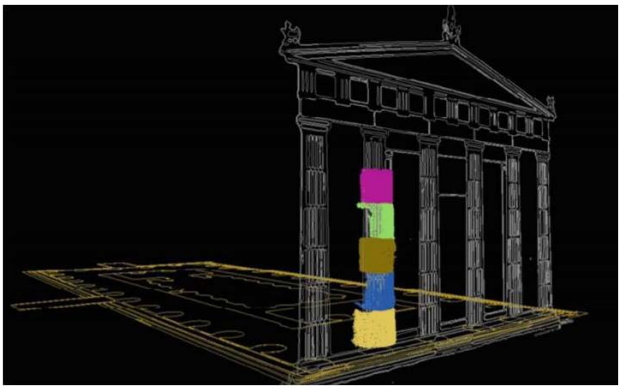


Εικόνες 7,8: *Πέντε σπόνδυλοι αρχαϊκού κίονα μοντελοποιήθηκαν με την τεχνική SfM και έγιναν ψηφιακά, η ανασύσταση και η δημιουργία ολόκληρου του κίονα και μια πιθανή αναπαράσταση του αρχαίου ναού.*

Στα πλαίσια της έρευνας μας [25, 26, 27, 28] για χρήση ψηφιακών εργαλείων στην ανασύσταση ευρημάτων, μοντελοποιήσαμε τρισδιάστατα πέντε σπονδύλους από αρχαϊκό κίονα, ευρήματα από ανασκαφή στην Πόλη των Χανίων. Οι σπόνδυλοι μοντελοποιήθηκαν με το Agisoft Photoscan, ακολούθησε η εισαγωγή των μοντέλων και τελικά η ψηφιακή ανασύσταση και η δημιουργία ολόκληρου του κίονα στο 3Ds Max. Στη συνέχεια έγιναν δοκιμές για την εύρεση

της ακριβής θέσης των σπονδύλων στον κίονα και η μετακίνηση των ψηφιακών μοντέλων έγινε σε εικονικό περιβάλλον με τα χειριστήρια του Vive VR headset της HTC. Ακολούθησε μια πιθανή σχεδιαστική ψηφιακή αναπαράσταση του ναού και της θέσης του κίονα [22].





Εικόνες 9,10: *Εφαρμογή των δυναμικών ψηφιακών εργαλείων στις αναπαραστάσεις μνημείων.*

6. ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΦΘΟΡΩΝ

Τα ψηφιακά μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποτύπωση και την καταγραφή των διαφορετικών ειδών φθοράς και της έκτασης που καταλαμβάνουν στα μνημεία. Σε έρευνα ομάδας μεταπτυχιακών φοιτητών μοντελοποιήθηκε ένα Τούρκικο Χαμάμ με ιδιαίτερα μορφολογικά και διακοσμητικά χαρακτηριστικά και πλήθος φθορών. Από το τρισδιάστατο μοντέλο χρησιμοποιήθηκαν οι όψεις των τοίχων πάνω στις οποίες δηλώθηκαν οι φθορές και οι επιφάνειες που καταλαμβάνουν. Για την αποτύπωση των φθορών χρησιμοποιήθηκαν *α.* το Autocad τηςAutodesk, όπου οι φθορές δηλώθηκαν με διαφορετικά είδη γραμμοσκίασης και *β.* το Photoshop της Adobe, όπου οι φθορές δηλώθηκαν σε επίπεδα με διαφορετικά χρώματα [29].

Εικόνα 11: *Σχεδίαση και αποτύπωση των φθορών των μνημείων σε τρισδιάστατο περιβάλλον.*

7. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΥΡΗΜΑΤΩΝ - ΕΚΘΕΜΑΤΩΝ

Το Σύνταγμα των θεών της Απτέρας, της Αρτέμιδος και του Απόλλωνα, βρέθηκε τον Ιανουάριο του 2016, συντηρήθηκε και ήταν το τελευταίο εύρημα που προστέθηκε στην έκθεση του Αρχαιολογικού Μουσείου Χανίων, στο καθολικό της Ενετικής Μονής του Αγ. Φραγκίσκου. Πριν μεταφερθεί από τα εργαστήρια συντήρησης, στην έκθεση για να παρουσιαστεί στο κοινό των Χανίων, πραγματοποιήθηκαν εργασίες πλήρους φωτογράφησης ώστε το εύρημα να μοντελοποιηθεί τρισδιάστατα. Έτσι, χρησιμοποιώντας τη Structure from Motion Technique, δημιουργήθηκε το ψηφιακό μοντέλο του Συντάγματος ακολουθώντας τη σχετική διαδικασία στο ειδικό λογισμικό μοντελοποίησης Agisoft Photoscan.

Εικόνα 12: *Οι μορφές του 3D μοντέλου των θεών της Απτέρας.*

8. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΣΕ ΕΥΡΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΦΑΧ

Οι έρευνες στα εργαστήρια του Νέου Μουσείου συνεχίζονται ανάλογα με τις περιπτώσεις των ευρημάτων και σε συνεργασία με τους αρχαιολόγους – ανασκαφείς του εκάστοτε έργου.

8.1 Αναφέρονται περιπτώσεις έρευνας σε εξέλιξη

8.1.1 Περίπτωση 1

Σε πρόσφατη ανασκαφή, ευρήματα μεγάλου μεγέθους (δαιδαλικοί πίθοι) μοντελοποιήθηκαν τρισδιάστατα πριν απομακρυνθούν από το χώρο εύρεσης. Έτσι αποτυπώνεται η λεπτομερειακή εικόνα της πραγματικότητας που χάθηκε, κατά και μετά την ανασκαφή. Στη συνέχεια τα ψηφιακά μοντέλα τοποθετούνται στα σχέδια αποτύπωσης της ανασκαφής.

8.1.2 Περίπτωση 2

Από ταφικό ανασκαφικό περιβάλλον μεταφέρεται στο εργαστήριο γύψινος νάρθηκας, με όγκο χωμάτων που στο εσωτερικό του περιέχει άγνωστο αριθμό, πολύ ευαίσθητων μικροευρημάτων. Το εύρημα μοντελοποιείται πολλές φορές κατά τη διάρκεια της μικροανασκαφής στο εργαστήριο, καταγράφοντας τη διαδικασία με επίπεδα λεπτομέρειας γεγονός που βοηθάει ιδιαίτερα στη μετέπειτα μελέτη.

8.1.3 Περίπτωση 3

Μοντελοποίηση αρχικής κατάστασης ολόκληρων ευρημάτων (π.χ. αγαλμάτων, ειδωλίων) για καταγραφή, κατάταξη και αποτύπωση φθορών.

9. ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΜΟΥΣΕΙΟΥ ΧΑΝΙΩΝ

Ολοκληρώνουμε την παρουσίαση των ερευνών με την ψηφιακή μοντελοποίηση του καθολικού της ενετικής μονής του Αγ. Φραγκίσκου που πραγματοποιήθηκε σαν προσπάθεια αποτύπωσης της ατμόσφαιρας και της αίσθησης που ανέδιδε σαν Αρχαιολογικό Μουσείο Χανίων, αφού στις 13 Σεπτεμβρίου 2020 σταμάτησε τη λειτουργία του και ξεκίνησε το μεγάλο έργο της μεταφοράς και επανέκθεσης στο νέο σύγχρονο κτίριο της Χαλέπας [30].

Εικόνα 13: *Η ψηφιακή μοντελοποίηση του καθολικού της ενετικής μονής του Αγ. Φραγκίσκου πραγματοποιήθηκε σαν προσπάθεια αποτύπωσης της ατμόσφαιρας και της αίσθησης που ανέδιδε σαν Αρχαιολογικό Μουσείο Χανίων αφού στις 13 Σεπτεμβρίου 2020 σταμάτησε τη λειτουργία του και ξεκίνησε το μεγάλο έργο της μεταφοράς και επανέκθεσης στο νέο σύγχρονο κτίριο της Χαλέπας.*

9.1 Ιστορικά

Το 1211, η Κρήτη οριστικοποιείται στα χέρια των Ενετών και θα αποτελέσει μία ενιαία διοικητική περιφέρεια με το όνομα «Βασίλειο της Κρήτης», μια κυριαρχία που θα κρατήσει μέχρι το 1669. Η βενετσιάνικη αρχιτεκτονική εκπροσωπείται επάξια με δείγματα διάσπαρτα σε όλο το νησί. Σχεδιάζονται από ενετούς αρχιτέκτονες και κατασκευάζονται: μεγάλα οχυρωματικά έργα, λιμάνια, φρούρια, δημόσια κτήρια, πλατείες, ναοί και μοναστήρια.

Ανάμεσα στα μεγάλα έργα ανοικοδόμησης των Ενετών κατασκευάζονται μονές και οι πιο μεγαλοπρεπείς ανήκαν στο Τάγμα των Φραγκισκανών, αφιερωμένες στον Άγιο Φραγκίσκο της Ασίζης. Η Μονή του Αγίου Φραγκίσκου των Φραγκισκανών ήταν ο μεγαλύτερος ενετικός ναός της πόλης των Χανίων. Στα χρόνια της Τουρκοκρατίας ο ναός του Αγίου Φραγκίσκου μετατράπηκε στο Γιουσούφ Πασά Τζαμισί οπότε προστέθηκε ο ερειπωμένος σήμερα μιναρές και η οκταγωνική κρήνη στην αυλή. Από το 1963 μέχρι το 2020 φιλοξενούσε την έκθεση του Αρχαιολογικού Μουσείου Χανίων [31].

9.2 Εργασία στο πεδίο – Καταγραφή δεδομένων

Οι εργασίες μοντελοποίησης ξεκίνησαν με τον προγραμματισμό και την οργάνωση εργασιών και βασικού εξοπλισμού, παρόλο που στην πορεία εμφανίστηκαν νέες και μεγάλες απαιτήσεις σε όλα τα επίπεδα. Παράλληλα ήταν αναγκαίο να υποβληθούν σχετικά αιτήματα στο ΥΠΠΟΑ, και να μας χορηγηθούν άδειες για τη φωτογράφηση, τη δημοσίευση και τη μελέτη, καθώς και για πτήση, μη επανδρωμένου οχήματος πάνω από το μνημείο.

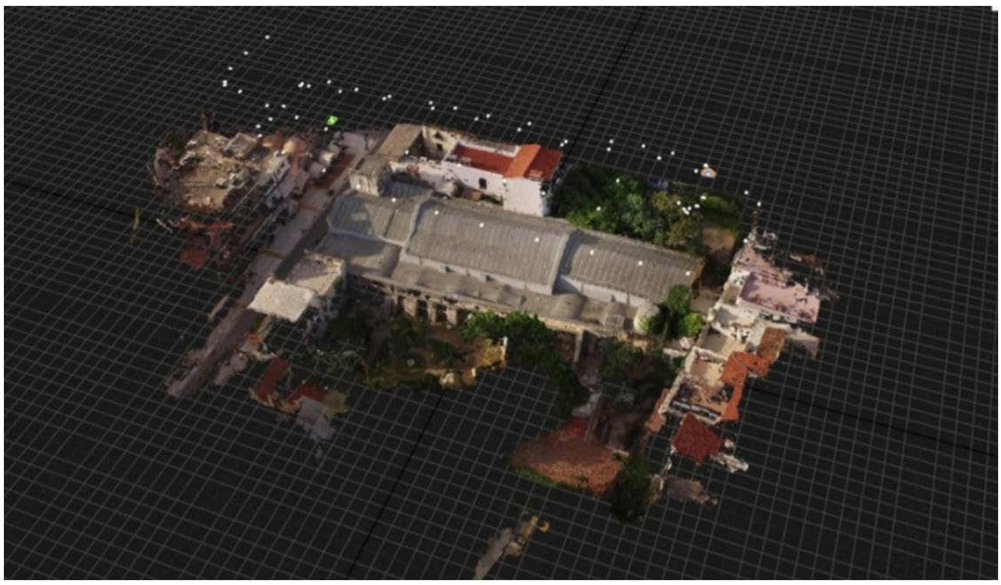
Συνοπτικά, για τη δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου, ξεκίνησε η καταγραφή των δεδομένων και χρειάστηκαν 22 επισκέψεις επί τόπου στο μνημείο, 4-5 ώρες εργασίας κάθε φορά που ολοκληρώθηκαν σε χρονικό διάστημα 18 μηνών. Αποτυπώθηκαν 7.304 λήψεις με ψηφιακή φωτογραφική μηχανή Canon EOS 700D [32] και ακολούθησε διαλογή και επιλογή των αρχείων ώστε να χρησιμοποιηθεί ικανοποιητικό πλήθος κατάλληλων εικόνων, ανάλογα με το λογισμικό μοντελοποίησης. Κατά τη φωτογραφική αποτύπωση η μεγαλύτερη δυσκολία ήταν το μεγάλο μέγεθος του μνημείου και η πολυπλοκότητα των χώρων του, παρόλα αυτά, σύμμαχος μας ήταν η θέση του μνημείου και η εύκολη πρόσβαση σ' αυτό [33, 34].

Ειδικά για τη λήψη των εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν για τη μοντελοποίηση της στέγης πραγματοποιήθηκε, πτήση εναέριου μη επανδρωμένου οχήματος (Unmanned Aerial Vehicle, UAV), τύπου DJI M100 που έφερε κάμερα Zenmuse X3 σε συνεργασία με το εργαστήριο Sense Lab της σχ. Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης και τον καθηγητή Π. Παρτσινέβελο. Η πλοήγηση της πτήσης πραγματοποιήθηκε από την οροφή ενός κτηρίου του μνημείου.

Εικόνες 14, 15: *Πτήση UAV πάνω από το Αρχαιολογικό Μουσείο για την αποτύπωση της στέγης και του περιβάλλοντα χώρου σε συνεργασία με το εργαστήριο Sense Lab της Σχολής Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης και τον καθηγητή Π. Παρτσινέβελο.*

9.3 Εργασία στο γραφείο – Επεξεργασία των δεδομένων

Το μέγεθος του μνημείου και ο μεγάλος όγκος των δεδομένων, απαιτούσαν πολλές ώρες εργασίας στο γραφείο και επεξεργασία των δεδομένων με τα λογισμικά Agisoft Photoscan και Reality Capture. Η εργασία γινόταν στο Digital Media Lab με τη χρήση διαφορετικών ηλεκτρονικών υπολογιστών που χρειαζόταν συνεχώς αναβαθμίσεις από το Ειδικό Τεχνικό Εργαστηριακό Προσωπικό του εργαστηρίου.



Εικόνα 16: *Το ψηφιακό μοντέλο του καθολικού της Ενετικής Μονής του Αγ. Φραγκίσκου – Αρχαιολογικό Μουσείο Χανίων δημιουργήθηκε για εφαρμογές εικονικής περιήγησης ειδικών και κοινού.*

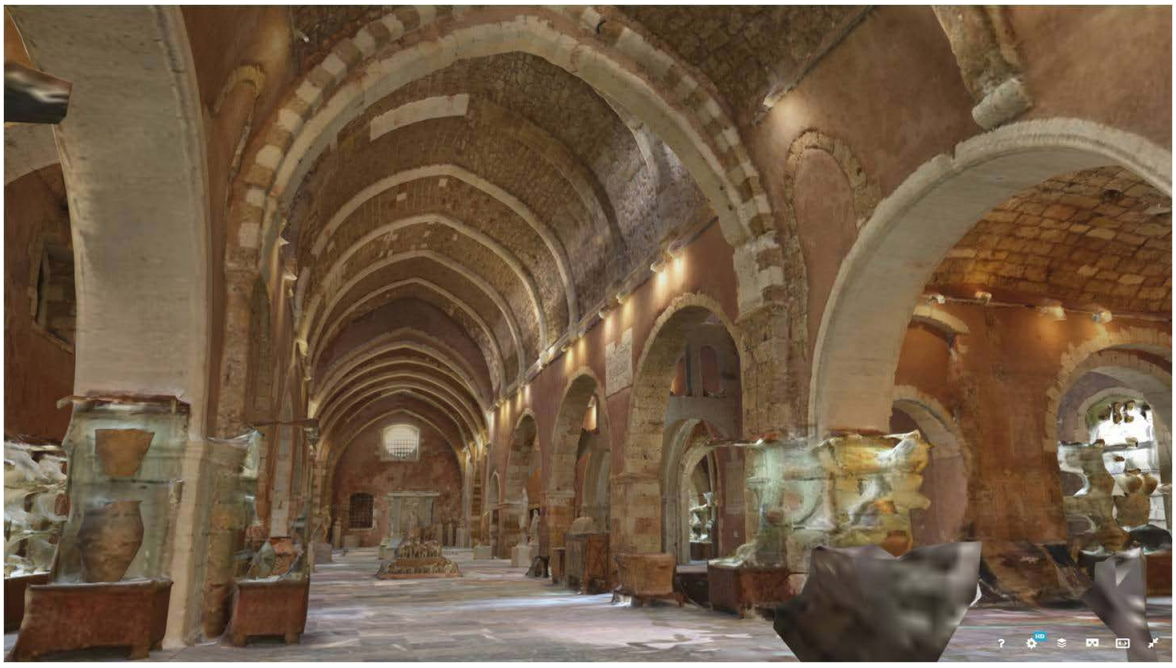
Το τελικό εικονικό μοντέλο δημιουργήθηκε μετά από μια σειρά ολοκλήρωσης από στάδια και επεξεργασίες και αποδόθηκε σε δύο μορφές απεικόνισης τη μορφή με την απόδοση του υλικού και της υφής του μνημείου (Textured Model) και τη μορφή του νέφους σημείων (point cloud).

Εικόνα 17: *Πιλοτική Εικονική Περιήγηση στο 3D μοντέλο του Αγ. Φραγκίσκου-Αρχαιολογικού Μουσείου Χανίων, στο Digital Media Lab, ARCH TUC.*

Μέχρι στιγμής η πιλοτική εικονική περιήγηση, στο ψηφιακό μοντέλου του Αγ. Φραγκίσκου, μπορεί να πραγματοποιηθεί με ειδικό εξοπλισμό και σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο του εργαστηρίου Ψηφιακών Μέσων, της Σχολής Αρχιτεκτόνων Μηχανικών. Το ψηφιακό μοντέλο του μνημείου μεταφορτώθηκε στη πλατφόρμα περιήγησης Sketchfab (https://sketchfab.com/3d-models/amx-final-point-cloud-c7334bc15b5644acb2040e4d061c9bef) και με το σύστημα εικονικής πραγματικότητας VIVE HTC, ο χρήστης χρησιμοποιώντας τα τηλεχειριστήρια μπορεί να περιηγηθεί στο χώρο της έκθεσης και στη βόρεια αυλή του Αρχαιολογικού Μουσείου Χανίων.

Εικόνα 18: *Αρχαιολογικό Μουσείο Χανίων_Final_Point Cloud_Model.*
https://sketchfab.com/3d-models/amx-final-point-cloud-c7334bc15b5644acb2040e4d061c9bef

Το τελικό εικονικό μοντέλο δημιουργήθηκε μετά από μια σειρά ολοκλήρωσης από στάδια και επεξεργασίες και αποδόθηκε σε δύο μορφές απεικόνισης : τη μορφή με την απόδοση του υλικού και της υφής του μνημείου (Textured Model) και τη μορφή του νέφους σημείων (point cloud).



Εικόνα 19: *Αρχαιολογικό Μουσείο Χανίων_ Final_Textured_Model.*

10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η συντήρηση και η αποκατάσταση των αρχαιολογικών ευρημάτων περιλαμβάνουν ενέργειες και επιλεγμένες επιστημονικές μεθόδους και υλικά με στόχο τη διατήρηση των αντικειμένων της πολιτιστικής κληρονομιάς στην καλύτερη δυνατή κατάστασή τους για τις μελλοντικές γενιές. Η πλειοψηφία των συντηρητών που εργάζονται για την αποκατάσταση και τη συντήρηση των ευρημάτων εργάζονται σε οργανωμένα εργαστήρια με σύγχρονο εξοπλισμό και εξελίσσουν συνεχώς τις γνώσεις τους.

Παράλληλα τα νέα ψηφιακά εργαλεία και ειδικά οι τεχνολογίες τρισδιάστατης μοντελοποίησης εξελίσσονται συνεχώς και βρίσκουν πολλές εφαρμογές στο πεδίο της πολιτιστικής κληρονομιάς. Ειδικά στα εργαστήρια συντήρησης ενός σύγχρονου μουσείου η ψηφιακή μοντελοποίηση αρχαιολογικών χώρων, μνημείων και ευρημάτων μπορεί να αποτελέσει πολύ δυναμικό και απαραίτητο εργαλείο σε πολλές εργασίες, όπως στην αποτύπωση της αρχικής κατάστασης, στην αποτύπωση αντικειμένων πριν την απομάκρυνση τους από την ανασκαφή, στην καταγραφή και στην αποτύπωση των εργασιών από τα στάδια συντήρησης και στην απόδοση της τελικής κατάστασης.

11. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε για τη συνεργασία και τη συμβολή τους στις έρευνές μας:

- τους καθηγητές του Πολυτεχνείου Κρήτης κ. Π. Μαραβελάκη, κ. Κ. Μπάλα και κ. Π. Παρτσινέβελο.
- το ειδικό τεχνικό προσωπικό του Digital Media Lab Μ. Σολινταδάκη και Π. Μπουράκη.
- τους μεταπτυχιακούς φοιτητές. Μ. Ανδρουλάκη, Γ.Βιδάλη, Γ-Ι. Ιγγλεζάκη, Ε. Γεραιουδάκη, Γ. Χατζηδάκη, Μ. Μπούρα, Ε. Σπύρου, Τ. Διγαλάκη.

Ιδιαίτερα ευχαριστούμε την Προϊσταμένη της ΕΦΑ Χανίων, Δρ. Ελ. Παπαδοπούλου που μας επιτρέπει τις έρευνες και την εφαρμογή τους σε μνημεία και ευρήματα της περιοχής των Χανίων.

12. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Cameron F., Kenderdine S., Theorizing Digital Heritage. A Critical Discourse. Cambridge, MA: the MIT Press, 2010.

[2] Museums in the Digital Age, ARUP

[3] Museums in the Digital Age. Museums and the Development of Active Citizenship, NEMO 21st Annual Conference Documentation Bucharest, Romania, November 2013

[4] Maravelakis E. et al., Lessons learned from Cultural Heritage Digitization Projects in Crete, Digital Heritage Proceedings of the 14th International Conference on Virtual Systems and Multimedia, VSMM 2008

[5] Πούλιος Ι. κ.α., Πολιτιστική Διαχείριση, Τοπική Κοινωνία και Βιώσιμη Ανάπτυξη, 2015.

[6] Cosmas J., Itegaki T., Green D., Grabczewski E., Weimer F., Van GoolL., ZalesnyA, Vanrintel D., Leberl Fr., Grabner M., Schindler K., Karner K., Gervautz M., Hynst St.,Waelkens M., Pollefeys M., DeGeest R., Sablatnig R., Kampel M., 3D MURALE: A Multimedia System for Archaeology, Proceedings of the Conference on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage, p.297-306, (2001).

[7] De Reu J., De Smed Ph., Herremans D., Van Meirvenne M., Laloo P., and De Clercq W., On introducing an image-based 3D reconstruction method in archaeological excavation practice, Journal of Archaeological Science 41, p.251-262, (2014).

[8] El-Hakim S.F., Beraldin J-A., Detailed 3D Reconstruction of Monument Using Multiple Techniques, ISPRS-CIPA Workshop, Corfu, Greece, Sept. 1-2, (2002).

[9] Pujol L., Archaeology, museum and virtual reality Digit HVM. Revista Digital d' Humanitats, ISSN: 1575-2275 No 6, (2004)

[10] Roussou M., Immersive Interactive Virtual Reality in the Museum. Foundation of the Hellenic World, Athens, Greece, (2001).

[11] Roussou M., Virtual Heritage: from the Research lab to the Broad Public, Foundation of the Hellenic World, Athens, Greece, (2014).

[12] Γιαννακίδης Α., Οι ψηφιακές τεχνολογίες ως εργαλεία στη διάθεση της τοπικής κοινωνίας, 2015.

[13] Μαραγδούλη Φ., Προσωποποιημένοι Τουριστικοί Ψηφιακοί Οδηγοί σε Αρχαιολογικά Περιβάλλοντα. Μελέτες περιπτώσεων εφαρμογής των Συστημάτων Κινητής και Φορητής Επαυξημένης Πραγματικότητας. Πανεπιστήμιο Αιγαίου, τμήμα Μηχανικών σχεδίασης προϊόντων και συστημάτων, Διπλωματική εργασία, 2011

[14] Bila Z., Reznicek J., Pavelka K.,2013, Range and Panoramic Image Fusion Into a Textured Range Image For Cultural Heritage Documentation, ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume II-5/W1, 2013 XXIV International CIPA Symposium, 2 – 6 September 2013, Strasbourg, France

[15] Bruno F., Bruno St., De Sensi G., Luchi M-L, Mancuso St., Muzzupappa M., From 3D reconstruction to virtual reality: A complete methodology for digital archaeological exhibition. Digital Heritage, Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation and Protection, 6th International Conference, EuroMed 2016, Nicosia, Cyprus, October 31- November 5, Proceedings, Part I (2016).

[16] Hilfert Th. And König M., Low-cost virtual reality environment for engineering and construction Visualization in Engineering a SpringerOpen Journal, (2016) (DOI 10.1186/s40327-015-0031-5)

[17] Βουρεξής Φ., Διερεύνηση Ακριβούς Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης Μνημείων με Χαμηλό Κόστος: Εφαρμογή στο Γιοφύρι της Καρύταινας, Μεταπτυχιακή Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, 2016.

[18] Parthenios P., Peteinarelis A., Lousa S., Efraimidou N., 2015. Three modes of a monument's 3D Virtual Reconstruction. The case of GialiTzamisi in Chania, Crete, Digital Heritage International Congress, Granada, Spain, pp. 75-78, (2015). (DOI: 10.1109/ DigitalHeritage.2015.7413838 Conference: 2015 Digital Heritage)

[19] Parthenios P., Androulaki, Th., Gereoudaki E., Vidalis G., Combining Structure from Motion Techniques with low cost equipment for a complete 3D reconstruction of a 13th century church, Proceedings 8th International Congress on Archaeology, Computer Graphics, Cultural Heritage and Innovation, 5-7 September, Campus de Vera, UniversitatPolitecnica de Valencia, Valencia, Spain, (2016).

[20] KerstenT. P., Büyüksalih G., Tschirschwitz F., Kan T., Deggim S., KayaY., Baskaraca A. P., The Selimiye Mosque of Edirne, Turkey – an immersive and interactive Virtual Reality experience using HTC VIVE, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-5/W1, 2017 Geomatics& Restoration – Conservation of Cultural Heritage in the Digital Era, 22–24 May, Florence, Italy, (2017).

[21] Παρθένιος Π. Ανδρουλάκη Θ., Γερεουδάκη Ε., Βιδάλης Γ., Τρισδιάστατη ψηφιακή απεικόνιση μνημείων με χρήση απλής ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής και ειδικού λογισμικού. Οι περιπτώσεις τρισδιάστατης μοντελοποίησης του Γιαλί Τζαμισί στο Ενετικό λιμάνι των Χανίων και του Ι.Ν. της Μεταμόρφωσης του Σωτήρα στα Μεσκλά Χανίων, Αρχαιολογικό Έργο Κρήτης, Πρακτικά 4ης Συνάντησης, Ρέθυμνο, 2016.

[22] Παρθένιος Π. Ανδρουλάκη Θ., Ειδικές εφαρμογές των ψηφιακών τεχνολογιών στις εργασίες συντήρησης και αποκατάστασης της πολιτιστικής κληρονομιάς Αρχαιολογικό Έργο Κρήτης, Πρακτικά 4ης Συνάντησης, Ρέθυμνο, 2016.

[23] Qi-Xing Huang, Flory S., Gelfand N., Hofer M., Pottmann H., Reassembling Fractured Objects by Geometric Matching, ACM Transactions on Graphics(Proc. Siggraph), Vol. 25, No.3, (2006).

[24] Zheng S.Y., Huang R.Y., Li J., Wang Z., Reassembling 3D Thin Fragments of Unknown Geometry in Cultural Heritage, ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume II-5, 2014, ISPRS Technical Commission V Symposium, 23-25 June, Riva del Garda, Italy, (2014).

[25] Papaioannou G., Karabassi E.-A., Theocharis Th., Virtual archaeologist: Assembling the past, (2001).

[26] Parthenios P., Androulaki, Th., Digital reconstruction of an archaic column using SfM, FP7-PEOPLE-ITN-DCH 608013 Final Project's Conference, Hotel Sotelia, Olimjie, Slovenia, 23-25 May 2017.

[27] Parthenios P., Androulaki, Th., Integrating structure from motion photogrammetry with virtual reality tools as a novel technique for digitally reconstructing an archaic column, CHNT 22, Vienna (2017).

[28] Parthenios P., Androulaki, Th., Exploring the possibilities of Immersive Reality tools in virtual reconstruction of monuments, 1st International Conference TMM_CH, Transdisciplinary Multispectral modeling and Cooperation for the Preservation of Cultural Heritage, 2018.

[29] M. Androulaki, G. Vidalis, I.-G. Inglezakis, G. Chatzidakis, P. Maravelaki, P. Parthenios Documenting and visualizing deterioration of monuments on a 3D environment, Projection of 2D documentation drawings on a 3D SfM model, CHNT 24, Vienna (2019).

[30] Ανδρουλάκη Θ. Παρθένιος Π., Εικονική περιήγηση στο καθολικό της Ενετικής Μονής του Αγ. Φραγκίσκου-Αρχαιολογικό Μουσείο, στα Χανιά, Αρχαιολογικό Έργο Κρήτης, Πρακτικά 5ης Συνάντησης, Ρέθυμνο, 2019.

[31] Ανδριανάκης Μ., Η Παλιά Πόλη των Χανίων, εκδ. Αδάμ.

[32] Waldhäusl, P., Ogleby C.L. Lerma J.L., Georgopoulos A., 3 x 3 rules for simple photogrammetric documentation of architecture (1994).

[33] Remondino F., El-Hakim S., Girardi S., Rizzi A., Benedetti S., Gonzo L., 2009, 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures – The "3D-ARCH" project Proceedings of the ISPRS International Workshop 3D-ARCH 2009.

[34] Scopigno R., Callieri M., Cignoni P., Corsini M., Dellepiane M., Ponchio F., Ranzuglia G., 3D Models for Cultural Heritage: Beyond Plain Visualization, ISTI-CNR, p. 48-55, (2011).