



## Αγγίτης: 3D Ψηφιοποίηση, Μελέτη και Προβολή Παλαιοντολογικών και Αρχαιολογικών Ευρημάτων

### **Βασιλική Αργίτη**

ΠΜΣ «Εφαρμοσμένες Αρχαιολογικές Επιστήμες»  
Τμήμα Μεσογειακών Σπουδών, Πανεπιστήμιο Αιγαίου  
Σεπτέμβριος 2017

Επιβλέποντες: Επικ. Καθ. Σπύρος Βοσινάκης (Τμήμα Μηχανικών Σχεδίασης, Πανεπιστήμιο Αιγαίου) & Ερευνητής Γιώργος Παυλίδης (Ερευνητικό κέντρο Αθηνά)

Εξεταστική Επιτροπή: Καθ. Α. Ανδρέας Γεωργόπουλος (Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, ΕΜΠ) &

Καθ. Α. Ιωάννης Λυριντζής (Τμήμα Μεσογειακών Σπουδών, Πανεπιστήμιο Αιγαίου)

## Περιεχόμενα

Abstract .....	iv
Ευχαριστίες.....	v
1. Εισαγωγή.....	1
2. Τριδιάστατη Ψηφιοποίηση Πολιτιστικής Κληρονομιάς .....	4
2.1. Ψηφιοποίηση (ορισμός).....	4
2.2. Ψηφιοποίηση σε Τρεις Διαστάσεις.....	5
2.3. Πολιτιστική Κληρονομιά (ορισμός).....	7
2.4. 3Δ Τεχνολογία, πολιτισμός και αρχαιολογία .....	8
2.4.α. Πλεονεκτήματα και δυνατότητες .....	8
2.4.β. Προβληματισμοί και περιορισμοί .....	11
2.5. Ιστορική Αναδρομή.....	13
2.6. Τεχνικές.....	16
2.7. Δομή από Κίνηση (SFM) .....	21
2.8. Εφαρμογές της τριδιάστατης ψηφιοποίησης στην κεραμική .....	26
2.9. Εφαρμογές της τριδιάστατης ψηφιοποίησης στην παλαιοντολογία.....	29
3. Σπήλαιο Πηγών Αγγίτη (Μααρά).....	34
3.1. Γενικές Πληροφορίες .....	34
3.2. Ιστορικό της έρευνας.....	36
3.3. Αποτελέσματα ανασκαφικής έρευνας.....	37
3.4. Αγγεία που ψηφιοποιήθηκαν.....	38
3.5. Σφονδύλια και όστρεο που ψηφιοποιήθηκαν .....	41
3.6. Παλαιοντολογικά ευρήματα .....	41
3.6.α. <i>Equus caballus</i> (Άλογο) .....	43
3.6.β. <i>Coelodonta antiquitatis</i> (Ρινόκερος ο Δασύμαλλος).....	44
3.6.γ. <i>Megaloceros giganteus</i> (Μεγαλόκερος) .....	45
3.6.δ. <i>Ursus spelaeus</i> (Άρκτος των σπηλαίων) .....	46
3.6.ε. <i>Cervus elaphus</i> (Κόκκινο Ελάφι) .....	47
4. Τριδιάστατη ψηφιοποίηση ευρημάτων από τον Αγγίτη .....	49
4.1. Συλλογή δεδομένων .....	49
4.2. Επεξεργασία δεδομένων.....	51
4.3. Αποτελέσματα ψηφιοποίησης .....	57
4.3.α. Αγγεία.....	58
4.3.β. Σφονδύλια και όστρεο .....	62

4.3.γ. Οστά.....	63
4.4. Συζήτηση.....	82
4.4.α. Θετικά και αρνητικά σημεία κατά την εφαρμογή της SFM.....	82
4.3.β. Χρήση ψηφιοποιημένων αντικειμένων.....	87
4.4.γ. Αξιολόγηση αποτελέσματος 3D ψηφιοποίησης.....	89
5. Συμπεράσματα.....	93
Βιβλιογραφία.....	95
Κεφάλαιο 2.....	95
Κεφάλαιο 3.....	100
Κεφάλαιο 4.....	103
Πηγές εικόνων.....	103

## Abstract

The subject of this thesis is the use of a digital photogrammetry method in the digitization of archaeological and paleontological finds of the Aggitis cave, which is located in North Greece. The method of digital photogrammetry that was used is Structure from Motion and data processing was done in Photoscan Agisoft. The finds that were digitized are mainly pottery and animal bones. The pottery was discovered inside the cave and is dated in Chalcolithic Age, while the bones were discovered outside the cave and belong to animals –most of them extinct today- that lived in Late Pleistocene. In total digitized 46 finds. The aim of this study is to explore the possibilities of SFM method in two different materials like pottery and bones. At the end of this study it is clear that SFM is a very promising tool for the creation of 3d digitized models; hence, in the near future, it could be the only method of digitization in archaeological projects. The advantages of this method are the following:

- Low-cost since it is needed only a digital camera and a laptop.
- Easy-of-use because everyone who knows how to use a camera and a pc can practice with SFM.
- Extremely portable in contrast with laser-scanners and total stations.
- Modern advances of algorithms have resulted in the production of semi-automated software.

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα καταρχήν να ευχαριστήσω τη διδάκτορα αρχαιολόγο της εφορείας Παλαιοανθρωπολογίας και Σπηλαιολογίας κ. Αικατερίνη Τρανταλίδου για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε παραχωρώντας μου υλικό από το σπήλαιο των Πηγών Αγγίτη και για την πολύτιμη βοήθεια και στήριξη που μου προσέφερε σε όλα τα στάδια της μελέτης, διαθέτοντας σημαντικό μέρος του χρόνου της.

Θερμές ευχαριστίες οφείλω στον επίκουρο καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Σχεδίασης του Πανεπιστημίου Αιγαίου κ. Σπυρίδων Βοσινάκη και στον ερευνητή του Ερευνητικού Κέντρου Αθηνά κ. Γεώργιο Παυλίδη για τις επικοινωνητικές συζητήσεις πάνω σε απορίες και προβληματισμούς.

Βαθύτατες ευχαριστίες οφείλω στο φίλο και συνάδελφο Αλέξανδρο Ασλανίδη και στην αδερφή μου Σοφία Αργίτη για την πρόθυμη παραχώρηση υλικοτεχνικού εξοπλισμού, χωρίς την οποία δεν θα ήταν δυνατή η πραγματοποίηση της παρούσας εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τις φίλες και συναδέλφους Αγαθή Μπαρτσώκα και Τσαμπίκα Αφαντενού για τις πολύτιμες συζητήσεις και την αμέριστη συμπαράστασή τους κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας.

## 1. Εισαγωγή

Αντικείμενο της συγκεκριμένης εργασίας είναι η τριδιάστατη ψηφιακή αποτύπωση με τη μέθοδο Σχήμα από Κίνηση (SFM), αρχαιολογικών και παλαιοντολογικών ευρημάτων από το σπήλαιο των Πηγών Αγγίτη (σπήλαιο Μααρά).

Το σπήλαιο Πηγών Αγγίτη βρίσκεται δυτικά της πόλης της Δράμας. Μια πρώτη παλαιοντολογική έρευνα πραγματοποιήθηκε στις αρχές τις δεκαετίας του 1980 κατόπιν περισυλλογής ευρημάτων, με αποτέλεσμα τον προσδιορισμό απολιθωμένων οστών πλειστοκαινικής πανίδας. Η έρευνα, αρχαιολογική και παλαιοντολογική, συνεχίστηκε τη δεκαετία του 1990 από την Εφορεία Παλαιoανθρωπολογίας-Σπηλαιολογίας κι είχε ως αποτέλεσμα την ανακάλυψη, αφενός, δύο απολιθωματοφόρων οριζόντων με λίθινα εργαλεία πλειστοκαινικής προέλευσης εξωτερικά του σπηλαίου, κι αφετέρου, την ύπαρξη θέσης Χαλκολιθικής και Πρώιμης Εποχής του Χαλκού περιόδου εσωτερικά του σπηλαίου. Το σπήλαιο, αφού διαμορφώθηκε καταλλήλως, έγινε επισκέψιμο το 2000. Αρκετοί είναι οι επισκέπτες, που έρχονται να απολαύσουν το φυσικό τοπίο στο οποίο κυριαρχεί ο ποταμός Αγγίτης και να ενημερωθούν για τις έρευνες και τα ευρήματα εντός και εκτός του σπηλαίου.

Θέμα της συγκεκριμένης εργασίας είναι η τριδιάστατη ψηφιοποίηση μέρους των ευρημάτων που αποκαλύφθηκαν εντός (κεραμική) και εκτός (οστά ζώων) του σπηλαίου. Στόχος της ψηφιοποίησης είναι η προβολή του 3D υλικού στο διαδίκτυο, κατά βάση για εκπαιδευτικούς και επιστημονικούς σκοπούς. Η Ελλάδα σε σχέση με τις περισσότερες χώρες της Ευρώπης φαίνεται να έχει μείνει λίγο πίσω στη διάχυση πολιτιστικών αγαθών στο διαδίκτυο, εξαιτίας κυρίως των αυστηρών νόμων που ισχύουν στην προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς και των χρονοβόρων γραφειοκρατικών διαδικασιών, οι οποίες απαιτούνται για την αδειοδότηση έργων προβολής πολιτιστικών αγαθών. Κίνητρο της ψηφιοποίησης ευρημάτων από το σπήλαιο των Πηγών Αγγίτη είναι να λειτουργήσει σαν ένα παράδειγμα προς μίμηση για την πραγματοποίηση όλο και περισσότερων ψηφιοποιήσεων στον τομέα του πολιτισμού, με παράλληλη προβολή στο διαδίκτυο.

Για την πραγματοποίηση της τριδιάστατης ψηφιοποίησης επιλέχθηκε η μέθοδος Σχήμα από Κίνηση (**Structure From Motion**). Η μέθοδος αυτή θα εφαρμοστεί από έναν αρχαιολόγο χωρίς εξειδικευμένες τεχνικές γνώσεις και χωρίς οικονομική ενίσχυση, ώστε να διερευνηθούν οι δυνατότητες της μεθόδου SFM. Τα ευρήματα που

σχετίζονται με το σπήλαιο Πηγών Αγγίτη παρέχουν τη δυνατότητα, ώστε η ψηφιοποίηση να πραγματοποιηθεί σε ευρήματα που προέρχονται από δύο εντελώς διαφορετικές χρονολογικές περιόδους και διαφορετικά υλικά (κεραμική και απολιθωμένα οστά). Η κεραμική ως ανθρώπινο δημιούργημα διαθέτει απλή γεωμετρία, ενώ τα οστά ως βιολογικό υλικό χαρακτηρίζονται από την εξαιρετικά περίπλοκη δομή τους. Επιπλέον, διαθέτουν διαφορετική υφή και χρώμα. Το ερώτημα, λοιπόν, που τίθεται είναι κατά πόσο η SFM ικανοποιεί τις ιδιαίτερες ανάγκες των δύο αυτών κατηγοριών ευρημάτων, κι επομένως κατά πόσο μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποκλειστικά ως η μοναδική μέθοδος τριδιάστατης αποτύπωσης σε ένα αρχαιολογικό έργο.

Όσον αφορά στη μέθοδο Σχήμα από Κίνηση (SFM), επιλέχθηκε λόγω κόστους και λόγω ευχρηστίας. Είναι αναμφίβολα η πιο οικονομική μέθοδος τριδιάστατης ψηφιοποίησης και με την πάροδο των ετών γίνεται οικονομικότερη, εξαιτίας της εξέλιξης των φωτογραφικών μηχανών και των προσωπικών υπολογιστών. Το μόνο που χρειάζεται κανείς είναι μια φωτογραφική μηχανή και ένας προσωπικός υπολογιστής. Οποιοσδήποτε ξέρει να χρησιμοποιήσει αυτά τα δύο μπορεί να πειραματιστεί με την εφαρμογή και τις δυνατότητες της SFM.

#### Δομή και περιεχόμενο της εργασίας.

Εκτός από τα κεφάλαια της Εισαγωγής και των Συμπερασμάτων, η εργασία χωρίζεται σε τρία επιπλέον κεφάλαια και το καθένα από αυτά σε επιμέρους υποκεφάλαια. Το Κεφάλαιο 2 αναφέρεται διεξοδικά στην τριδιάστατη ψηφιοποίηση της πολιτιστικής κληρονομιάς. Αρχικά επιχειρείται να δοθεί ορισμός για την ψηφιοποίηση, τις τρεις διαστάσεις και την πολιτιστική κληρονομία, ώστε να είναι ξεκάθαρο σε τι αναφέρεται η εργασία. Στη συνέχεια, ακολουθούν γενικές πληροφορίες μαζί με τις δυνατότητες και τους περιορισμούς της 3D ψηφιοποίησης, γίνεται μια ιστορική αναδρομή της ψηφιοποίησης στον τομέα του πολιτισμού κι έπειτα αναλύονται οι διάφορες τεχνικές που εφαρμόζονται, ενώ ξεχωριστό υποκεφάλαιο αφιερώνεται στην τεχνική Σχήμα από Κίνηση, αφού αυτή εφαρμόζεται. Στο τέλος, υπάρχουν δύο υποκεφάλαια, ένα στο οποίο αναφέρονται εφαρμογές της 3D αποτύπωσης στην κεραμική κι ένα με εφαρμογές στην παλαιοντολογία. Με αυτές τις αναφορές αντιλαμβάνεται κανείς το πλαίσιο στο οποίο κινείται τα τελευταία χρόνια η 3D ψηφιοποίηση στα αντικείμενα που ενδιαφέρουν τη συγκεκριμένη εργασία.

Το Κεφάλαιο 3 αναφέρεται στο σήλαιο των Πηγών Αγγίτη. Εμπεριέχονται γενικές πληροφορίες, το ιστορικό και τα αποτελέσματα της έρευνας με ξεχωριστή αναφορά στα αρχαιολογικά και παλαιοντολογικά ευρήματα. Τα αρχαιολογικά ευρήματα, που ψηφιοποιήθηκαν, αναφέρονται ένα προς ένα, ενώ για τα απολιθωμένα οστά υπάρχουν ξεχωριστά υποκεφάλαια με πληροφορίες για το κάθε είδος ζώου από το οποίο προέρχονται.

Το Κεφάλαιο 4 περιλαμβάνει την αναλυτική περιγραφή της διαδικασίας ψηφιοποίησης των αντικειμένων της συγκεκριμένης εργασίας. Από τη συλλογή και την επεξεργασία των δεδομένων, στα τελικά αποτελέσματα της ψηφιοποίησης για κάθε ένα εύρημα ξεχωριστά.



## 2. Τριδιάστατη Ψηφιοποίηση Πολιτιστικής Κληρονομιάς

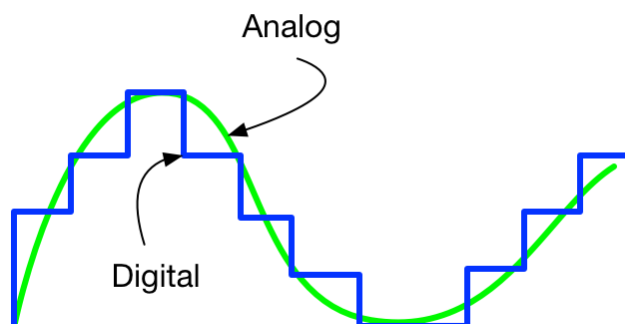
### 2.1. Ψηφιοποίηση (ορισμός)

Στο λεξικό Merriam-Webster αναφέρεται ότι η πρώτη γνωστή χρήση του ρήματος ψηφιοποιώ έγινε το 1953 (Sotirova et al. 2012: 26). Σύμφωνα με το γενικό ορισμό που έδωσε ο Lee (2001: 3), ψηφιοποίηση είναι η μετατροπή από ένα αναλογικό σήμα ή στοιχείο σε ένα ψηφιακό σήμα ή στοιχείο.

Σε αντίθεση με ένα ψηφιακό αρχείο, το οποίο δημιουργείται εξ αρχής σε έναν υπολογιστή, στην ψηφιοποίηση υπάρχει μετατροπή από ένα αρχικά αναλογικό αρχείο. Είναι σημαντικό όμως να αποσαφηνιστεί ότι η ψηφιακή αυτή αναπαράσταση δεν είναι δυνατόν να αντικαταστήσει το αρχικό αναλογικό αντικείμενο/αρχείο. Τα υπολογιστικά συστήματα βασίζονται σε ακριβείς ακολουθίες αριθμών, σε αντίθεση με τον «πραγματικό» κόσμο, ο οποίος γίνεται αντιληπτός ως μια συνεχής ροή σημάτων και περιγράφεται από κάποια συνεχή μαθηματική συνάρτηση. Για να μπορέσει λοιπόν το αναλογικό σήμα, το οποίο απαρτίζεται από ένα συνεχές και συνεχώς μεταβαλλόμενο εύρος τιμών και από τη φύση του είναι περίπλοκο, να καταγραφεί, αντιγραφεί, μεταδοθεί και αναλυθεί χρειάζεται να μετατραπεί σε μια μορφή που θα είναι απλή, προβλέψιμη και επεξεργάσιμη. Ως εκ τούτου, τα ψηφιακά σήματα βασίζονται σε διακριτές αριθμητικές τιμές (βλ.εικ.1). Ο ψηφιακός κόσμος στηρίζεται σε δυαδικό αριθμητικό σύστημα, αυτό συμβαίνει διότι τα υπολογιστικά συστήματα μπορούν να αναγνωρίσουν μόνο δύο διαφορετικές καταστάσεις, την κατάσταση στην οποία περνάει ρεύμα μέσα από ένα καλώδιο και την κατάσταση στην οποία δεν περνάει ρεύμα. Επομένως, τα μοναδικά σύμβολα που απαιτούνται για τη γραφή όλων των αριθμών είναι δύο: το 0 και το 1, γνωστά ως bits. Μια σειρά από bits που έχουν τον κατάλληλο συνδυασμό, χρησιμοποιούνται για την παράσταση όλων των μορφών δεδομένων, από κείμενα και εικόνες μέχρι βίντεο και τριδιάστατα μοντέλα (Feldman 1997, Terras 2015).

Κάτι που πρέπει να έχουμε υπόψη μας όταν επιχειρούμε να ψηφιοποιήσουμε ένα εύρημα, έργο τέχνης, μνημείο, αρχαιολογικό χώρο είναι ότι η ψηφιακή εκδοχή του όσο ελκυστική και υψηλής ακρίβειας να είναι, δεν μπορεί σε καμία περίπτωση να αντικαταστήσει το αυθεντικό πολιτιστικό αντικείμενο, διότι υπόκειται στους

περιορισμούς που επιβάλλονται από τις συνθήκες που επικρατούν κατά τη διαδικασία απόκτησης των δεδομένων (Terras 2015).



Εικ.1: Αναλογικό σήμα κι αντίστοιχο ψηφιακό.

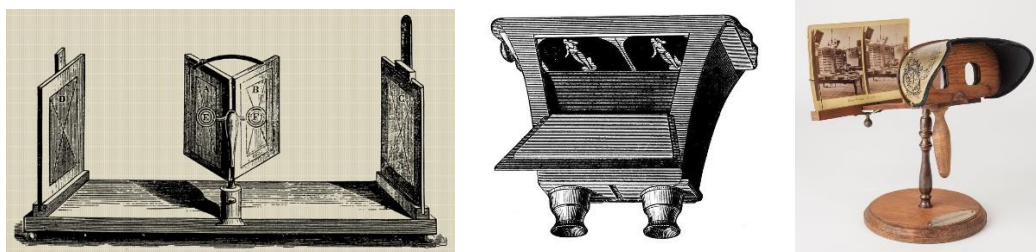
## 2.2. Ψηφιοποίηση σε Τρεις Διαστάσεις

Ο φυσικός κόσμος που μας περιβάλλει και στον οποίο κινούμαστε είναι τριδιάστατος. Ο χώρος, δηλαδή, αποτελείται από τρεις διαστάσεις (μήκος, πλάτος και ύψος). Ο ανθρώπινος εγκέφαλος συνεπώς έχει την ικανότητα να αντιλαμβάνεται τρεις διαστάσεις. Το βασικό μέσο για να το επιτύχει είναι η ανθρώπινη όραση. Αυτό επιτυγχάνεται από το γεγονός ότι κάθε μάτι βλέπει μια ελαφρώς διαφορετική εικόνα, εξαιτίας της μικρής διαφοράς της θέσης τους. Αυτή λοιπόν η διαφορετική γωνία θέασης είναι που δίνει την αίσθηση του βάθους. Επιπλέον, με τη μέθοδο του τριγωνισμού μπορεί να υπολογιστεί η απόσταση του αντικειμένου.

Σε αντίθεση λοιπόν με τον τριδιάστατο χώρο που μας περιβάλλει, μια εικόνα είναι διδιάστατη, χωρίς δηλαδή αίσθηση του βάθους. Από τη στερεοσκοπική όραση του ανθρώπινου εγκεφάλου, η επιστήμη έχει προχωρήσει στην προσομοίωση αυτής της λειτουργίας στη σύγχρονη επιστήμη των υπολογιστών. Αποτελεί μάλιστα ξεχωριστό τομέα της υπολογιστικής όρασης. Η τριδιάστατη απεικόνιση εικόνας είναι η απόδοση 3Δ εικόνας πάνω σε μια διδιάστατη επιφάνεια, δημιουργώντας την ψευδαίσθηση του βάθους. Η γενική αρχή είναι ότι χρησιμοποιεί δύο εικόνες, που έχουν τραβηχτεί με μια μικρή απόσταση μεταξύ τους. Στη συνέχεια η 3Δ εικόνα δημιουργείται, είτε δείχνοντας σε κάθε μάτι την ελαφρώς διαφορετική εικόνα, είτε το κάθε μάτι βλέπει ενοποιημένες τις δυο διαφορετικές εικόνες, που επικαλύπτονται σε ένα ποσοστό. Τελικώς, είτε με τον έναν τρόπο, είτε με τον άλλον ο εγκέφαλος συνδυάζει τις δύο εικόνες σε μία,

δίνοντας την ψευδαίσθηση του βάθους. Έτσι λειτουργεί ένα στερεοσκόπιο, που ουσιαστικά προσομοιάζει τη λειτουργία της ανθρώπινης όρασης. Πέρα όμως από τη χρήση πληροφορίας βάθους που σχετίζεται με τη στερεοσκοπία, η 3Δ δομή μπορεί να περιγραφεί με τη χρήση 3Δ συντεταγμένων, ώστε να απεικονιστεί η τριδιάστατη γεωμετρία και υφή (Παυλίδης 2016).

Ακολουθεί μια σύντομη ιστορική ανασκόπηση από το πρώτο στερεοσκόπιο μέχρι τα σύγχρονα μέσα τριδιάστατης αναπαράστασης. Ένας πρόδρομος τύπος του στερεοσκοπίου είναι εφεύρεση του Sir Charles Wheatstone το 1838, πριν καν γίνει γνωστή η φωτογραφική μηχανή. Χαρακτηριστικό είναι ότι χρησιμοποιούσε σχέδια αντί για φωτογραφίες. Το στερεοσκόπιο, αρκετά κοντά στη μορφή που το γνωρίζουμε σήμερα, είναι εφεύρεση του David Brewster στο τέλος της δεκαετίας του 1840. Το ότι έγινε όμως εξαιρετικά δημοφιλές οφείλεται σε μια στερεοσκοπική φωτογραφία της Βασίλισσας Βικτωρίας που τραβήχτηκε το 1851 από τον Jules Duboscq. Πολύ σύντομα υπήρξε μαζική παραγωγή στερεοσκοπίων και αντίστοιχων εικόνων και καρτών. Το 1861 ο Oliver Holmes δημιούργησε ένα οικονομικό στερεοσκόπιο, το οποίο ήταν και το πιο δημοφιλές για έναν περίπου αιώνα (βλ.εικ.2). Το 1939 το γνωστό, ακόμη και στις μέρες μας, View Master έκανε την εμφάνισή του, έχει ζευγάρια φωτογραφιών που γυρνούν κυκλικά με το πάτημα ενός κουμπιού.



Εικ.2: Τα στερεοσκόπια των C. Wheatstone, D. Brewster και O. Holmes.

Η βιομηχανία του κινηματογράφου δεν άργησε να δείξει ενδιαφέρον για την 3Δ προβολή εικόνων. Η πρώτη εμπορεύσιμη ταινία ήταν το 1922 «Η δύναμη της Αγάπης», όπου γίνεται μάλιστα για πρώτη φορά χρήση των γνωστών γυαλιών με ένα κόκκινο κι ένα μπλε φακό. Μετά τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο αυξάνεται η παραγωγή 3Δ ταινιών και παράλληλα εξελίσσεται και η τεχνολογία. Με την ευρεία αποδοχή που απέκτησε η 3Δ απεικόνιση κέρδισε το ενδιαφέρον της βιομηχανίας παιχνιδιών και των υπολογιστών. Το 1998 παρουσιάζεται το Wicked3D, μια εφαρμογή για 3Δ στερεοσκοπικό παιχνίδι. Ήδη τη δεκαετία του 1980 κι ακόμη περισσότερο τη δεκαετία

του 1990 εξελίσσεται η ποιότητα των γραφικών και αναπτύσσονται αλγόριθμοι αναπαράστασης. Υπάρχουν πλέον αρκετές τεχνικές για τριδιάστατη ψηφιοποίηση και πληθώρα λογισμικών τριδιάστατης μοντελοποίησης. Σήμερα, η τεχνολογία έχει φτάσει σε ένα σημείο όπου δύσκολα ξεχωρίζει κανείς μια συνθετική από μια πραγματική εικόνα, κι αυτό χάρη στην υψηλή ποιότητα της φωτορεαλιστικής απόδοσης (Crone 1992, Παυλίδης 2016).

Τέλος, μπορεί η πρώτη συσκευή Head Mounted Display να κατασκευάστηκε από την εταιρεία Philco το 1961 για στρατιωτικούς σκοπούς (Ellis 1994), σήμερα όμως η τεχνολογία έχει προχωρήσει σε συσκευές που απευθύνονται στο ευρύ κοινό, όπως το Oculus Rift VR, το οποίο προσφέρει ένα εικονικό περιβάλλον πλήρους εμβύθισης (βλ.εικ.3).



Εικ.3: Head Mounted Display της Philco και το Oculus Rift.

### 2.3. Πολιτιστική Κληρονομιά (ορισμός)

Όσον αφορά στο νομικό ορισμό, στο διεθνές δίκαιο δεν υπάρχει ένας κοινώς αποδεκτός ορισμός της έννοιας της πολιτιστικής κληρονομιάς. Στην ελληνική ιστοσελίδα της Unesco διαβάζουμε ότι «ο όρος "Πολιτιστική Κληρονομιά" αναφέρεται σε μνημεία, ομάδες κτισμάτων και χώρων με ιστορική, αισθητική, αρχαιολογική, επιστημονική, εθνολογική ή ανθρωπολογική αξία». Γίνεται επίσης αναφορά στην άυλη πολιτιστική κληρονομιά η οποία «περιλαμβάνει ζωντανές εκφράσεις και παραδόσεις αμέτρητων ομάδων και κοινοτήτων σε όλο τον κόσμο, τις οποίες έχουν κληρονομήσει από τους προγόνους τους και τις μεταδίδουν στους απογόνους τους, στις περισσότερες περιπτώσεις από στόμα σε στόμα».

Στη διεθνή ιστοσελίδα της Unesco συναντάμε πρωτίστως τη διάκριση ανάμεσα σε υλική και άυλη κληρονομιά. Στην άυλη συγκαταλέγονται οι προφορικές παραδόσεις, οι τελετουργίες και οι performing arts ενώ η υλική κληρονομιά χωρίζεται σε κινητή (ζωγραφική, αγάλματα, χειρόγραφα, νομίσματα), ακίνητη (μνημεία και αρχαιολογικοί χώροι) και υποβρύχια (ναυάγια, καταβυθισμένες πόλεις).

Αξίζει ακόμη να αναφερθεί ότι σύμφωνα με το νόμο 3028 του 2002 (ΦΕΚ Α 153/28-6-2002), «η πολιτιστική κληρονομιά της Χώρας αποτελείται από τα πολιτιστικά αγαθά που βρίσκονται εντός των ορίων της ελληνικής επικράτειας, συμπεριλαμβανομένων των χωρικών υδάτων, και περιλαμβάνει και τα άυλα πολιτιστικά αγαθά», στη συνέχεια διευκρινίζεται ότι «ως πολιτιστικά αγαθά νοούνται οι μαρτυρίες της ύπαρξης και της ατομικής και συλλογικής δραστηριότητας του ανθρώπου».

Συνοψίζοντας, μπορούμε να πούμε ότι κοινός τόπος στους παραπάνω ορισμούς είναι η έννοια της συνέχειας από τη μια γενιά στην επόμενη, απτών ή άυλων αγαθών που έχουν διαχρονική αξία.

## 2.4. 3Δ Τεχνολογία, πολιτισμός και αρχαιολογία

Η τριδιάστατη ψηφιακή αποτύπωση απαντάται πλέον σε ερευνητικούς αλλά και εφαρμοσμένους τομείς. Ξεκίνησε από τον χώρο της βιομηχανίας και της ψυχαγωγίας και τελικά αποδείχτηκε χρήσιμη σε διάφορους τομείς όπως η ιατρική και ο πολιτισμός (Scorigno et al. 2011). Η τεχνική να εφαρμόζεται υφή από φωτογραφίες πάνω στα 3D μοντέλα είχε σαν αποτέλεσμα να τραβήξει το ενδιαφέρον του τομέα της πολιτιστικής κληρονομιάς. Κι αυτό γιατί καταφέρνει να συνδυάσει τη μετρητική πληροφορία με την ποιοτική φωτογραφική αποτύπωση των αντικειμένων (Bitelli et al. 2007).

### 2.4.α. Πλεονεκτήματα και δυνατότητες

Στο χώρο της πολιτιστικής διαχείρισης η τριδιάστατη ψηφιοποίηση προσφέρει πολλές δυνατότητες. Σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους αποτύπωσης (σκαριφήματα, ημερολόγια, φωτογραφίες, σχεδιαστικές αποτυπώσεις αρχαιολογικών χώρων και μνημείων με σημείωση τις γεωγραφικές συντεταγμένες), διαθέτει ξεκάθαρα πλεονεκτήματα. Αξίζει να σημειωθεί ότι αντικείμενα μπορούν να ψηφιοποιηθούν ανεξαρτήτως μεγέθους, από πολύ μικρά ευρήματα μέχρι κτίρια και αρχαιολογικοί χώροι. Επιπλέον, όσο εξελίσσεται η τεχνολογία τόσο πιο προσιτή γίνεται. Στις μέρες

μας υπάρχουν οικονομικές συσκευές σαρωτών αλλά και αξιόπιστες μέθοδοι που βασίζονται σε φωτογραφικές τεχνικές, στις οποίες η επεξεργασία των δεδομένων μπορεί να γίνει με δωρεάν προγράμματα (π.χ. Meshlab, 123D catch). Παράλληλα βελτιώνονται θεαματικά οι χρόνοι απόκτησης των δεδομένων και η μετέπειτα επεξεργασία τους (Scorigno et al. 2011).

Οτιδήποτε μπορεί να φωτογραφηθεί, μπορεί και να ψηφιοποιηθεί με διάφορους τρόπους (π.χ. σάρωση, δαχτυλογράφηση κειμένου στον υπολογιστή, φωτογράφιση, οπτική αναγνώριση χαρακτήρων, προηγμένες φωτογραφικές τεχνικές). Εξίσου όμως σημαντικό ρόλο παίζει και η μετέπειτα επεξεργασία των ψηφιοποιημένων αντικειμένων, ώστε μαζί με τις σχετικές πληροφορίες, που καλό είναι να τα συνοδεύουν, να είναι εύκολα προσβάσιμα και κατανοητά από τους χρήστες (Terras 2012).

Όσον αφορά στην ψηφιοποίηση γενικά, το βασικό πλεονέκτημα είναι η ανθεκτικότητα στο πέρασμα του χρόνου και η πρόσβαση σε όσο γίνεται περισσότερα άτομα (επιστήμονες και ευρύ κοινό). Αφενός μεν σχέδια και ημερολόγια υπόκεινται στη φθορά του χρόνου και κινδυνεύουν από πυρκαγιές και πλημμύρες, αφετέρου δε τα ψηφιοποιημένα αρχεία (ευρημάτων, μνημείων και χώρων) βοηθούν τους επιστήμονες να τα μελετήσουν από απόσταση (Thi Porter et al. 2016). Ο μελετητής μπορεί να ανατρέξει σε αυτά όσες φορές χρειαστεί αποφεύγοντας κυρίως έξοδα λόγω μετακινήσεων, είτε ακόμη μπορεί να μην διαθέτει καθόλου πρόσβαση λόγω εργασιών συντήρησης ενός χώρου, είτε να έχει περιορισμένη πρόσβαση λόγω ωραρίου, είτε να έχει δυσκολίες στην πρόσβαση λόγω αδειών μελέτης που πολλές φορές είναι χρονοβόρες, είτε ακόμα να είναι επικίνδυνη η πρόσβαση λόγω πολεμικών συγκρούσεων στην περιοχή μελέτης του.

Όσον αφορά στην τριδιάστατη ψηφιοποίηση, το βασικό πλεονέκτημα είναι ότι δεν υπάρχει ο αντικειμενικός περιορισμός λόγω των δύο διαστάσεων που χαρακτηρίζουν τα σχέδια και τις φωτογραφίες (Pieraccini et al. 2001). Συγκεκριμένα, από τη στιγμή που το τριδιάστατο μοντέλο διαθέτει σχήμα και όγκο, ποσοτικά συμπεράσματα και απόλυτες μετρήσεις μπορούν να εξαχθούν με ευκολία (van Riel 2015, Bourke 2014). Επιπλέον, εκτός από τους τρεις άξονες στο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων, στοιχεία για τον προσδιορισμό του τριδιάστατου χαρακτήρα του κόσμου που μας περιβάλλει δίνεται και από το χρώμα, την υφή και το σχήμα των αντικειμένων (Παπαδόπουλος et al. 2015).

Άλλο ένα πλεονέκτημα της τριδιάστατης ψηφιοποίησης είναι ότι μπορεί να φανεί χρήσιμη στη συντήρηση και αποκατάσταση μνημείων αλλά και των αρχαιολογικών ευρημάτων, κινητών και ακίνητων. Εάν πραγματοποιηθούν υψηλής ακρίβειας ψηφιακές αποτυπώσεις κι επαναλαμβάνονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα, είναι δυνατό ο συντηρητής να παρακολουθεί σημάδια φθοράς ή να διακρίνει καινούριες αλλοιώσεις (π.χ. φθορά υφίσταται ένα μνημείο λόγω περιβαλλοντικών συνθηκών ή μεγάλης επισκεψιμότητας) (Pieraccini et al. 2001, Cantoro 2017). Στη συνέχεια θα υπάρξει στρατηγική για την αντιμετώπισή τους.

Σε έναν ιδανικό κόσμο, οι αρχαιολόγοι θα μπορούσαν να καταγράφουν τις συνθήκες της ανασκαφής με τέτοιο τρόπο, ώστε οι μελλοντικοί ερευνητές θα είχαν την πολυτέλεια να βιώσουν τον ανασκαφικό χώρο ακριβώς όπως ήταν πριν και κατά τη διάρκεια της ανασκαφής (Howland et al. 2014). Σημαντικός αποδεικνύεται ο ρόλος που μπορεί να παίξει η τριδιάστατη ψηφιοποίηση κατά τη διάρκεια της ανασκαφής. Η ανασκαφή δεν είναι παρά μια καταστρεπτική και μη αναστρέψιμη εργασία. Η βασική λοιπόν διαχρονική έννοια των αρχαιολόγων δεν είναι άλλη παρά να ελαχιστοποιήσει τις συνέπειες της μη αναστρεψιμότητας του ανασκαφικού έργου (Goldhahn et al. 2011). Αυτό επιτυγχάνεται με την όσο το δυνατόν πιο ακριβή και λεπτομερέστατη αποτύπωση, συστηματική καταγραφή και τεκμηρίωση της πορείας των εργασιών και των διάφορων σταδίων αυτής, ώστε να μην χαθούν δεδομένα και πληροφορίες που θα φανούν χρήσιμα στη διεξαγωγή συμπερασμάτων στους τωρινούς αλλά και στους μελλοντικούς μελετητές (De Reu et al. 2013). Η αντικατάσταση διδιάστατων αποτυπώσεων με τριδιάστατα μοντέλα προσφέρει κυριολεκτικά και μεταφορικά μια νέα διάσταση στην αποτύπωση της ανασκαφικής διαδικασίας. Κάθε τομή, κάθε στρώση, κάθε χώρος καθώς και ολόκληρη η στρωματογραφία μπορούν να αποδοθούν διατηρώντας τις τρεις διαστάσεις του χώρου όπου τα υψόμετρα, οι αποστάσεις, οι διαστάσεις και οι γεωγραφικές συντεταγμένες θα υπάρχουν σε ένα ενιαίο σύστημα από το οποίο θα δύναται να πάρει κανείς μετρητικά αποτελέσματα και να επανατοποθετήσει εικονικά τα ευρήματα που αφαιρέθηκαν στη διάρκεια της ανασκαφής (Scorigno et al. 2011). Πιο συγκεκριμένα μπορεί κανείς να εξάγει το πυκνό νέφος σημείων του μοντέλου και να δημιουργήσει ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους, ώστε να αναλύσει τις υψομετρικές διαφορές και πιθανά να διακρίνει κάποιο οικοδόμημα ή άλλο στοιχείο που δεν ήταν εύκολα ορατό με γυμνό μάτι (van Riel 2015).

Η ψηφιακή αποτύπωση μπορεί να φανεί εξαιρετικά χρήσιμη ως το πρώτο βήμα για την τριδιάστατη εκτύπωση ενός ευρήματος που θα έχει σαν τελικό στόχο να

δημιουργηθεί ένα ακριβές αντίγραφο (Pieraccini et al. 2001). Αυτό θα μπορούσε να συμβεί για διάφορους λόγους, είτε για να τοποθετηθεί ένα αντίγραφο έργου τέχνης σε κάποιο άλλο σημείο από αυτό που βρίσκεται το γνήσιο, είτε για να αντικατασταθεί το γνήσιο λόγω εργασιών συντήρησης, είτε γιατί το γνήσιο δεν μπορεί να μεταφερθεί σε ένα συνέδριο ή σε μια προσωρινή έκθεση, είτε ακόμα γιατί το γνήσιο καταστράφηκε ολοσχερώς εξαιτίας πολέμων ή φυσικών καταστροφών.

Στα πλεονεκτήματα των 3Δ μοντέλων είναι και η ελκυστικότητα που παρουσιάζουν όχι μόνο για τους επιστήμονες αλλά κυρίως για το ευρύ κοινό. Κύριος στόχος δεν είναι άλλος παρά η διευκόλυνση της πρόσβασης σε όσο το δυνατόν περισσότερο κόσμο και παράλληλα να ενθαρρύνει την ενεργή συμμετοχή τους στην πολιτιστική διαχείριση (Sideris 2003). Ένα τριδιάστατο μοντέλο π.χ. ενός αρχαιολογικού χώρου κι ακόμη περισσότερο ένα περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας του χώρου αυτού θα πρόσφερε στους επισκέπτες ενός μουσείου ένα άλλο επίπεδο στην επίσκεψη του. Ούτως ή άλλως τα μουσεία τα τελευταία χρόνια απομακρύνονται όλο και περισσότερο από την καθιερωμένη έκθεση των αντικειμένων, που θέλει τους επισκέπτες παθητικούς θεατές και τα εκθέματα απλά τοποθετημένα με επεξηγηματικά κείμενα, προς μια πιο ενεργητική σχέση, όπου οι επισκέπτες αλληλοεπιδρούν με τα εκθέματα (van Riel 2015). Η δυνατότητα να επεξεργαστούμε ένα αντικείμενο σε ένα ψηφιακό κόσμο δηλαδή να το «μετακινήσουμε», να αυξομειώσουμε το μέγεθός τους, είναι σίγουρα μια εμπειρία που δεν μπορεί να συγκριθεί με την επαφή με ένα γνήσιο αντικείμενο, παρ' όλα αυτά δεν στερείται νοήματος (Gartski 2016). Με την ίδια λογική τα 3Δ μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εκπαιδευτικό υλικό όχι μόνο σε σχολεία αλλά και στην εκπαίδευση φοιτητών αρχαιολογίας κυρίως μέσω της ψηφιακής αποτύπωσης των ανασκαφικών εργασιών βήμα προς βήμα.

#### 2.4.β. Προβληματισμοί και περιορισμοί

Η τριδιάστατη ψηφιοποίηση των πολιτιστικών αγαθών ανοίγει νέους ορίζοντες στη διαχείριση της πολιτιστικής κληρονομιάς αφού τα οφέλη που προσφέρει είναι πολυδιάστατα. Πέρα όμως από τα τόσα πλεονεκτήματα, υπάρχουν και προβληματισμοί προς διερεύνηση. Ένα βασικό θέμα που προκύπτει είναι η προστασία της πνευματικής ιδιοκτησίας και των πνευματικών δικαιωμάτων. Τίθεται το ερώτημα ποιος και σε ποιο



πλαίσιο έχει τα δικαιώματα της ηλεκτρονικής αποθήκευσης, ελέγχου, πρόσβασης και διάθεσης των ψηφιακών αντιγράφων (Sotirova et al. 2012).

Άλλο ένα θέμα που έχει απασχολήσει τους επιστήμονες, είναι αυτό της απρόσκοπτης πρόσβασης στο ψηφιοποιημένο αντικείμενο και παράλληλα της πρόβλεψης, ώστε τα ψηφιοποιημένα αντικείμενα να είναι διαθέσιμα τώρα αλλά να είναι και στο μέλλον. Όσον αφορά στην πρόσβαση στα ψηφιοποιημένα πολιτιστικά αγαθά, πρέπει να υπάρχουν τα κατάλληλα εργαλεία, που θα παρέχουν δυνατότητα εύρεσης του αντικειμένου που αναζητείται. Αυτό γίνεται με την ανάπτυξη σχημάτων μεταδεδομένων υψηλών προδιαγραφών. Χωρίς τα κατάλληλα μεταδεδομένα (δηλαδή δεδομένα που περιγράφουν άλλα δεδομένα) είναι γεγονός ότι η εύρεση των ψηφιακών αρχείων καθίσταται αδύνατη (Sotirova et al. 2012). Τα μεταδεδομένα περιγράφουν το πως, το πότε και από ποιον μια ομάδα δεδομένων συλλέχθηκε και τελικώς τον τρόπο διασύνδεσης της πληροφορίας. Το διεθνές πρότυπο που χρησιμοποιείται για την τεκμηρίωση και ενοποίηση πολιτισμικών πληροφοριών είναι το CIDOC-CRM.

Όσον αφορά στην πρόβλεψη για τη μελλοντική πρόσβαση, πρέπει κανείς να έχει υπόψη του, πέρα από το αρχικό κόστος της ψηφιοποίησης, και το μετέπειτα κόστος της διατήρησης του ψηφιοποιημένου αρχείου. Η τεχνολογία -σε επίπεδο software αλλά και hardware- εξελίσσεται με γοργούς ρυθμούς με αποτέλεσμα οι ψηφιακές αποτυπώσεις σε σύντομο χρονικό διάστημα να είναι ξεπερασμένες τεχνικά και να μην μπορούν να υποστηριχθούν σε μια πλατφόρμα ή σε μια ιστοσελίδα (Sotirova et al. 2012, Terras 2012, van Riel 2015). Η συνεχής αναβάθμιση που θα χρειάζεται ένα ψηφιακό αντίγραφο καλό είναι να ληφθεί υπόψη στον αρχικό προϋπολογισμό.

Μια πηγή προβληματισμού στη ψηφιοποίηση των πολιτιστικών αγαθών είναι ο ρόλος που παίζει η υποκειμενικότητα στη συλλογή των δεδομένων είτε αυτή θα γίνει με σκάνερ είτε με φωτογραφική μηχανή. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το ψηφιακό αντίγραφο δεν μπορεί σε καμία περίπτωση να αντικαταστήσει το γνήσιο αντικείμενο. Κι ένας από τους βασικούς λόγους είναι ότι υπόκειται στην αντίληψη και στην υποκειμενική ματιά του ανθρώπου που θα συλλέξει τα δεδομένα αφού θα μπει στη διαδικασία να διαλέξει συγκεκριμένα όψεις, να δώσει έμφαση σε κάποιες ή να παραλείψει άλλες (van Riel 2015). Πιο συγκεκριμένα, σε κάθε στάδιο της δημιουργίας του ψηφιακού αντιγράφου οι επιλογές που θα γίνουν αλλά και οι τεχνικοί περιορισμοί των διαφόρων μεθόδων επηρεάζουν το τελικό αποτέλεσμα. Από την επιλογή της μεθόδου και των δεδομένων που θα συλλεχθούν, μέχρι την επιλογή κατάλληλου

λογισμικού και τις ρυθμίσεις που θα γίνουν σε αυτό, όλες αυτές οι επιλογές οδηγούν σε σχετικά διαφορετικό αποτέλεσμα (Gartski 2016).

Πέρα από τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω που καθιστούν την ψηφιοποίηση ένα χρήσιμο εργαλείο, υπάρχουν και λόγοι για να μην προχωρήσει κάποιος σε ψηφιοποίηση ή να είναι αρκετά διστακτικός. Η έλλειψη οικονομικών πόρων με δεδομένο ότι κάποιες από τις τεχνικές έχουν υψηλό κόστος, ένα πιθανώς ελλιπές πλαίσιο για τα πνευματικά δικαιώματα, ο κίνδυνος να προκληθούν φθορές στα αντικείμενα προς ψηφιοποίηση, διάφορες τεχνικές δυσκολίες, η αντίληψη ότι η προσφορά των 3D μοντέλων είναι μόνο αισθητική κι όχι ουσιαστική, η δυσκολία να συγκεραστούν τα 3D μοντέλα με τα διδιάστατα δεδομένα και φυσικά το γεγονός ότι δεν αξίζουν όλα τα ευρήματα να ψηφιοποιηθούν (Hughes 2004, Bitelli et al. 2007, Terras 2012).

Συνοψίζοντας, στη ψηφιακή εποχή η πολιτιστική κληρονομιά γίνεται σταδιακά όλο και λιγότερο ελιτίστικη, όλο και λιγότερο αυστηρά απευθυνόμενη στους ειδικούς, όλο και λιγότερο αποκομμένη από την κοινωνία (Bachi et al.2014). Η ιδέα του «ψηφιακού χωριού» όπως προτάθηκε από τον Zubrow (2006, σελ.10) φαίνεται να γίνεται όλο και περισσότερο πραγματικότητα. Μιλάμε πια για μια εκδημοκρατικοποίηση του πολιτισμού που βοηθάει να μειωθούν τα κοινωνικοοικονομικά, πολιτισμικά και μορφωτικά χάσματα τόσο σε παγκόσμιο όσο και σε τοπικό επίπεδο (Sideris 2003). Κοινωνία και ψηφιακός πολιτισμός βρίσκονται σε συνεχή αλληλεπίδραση. Από τη μία, η κοινωνία καλείται να προσαρμοστεί στα νέα δεδομένα που επιβάλλει η ψηφιακή εποχή, από την άλλη το ευρύ κοινό στο οποίο απευθύνεται οτιδήποτε ψηφιακό, με τις επιλογές και τις προτιμήσεις του, διαμορφώνει το πλαίσιο στο οποίο θα κινηθεί. Το βασικό ερώτημα φαίνεται να είναι το πώς η ψηφιακή πολιτιστική κληρονομιά μπορεί να αποτελέσει έναυσμα και να δώσει ώθηση στην εκπαίδευση και στην παραγωγή σύγχρονου πολιτισμού.

## 2.5. Ιστορική Αναδρομή

Η χρήση της τεχνολογίας των ψηφιακών τριδιάστατων γραφικών στην πολιτιστική διαχείριση είναι σχετικά πρόσφατη. Μεγάλο ρόλο στην ολοένα και αυξανόμενη χρήση αυτών των τεχνολογιών έπαιξε η εξέλιξη των προσωπικών υπολογιστών. Οι αρχαιολόγοι πλέον χρησιμοποιούν τις ολοένα και αυξανόμενες

δυνατότητες των υπολογιστών σε όλο το φάσμα της πολιτιστικής διαχείρισης, από τον εντοπισμό μιας θέσης μέχρι την τελική ανάδειξη του χώρου.

Ακολουθεί χρονολογική αναφορά χαρακτηριστικών ορόσημων που σχετίζονται με την τριδιάστατη τεχνολογία και την πολιτιστική διαχείριση:

- Θα ήταν παράλειψη να μην αναφερθεί η χρήση τριδιάστατων μοντέλων πριν την εφεύρεση των υπολογιστών. Εκμαγεία π.χ. χρησιμοποιηθήκαν στην Πομπηία από τους αρχαιολόγους για να γεμίσουν με γύψο τις ανθρώπινες κοιλότητες ώστε να «παγώσουν» στον χρόνο τις συνθήκες που επικράτησαν τη στιγμή της καταστροφής της ρωμαϊκής πόλης (van Riel 2015).
- Από τη δεκαετία του 1970 άρχισαν να χρησιμοποιούνται υπολογιστές σε μουσεία, συλλογές, αρχεία και βιβλιοθήκες και να ενθαρρύνεται η ψηφιοποίηση ώστε να αυξηθεί η πρόσβαση στην πολιτιστική κληρονομιά. Έτσι δημιουργούνται οι πρώτοι ηλεκτρονικοί κατάλογοι και βάσεις δεδομένων (Terras 2015).
- Τη δεκαετία του 1980 πραγματοποιείται η μετατροπή τυπωμένου υλικού σε ψηφιακά αρχεία. Συγκεκριμένα το 1984 λανσάρεται το ODISS (Optical Digital Image Storage System) από την εθνική διοίκηση αρχείων και καταγραφών της Ουάσιγκτον. Σκοπός αυτής της ερευνητικής μελέτης ήταν να δοκιμαστεί η χρησιμότητα της ψηφιακής εικόνας και του οπτικού δίσκου στην αναπαραγωγή, αποθήκευση και ανάκτηση αρχειακών εγγράφων (Terras 2015).
- Τη δεκαετία του 1990 καθοριστικό ρόλο παίζει η εμφάνιση του World Wide Web και η όλο και αυξανόμενη χρήση του. Ενθαρρύνονται οι επενδύσεις για τη ψηφιοποίηση αντικειμένων στον τομέα του πολιτισμού ενώ παράλληλα αυξάνεται η απόδοση και μειώνεται το κόστος των τεχνολογιών ψηφιοποίησης. Όλο και περισσότεροι οργανισμοί θέλουν να κάνουν χρήση των νέων τεχνολογιών για την προώθηση του πολιτισμού (Terras 2012).
- Το 1997 το Εθνικό Συμβούλιο Ερευνών του Καναδά και το Πανεπιστήμιο της Πάδοβα ψηφιοποίησαν το γλυπτό «Madonna con Bambino» του Giovanni Pisano χρησιμοποιώντας 62 εικόνες (Pieraccini et al. 2001).
- Το 1998 ξεκίνησε μία από τις σημαντικότερες εργασίες ψηφιοποίησης από το Πανεπιστήμιο Στάνφορντ της Καλιφόρνια, το επονομαζόμενο «Digital Michelangelo Project». Πρόκειται για την τριδιάστατη ψηφιοποίηση με τη

χρήση αχτίνων λέιζερ του αγάλματος του Δαβίδ που βρίσκεται στη Φλωρεντία (Scorigno et al. 2011).

- Το 2000 το ερευνητικό κέντρο της IBM Thomas J. Watson πραγματοποίησε την τριδιάστατη ψηφιοποίηση της Pieta του Michelangelo που βρίσκεται στη Φλωρεντία, κάνοντας χρήση στερεοσκοπικών μεθόδων (Pieraccini et al. 2001).
- Το 2000 αναπτύχθηκε το ερευνητικό πρόγραμμα 3D Murale. Πρόκειται για τη χρήση μεθόδου που βασίζεται στη λήψη φωτογραφιών για τη δημιουργία τριδιάστατων μοντέλων. Δοκιμή πραγματοποιήθηκε στην ελληνιστική-ρωμαϊκή πόλη της Σαγαλασσού στη σύγχρονη Τουρκία. Στόχος αυτού του προγράμματος ήταν να αναπτυχθούν οικονομικά και εύχρηστα εργαλεία ψηφιοποίησης για τους αρχαιολόγους (Bernardes et al. 2014).
- Το Καθολικό Πανεπιστήμιο της Λέουβεν στο Βέλγιο δημιούργησε το Arc 3d. Πρόκειται για μια υπηρεσία στο διαδίκτυο όπου μέσω μιας αυτοματοποιημένης διαδικασίας κανείς μπορεί να εισάγει φωτογραφίες ώστε να παραχθεί ένα τριδιάστατο μοντέλο. Απευθύνεται στον τομέα του πολιτισμού. Στην ίδια κατεύθυνση το εργαστήριο οπτικής πληροφορικής του Ινστιτούτου επιστήμης και τεχνολογίας της πληροφορικής στην Ιταλία δημιούργησε το Meshlab, μια δωρεάν εφαρμογή για την επεξεργασία τριδιάστατων μοντέλων (Bernardes et al. 2014).

Ζούμε πλέον σε έναν ψηφιακό κόσμο στον οποίο η αρχαιολογία δεν θα μπορούσε να αποτελεί εξαίρεση. Η ψηφιοποίηση χρόνο με τον χρόνο γίνεται ένα απαραίτητο εργαλείο στα χέρια των αρχαιολόγων και των άλλων ειδικών της πολιτιστικής διαχείρισης. Άπειρες πια είναι οι εργασίες ψηφιοποίησης που βρίσκουμε στο διαδίκτυο και σκοπό έχουν να αναδείξουν, προβάλλουν και προωθήσουν τα πολιτιστικά αγαθά. Προς αυτή την κατεύθυνση έχουν βοηθήσει οι όλο και περισσότερο οικονομικές λύσεις των σύγχρονων τεχνολογιών ψηφιοποίησης καθώς και η πληθώρα αυτών.

## 2.6. Τεχνικές

Υπάρχουν διαφόρων ειδών τεχνικές για την τριδιάστατη ψηφιοποίηση αντικειμένων, τα πολιτιστικά αντικείμενα όμως έχουν τα δικά τους ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Βασικό είναι ότι χρήζουν ιδιαίτερης μεταχείρισης για δύο κυρίως λόγους. Από τη μία, δεν είναι εύκολο να μετακινηθούν. Από την άλλη, δεν επιτρέπεται να αγγίζονται ή να υποστούν κάποια επέμβαση στην επιφάνεια τους (Pieraccini et al. 2001). Οι διάφορες τεχνικές ποικίλουν ως προς το κόστος και την πολυπλοκότητα τους, με κάποιες να είναι εμφανώς πιο οικονομικές και γρήγορες (van Riel 2015).

Οι τεχνικές τριδιάστατης ψηφιοποίησης διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- Τεχνικές που γίνεται χρήση ακτίνων λέιζερ
- Φωτογραφικές τεχνικές

Στην παρούσα μελέτη δεν θα αναφερθούν διεξοδικά όλες οι τεχνικές αλλά αυτές που έχουν επικρατήσει στον τομέα του πολιτισμού τα τελευταία χρόνια. Πρόκειται για τη σάρωση με ακτίνες λέιζερ και για τη δομή από κίνηση (SFM) που ανήκει στις φωτογραφικές τεχνικές.

### Τεχνικές με χρήση ακτίνων λέιζερ

#### *Λειτουργία*

Είναι από τις πιο δημοφιλείς τεχνικές. Χαρακτηριστικό όλων των μεθόδων που χρησιμοποιούν ακτίνες λέιζερ είναι η ακόλουθη διαδικασία: Εκπέμπεται ακτίνα λέιζερ στο αντικείμενο, στη συνέχεια ανιχνεύεται η παραγόμενη ακτίνα και με βάση αυτή αποκτάται η τριδιάστατη πληροφορία. Υπάρχουν δύο μέθοδοι που σχετίζονται με ακτίνες λέιζερ. Η μία χρησιμοποιείται για μεγάλες αποστάσεις κι η αρχή λειτουργίας της είναι παρόμοια του Radar. Αυτή η μέθοδος ονομάζεται *LiDAR* ή *σύστημα «χρόνου πτήσης» (time of flight)*. Η αρχή λειτουργίας της βασίζεται στον υπολογισμό του χρόνου που χρειάστηκε για να διανυθεί η απόσταση της ακτίνας από τον πομπό στο αντικείμενο και πίσω στο δέκτη. Χρησιμοποιείται κυρίως σε στρατιωτικές εφαρμογές για την εύρεση αποστάσεων και άλλων πληροφοριών σε απομακρυσμένα αντικείμενα. Στην αρχαιολογία εφαρμόζεται σε αποτυπώσεις ανοιχτών χώρων, όπως είναι μια ανασκαφή ή ένα μνημείο. Η άλλη μέθοδος βασίζεται στον *τριγωνισμό ακτίνων λέιζερ*. Απαιτείται μια πηγή λέιζερ κι ένας ψηφιακός οπτικός ανιχνευτής, τοποθετημένος στην

άλλη άκρη της βάσης του συστήματος. Εκπέμπεται ακτίνα λέιζερ η οποία προβάλλεται πάνω στο αντικείμενο και ο ανιχνευτής εντοπίζει το σημείο στο οποίο ανακλάται στην επιφάνεια του αντικειμένου. Δημιουργείται έτσι ένα νοητό τρίγωνο ανάμεσα στην πηγή, το αντικείμενο και τον ανιχνευτή. Στη συνέχεια με χρήση του νόμου των ημιτόνων υπολογίζεται η 3Δ θέση της επιφάνειας του αντικειμένου (Παυλίδης, Κουτσούδης 2016). Το αποτέλεσμα της σάρωσης, η λεπτομέρεια της οποίας φτάνει από χιλιοστά μέχρι και μικρόμετρα, είναι ένα σύννεφο σημείων (point cloud), που με την κατάλληλη επεξεργασία μετατρέπεται στο τριδιάστατο αντικείμενο που έχει σαρωθεί (Παπαδόπουλος et al. 2015).

#### *Πλεονεκτήματα*

Το βασικό της πλεονέκτημα και ο λόγος για τον οποίο επιλέγεται είναι σίγουρα η υψηλή ακρίβεια (Bernardes et al. 2014), δηλαδή το πολύ πυκνό νέφος σημείων που παράγεται (Bitelli et al. 2007), με αποτέλεσμα την υψηλού επιπέδου τελική τριδιάστατη αποτύπωση (Ducke et al. 2011). Άλλο ένα πλεονέκτημα είναι ότι η ακτίνα λέιζερ έχει μικρή διασπορά και μεγάλη, συγκεντρωμένη ισχύ με αποτέλεσμα να είναι ιδανική για μεγάλες αποστάσεις (Pavlidis et al. 2007).

#### *Μειονεκτήματα*

Καταρχάς, το πιο βασικό από όλα είναι το υψηλό κόστος εξοπλισμού, το οποίο την καθιστά απαγορευτική σε πολλές περιπτώσεις, δεδομένου ότι ο προϋπολογισμός στα αρχαιολογικά έργα είναι συνήθως αρκετά περιορισμένος (Goldhahn et al. 2011; Bernardes et al. 2014). Επιπλέον, το μέγεθος και βάρος του εξοπλισμού την καθιστά μη εύκολα φορητή στο πεδίο. Απαιτείται ειδικευμένο προσωπικό και γενικά περισσότερο ανθρώπινο δυναμικό σε σχέση με την SFM (Bernardes et al. 2014).

Υπάρχουν υλικά όπως το μάρμαρο, το γυαλί, ο χαλκός τα οποία δεν συνεργάζονται καλά με την εν λόγω τεχνική. Επίσης, η εξαιρετικά πολύπλοκη επιφάνεια κάποιων αντικειμένων δημιουργεί στρεβλώσεις. Σε σχέση με τη SFM είναι περισσότερο χρονοβόρα όχι τόσο στη λήψη των δεδομένων αλλά στη μετέπειτα επεξεργασία τους, ειδικά όταν θέλουμε στο αντικείμενο να αποδοθεί και η υφή του (Guidi et al. 2013, Bourke 2014). Επιπλέον, κατά τη διάρκεια της σάρωσης υπάρχει η ανάγκη για ελεγχόμενες συνθήκες φωτισμού, πράγμα που δεν είναι πάντα δυνατό σε εξωτερικούς χώρους (Lanitis et al. 2008).

## Δομή από κίνηση (SFM)

### *Λειτουργία*

Καταρχάς, τείνει να επικρατήσει τα τελευταία χρόνια λόγω κυρίως της εξέλιξης των φωτογραφικών μηχανών στις οποίες και βασίζεται. Πραγματοποιείται λήψη μιας σειράς φωτογραφιών από διαφορετικές οπτικές γωνίες αλλά με αλληλοεπικάλυψη μεταξύ τους, ώστε κάθε σημείο να είναι ορατό από τουλάχιστον τρία διαφορετικά σημεία λήψης (McCarthy 2014). Στη συνέχεια με κατάλληλο λογισμικό και τη χρήση πολύπλοκων αλγόριθμων εξάγεται η πληροφορία για τη δημιουργία του 3D μοντέλου.

### *Πλεονεκτήματα*

Η απόκτηση των δεδομένων γίνεται γρήγορα και αξιόπιστα. Η ακρίβεια στο μοντέλο εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, αλλά έρευνες δείχνουν ότι βρίσκεται πολύ κοντά με τα 3D μοντέλα που δημιουργούνται με ακτίνες λέιζερ (Barille et al. 2015). Επιπλέον πρόκειται για μια οικονομική λύση (Bernardes et al. 2014), αφού η αποτύπωση στηρίζεται σε μια συμβατική φωτογραφική μηχανή και για την επεξεργασία των δεδομένων υπάρχει μια πληθώρα λογισμικών για να επιλέξει κανείς, είτε στο διαδίκτυο, είτε ανοιχτού κώδικα, είτε σε προσιτή τιμή (Furukawa et al. 2010). Η ευελιξία στη μεταφορά, το χαμηλό κόστος και τα υψηλής ακρίβειας αποτελέσματα είναι το τρίπτυχο για το οποίο προτιμάται όλο και συχνότερα τα τελευταία χρόνια, κερδίζοντας έδαφος έναντι των τεχνικών με ακτίνες λέιζερ.

Στην άνοδο της χρήσης της SFM συντέλεσαν η αύξηση των δυνατοτήτων των προσωπικών υπολογιστών, η καλύτερη απόδοση των φωτογραφικών μηχανών και η βελτίωση των αλγόριθμων στις οποίες στηρίζεται (Goldhahn et al. 2011). Αυτή η αυτοματοποίηση στο στάδιο επεξεργασίας των δεδομένων είναι που την καθιστά εύκολη στη χρήση ακόμη και για ανθρώπους χωρίς τεχνολογικό υπόβαθρο (de Reu et al. 2013). Έχουμε φτάσει πια στο σημείο όπου οποιοσδήποτε διαθέτει κινητό με κάμερα και την κατάλληλη εφαρμογή μπορεί να τραβήξει μερικές φωτογραφίες ενός αντικειμένου και σε λίγα λεπτά να έχει ένα 3D μοντέλο και να το ανεβάσει στο διαδίκτυο (Gartski 2016).

### *Μειονεκτήματα*

Δεν υπάρχουν σημαντικά μειονεκτήματα, πέρα κυρίως από το γεγονός ότι ακόμη δεν έχει φτάσει το επίπεδο της ανάλυσης που παρέχουν οι σαρωτές λέιζερ. Επίσης, δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα υλικά με την ίδια επιτυχία. Τέλος, απαιτούνται καλές συνθήκες φωτισμού.

Από τη στιγμή που αυτή η μέθοδος επιλέχθηκε στη συγκεκριμένη εργασία θα ακολουθήσει αναλυτική περιγραφή της στην επόμενη ενότητα.

Ακολουθεί σύντομη αναφορά σε μερικές ακόμη τεχνικές που έχουν χρησιμοποιηθεί στον πολιτισμό:

#### Σχήμα από δομημένο φωτισμό

Η τεχνική βασίζεται στην προβολή μοτίβου φωτός πάνω στο αντικείμενο που είναι για ψηφιοποίηση και σε ένα οπτικό σύστημα ανίχνευσης το οποίο ανιχνεύει την παραμόρφωση του μοτίβου. Στη συνέχεια γίνεται λήψη φωτογραφιών της διδιάστατης αυτής εικόνας παραμόρφωσης και με βάση αυτή την παραμόρφωση ειδικό λογισμικό εξάγει τη γεωμετρία της επιφάνειας (Pavlidis et al. 2007). Η ακρίβεια της τεχνικής είναι παρόμοια με την τεχνική τριγωνισμού ακτίνων λέιζερ (Pieraccini et al. 2001). Ένα μειονέκτημα της είναι ότι δεν αποδίδει στο φως της ημέρας, άρα μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε εσωτερικούς χώρους (Bourke 2014).

#### Σχήμα από σιλουέτες

Στην τεχνική αυτή, το αντικείμενο προς ψηφιοποίηση φωτογραφίζεται υπό ειδικές συνθήκες φωτισμού, δηλαδή φωτογραφίζεται το φόντο από διαφορετικές οπτικές γωνίες και παραμένει σκοτεινό το αντικείμενο. Στη συνέχεια, από τις σιλουέτες του αντικειμένου που έχουν αποκτηθεί, γίνεται ανάκτηση της γεωμετρίας του, με τη χρήση ειδικών αλγόριθμων. Η πληροφορία υψής του αντικειμένου αποκτάται με επιπλέον φωτογραφίες υπό κανονικές συνθήκες φωτισμού. Στα αρνητικά της μεθόδου είναι η χαμηλή ποιότητα και η δυσκολία απόδοσης της γεωμετρίας στα σημεία που υπάρχουν κοιλότητες (Pavlidis et al. 2007, Tosovic et al. 2001).

#### Σχήμα από φωτοσκίαση

Στην τεχνική αυτή παραμένει σταθερή η φωτογραφική μηχανή αλλά μεταβάλλεται η πηγή φωτισμού. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μπορεί να εξαχθεί η γεωμετρία του αντικειμένου από την παρατήρηση της μεταβολής της φωτοσκίασης στην επιφάνεια του. Αυτό επιτυγχάνεται με τη λήψη αρκετών φωτογραφιών, από αυτές τις φωτογραφίες εξάγεται και η πληροφορία υψής (Pavlidis et al. 2007).

#### Σχήμα από στέρεο-φωτογράφιση

Η τεχνική βασίζεται στη λήψη ζεύγος φωτογραφιών με μια μικρή απόκλιση στη γωνία λήψης της μίας εικόνας από της άλλη. Οι φωτογραφίες λαμβάνονται από γνωστές οπτικές γωνίες και σχετικές θέσεις με προϋπόθεση να υπάρχουν κοινά σημεία του αντικειμένου και στις δύο φωτογραφίες, ώστε να εξαχθεί η τρίτη διάσταση των



σημείων. Βασίζεται στην αρχή λειτουργίας της ανθρώπινης όρασης. Στη συνέχεια με την εφαρμογή ειδικών αλγόριθμων εξάγεται η γεωμετρική πληροφορία του αντικειμένου. Μια παραλλαγή της τεχνικής αυτής είναι να αντικατασταθεί η φωτογράφιση με λήψη βίντεο. Η τεχνική αυτή ονομάζεται Σχήμα από βίντεο. Δεν συνηθίζεται όμως λόγω της χαμηλής ανάλυσης του αποτελέσματος (Pavlidis et al. 2007).

Είναι αδιαμφισβήτητο γεγονός ότι οι τεχνικές σάρωσης με ακτίνες λέιζερ και η δομή από κίνηση είναι πλέον οι επικρατέστερες τεχνικές. Σημαντική είναι η ολοένα και αυξανόμενη χρήση της δομής από κίνηση χάρη στη βελτίωση των φωτογραφικών μηχανών και των δυνατοτήτων των υπολογιστών. Υπάρχουν διαφόρων ειδών παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη πριν παρθεί η απόφαση για το ποια είναι η κατάλληλη μέθοδος για την ψηφιοποίηση ενός πολιτιστικού αντικειμένου ή ενός αρχαιολογικού χώρου.

Βασικός παράγοντας είναι το κόστος, ειδικά από τη στιγμή που είναι συνηθισμένο τα αρχαιολογικά έργα να έχουν περιορισμένο προϋπολογισμό. Η φορητότητα της μεθόδου παίζει σημαντικό ρόλο, είτε γιατί οι αρχαιολογικοί χώροι είναι μερικές φορές δυσπρόσιτοι, είτε γιατί τα κινητά ευρήματα δεν είναι εύκολο να μετακινηθούν εκτός του χώρου που φυλάσσονται. Το υλικό από το οποίο είναι φτιαγμένο ένα αντικείμενο είναι επίσης ένας παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη. Μια επιφάνεια με κρυσταλλική δομή (όπως του μαρμάρου) σίγουρα δεν βοηθάει στη διάχυση του φωτός σε μια τεχνική που βασίζεται σε ακτίνες λέιζερ. Υλικά γυαλιστερά ή χωρίς καθόλου χρωματικές μεταβολές δεν είναι κατάλληλα για τη δομή από κίνηση, αφού δεν είναι δυνατόν οι αλγόριθμοι να ξεχωρίσουν κοινά σημεία στις φωτογραφίες (Κουτσούδης 2016). Άλλος ένα παράγοντας είναι ο χρόνος εργασίας που απαιτείται για την εφαρμογή της κάθε τεχνικής, είτε ως χρόνος νοείται το διάστημα για την απόκτηση των δεδομένων, είτε για την επεξεργασία τους (Thi Porter et al. 2016).

## 2.7. Δομή από Κίνηση (SFM)

Η SFM είναι μια ψηφιακή φωτογραφική τεχνική, που ανήκει στις φωτογραφικές μεθόδους τριδιάστατης αποτύπωσης. Αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1990 και έχει άμεση σχέση με την υπολογιστική όραση (computer vision) και με την ανάπτυξη αλγόριθμων σύγκρισης και αναγνώρισης ανάλογων σημείων όπως οι αλγόριθμοι SIFT (Scale Invariant Feature Transform) και SURF (Westoby et al. 2012). Δημιουργήθηκε για τους σκοπούς της αποτύπωσης κτιρίων και μικρών αντικειμένων ως μια γρήγορη, οικονομική και εύκολη μέθοδος που δεν απαιτεί εξειδικευμένες γνώσεις. Η υπολογιστική όραση φαίνεται να αντικαθιστά τη φωτογραμμετρία, διότι και οι δύο έχουν ως κοινή βάση τη γεωμετρία, αλλά η υπολογιστική όραση έχει το επιπλέον πλεονέκτημα της χρήσης αυτοματοποιημένων υπολογιστικών διαδικασιών. Η απλή εξαγωγή εικόνων με ορθοπροβολή της φωτογραμμετρίας αντικατοπτρίζει ένα πολύ μικρό μέρος των εφαρμογών της υπολογιστικής όρασης, φτάνοντας μέχρι και την πλήρη τριδιάστατη αναπαράσταση αντικειμένων από εικόνες (Ducke et al. 2011).

Η SFM και η στερεοσκοπική φωτογραμμετρία έχουν την ίδια κοινή βάση, δηλαδή η τριδιάστατη δομή εξάγεται από φωτογραφίες που έχουν υψηλή επικάλυψη (Westoby et al. 2012). Σε σύγκριση με την κλασική ψηφιακή φωτογραμμετρία, οι σύγχρονοι αλγόριθμοι επεξεργασίας των εικόνων είναι που την καθιστούν προσιτή στους απλούς χρήστες (Fonstad et al. 2013). Συγκεκριμένα, ενώ στη φωτογραμμετρία εφαρμόζονται οι νόμοι της οπτικής και της προβολικής γεωμετρίας, άρα χρειάζεται να είναι γνωστές οι θέσεις της φωτογραφικής μηχανής, κάποιων σημείων του χώρου ή του αντικειμένου και η μεταξύ τους απόσταση ώστε να ακολουθήσουν οι υπολογισμοί, στη SFM δεν χρειάζονται αυτές οι πληροφορίες, αλλά με την εφαρμογή του αλγόριθμου Bundle Adjustment τα ομόλογα σημεία των φωτογραφιών και η θέση της φωτογραφικής μηχανής στο χώρο για κάθε μια φωτογραφία εξάγονται ταυτόχρονα και αυτόματα (Westoby et al. 2012). Ο αλγόριθμος Bundle Adjustment άρχισε να χρησιμοποιείται τη δεκαετία του 1950 στο πλαίσιο της φωτογραμμετρίας και μέχρι τη δεκαετία του 1980 ήταν η κυρίαρχη λύση για την επίλυση θεμάτων στη 3D ανακατασκευή αντικειμένων. Τα τελευταία πλέον χρόνια χρησιμοποιείται στην υπολογιστική όραση. Αυτό που κάνει στην ουσία είναι ότι λαμβάνοντας υπόψη παραμέτρους, όπως τη θέση της φωτογραφικής μηχανής στο χώρο και τα κοινά σημεία των εικόνων, βρίσκει τη βέλτιστη 3D δομή και οπτικοποίηση της (Κουτσούδης 2016, Remondino et al. 2012).

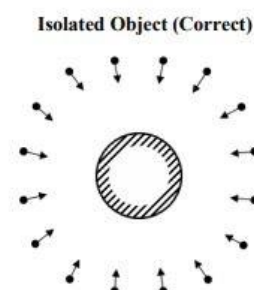
Δεν πρέπει καθόλου να υποτιμάται το γεγονός ότι στη γεωμετρία του μοντέλου μπορούν να προστεθούν στο τέλος πληροφορίες υψής και χρώματος του αντικειμένου. Αυτή ακριβώς η δυνατότητα είναι που καθιστά την SFM ελκυστική στον τομέα του πολιτισμού, γιατί το χρώμα και η υφή δίνουν αρκετές πληροφορίες από μόνες τους για το αντικείμενο του πολιτισμού (π.χ. το χρώμα σε ένα αγγείο) (Jurda et al. 2016).

Η διαδικασία της συλλογής των δεδομένων είναι εξαιρετικά σημαντική αφού από την ποιότητα των δεδομένων θα εξαρτηθεί το τελικό αποτέλεσμα. Αποτελείται συνήθως από δύο βήματα. Πρώτα, η μέτρηση τουλάχιστον τριών συντεταγμένων συγκεκριμένων σημείων, ώστε να είναι δυνατή η γεωαναφορά του χώρου ή η μέτρηση αποστάσεων ανάμεσα σε συγκεκριμένα σημεία, ώστε να είναι δυνατή η κλιμάκωση του 3D μοντέλου σε πραγματικές διαστάσεις και να μπορούν να πραγματοποιηθούν μετρήσεις στο μοντέλο (de Reu et al. 2013). Το λογισμικό PhotoScan, που θα χρησιμοποιηθεί σε αυτή τη μελέτη, διαθέτει δικά του φωτοσταθερά που μπορεί κανείς να εκτυπώσει και να τα φωτογραφήσει μαζί με το αντικείμενο (βλ.εικ.4). Στη συνέχεια μετράει κανείς τις αποστάσεις ανάμεσα στα κέντρα των φωτοσταθερών και περνάει τα αποτελέσματα στο λογισμικό για να παράγει αυτόματα ένα σωστά κλιμακωμένο μοντέλο (Κουτσούδης, Παυλίδης).



Εικ.4: Φωτογράφιση αντικειμένου με φωτοσταθερά.

Στη συνέχεια, ακολουθεί η φωτογράφιση του χώρου ή του αντικειμένου. Οι φωτογραφίες καλό είναι να τραβηχτούν από διαφορετικές γωνίες λήψεις με μεγάλο βαθμό επικάλυψης (25-30 μοίρες είναι η ιδανική απόσταση της μίας φωτογραφίας από την άλλη), ώστε κάθε σημείο να καλύπτεται από τουλάχιστον τρεις διαφορετικές φωτογραφίες. Βασική προϋπόθεση είναι να κινούμαστε γύρω-γύρω από το αντικείμενο ή το αντικείμενο γύρω από τον εαυτό του, αφού και οι δύο αυτές συνθήκες φέρνουν το ίδιο αποτέλεσμα (βλ.εικ.5).



Εικ.5: Θέσεις φωτογράφισης αντικειμένου.

Σε καμία περίπτωση όμως δεν πρέπει να μένουμε εμείς σε σταθερή θέση γυρνώντας γύρω από τον εαυτό μας (Ducke et al. 2011).

Συνήθως προηγείται λήψη μιας σειράς φωτογραφιών με ίσες αποστάσεις η μία από την άλλη, μέχρι να αποτυπωθούν όλες οι πλευρές του αντικειμένου και στη συνέχεια γίνονται παραπάνω κοντινές λήψεις, ώστε να αποδοθούν οι λεπτομέρειες του αντικειμένου (de Reu et al. 2013). Κάτι που πρέπει πάντα να αποφεύγεται γιατί μπερδεύει τους αλγόριθμους και δεν εξάγονται πληροφορίες είναι η περικοπή των εικόνων. Επιπλέον, παράμετροι που καλό είναι να ληφθούν υπόψη κατά τη λήψη των φωτογραφιών είναι να αποφεύγεται η ύπαρξη σκιών πάνω στο αντικείμενο, να προτιμάται μια συννεφιασμένη μέρα ή αρκετά πρωινές ώρες και να αποφεύγεται η χρήση φλας (Douglass et al. 2015). Από το σύνολο των φωτογραφιών που θα τραβηχτούν καλό είναι να χρησιμοποιηθούν μόνο οι καλύτερες, διότι το αποτέλεσμα εξαρτάται κυρίως από την ποιότητα των φωτογραφιών (de Reu et al. 2013).

Έχουν γίνει διάφορες μελέτες για τη σύγκριση διαφόρων λογισμικών ώστε να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα που παράγει το καθένα και να διερευνηθούν οι δυνατότητες τους. Τα πιο γνωστά και επικρατέστερα λογισμικά που χρησιμοποιούνται είναι το 123D catch της Autodesk, το οποίο είναι δωρεάν και πλήρως αυτοματοποιημένο, το Photoscan της Agisoft, το οποίο είναι εμπορεύσιμο, αν και χαμηλού κόστους κι έχει χρησιμοποιηθεί σε αρκετές ψηφιοποιήσεις στον πολιτισμό, και το VisualSFM, το οποίο είναι ανοιχτού κώδικα. Συγκεκριμένα το *123D catch*, είναι φιλικό στη χρήση, το μόνο που χρειάζεται να κάνει κανείς είναι να ανεβάσει τις φωτογραφίες που τράβηξε. Θετικό είναι ότι παρέχει κάποια εργαλεία για βελτίωση ή επεξεργασία του αποτελέσματος. Στα αρνητικά του είναι η συνήθως μέτρια ανάλυση του τριδιάστατου αποτελέσματος, ότι απαιτείται να είναι συνεχώς συνδεδεμένο στο διαδίκτυο, συνθήκη όχι πάντα εφικτή στους αρχαιολογικούς χώρους, και ότι δεν υπάρχει δυνατότητα να παρέμβει ο χρήστης, ώστε να ρυθμίσει κάποιες παραμέτρους (Bernardes et al. 2014). Το *VisualSFM* δημιουργήθηκε στο Πανεπιστήμιο της Ουάσιγκτον και καταφέρνει να συνδυάσει τους αλγόριθμους SIFT και Bundle Adjustment ώστε να δίνει ένα αρκετά πυκνό πλέγμα, με υψηλή ακρίβεια. Στα μειονεκτήματά του είναι ότι απαιτείται αρκετός χρόνος ώστε να ολοκληρωθεί το μοντέλο (Kersten et al. 2012, Bernardes et al. 2014).

Επιπλέον δωρεάν λογισμικά είναι της Microsoft το Photosynth και το Bundler/PMVS2. Το *Photosynth* είναι ένα web-based λογισμικό, πολύ γρήγορο αλλά με χαμηλής ποιότητας αποτελέσματα και χωρίς δυνατότητα δημιουργίας πολυγωνικού

πλέγματος. Το *Bundler* χρησιμοποιείται σε πρώτη φάση για την εξαγωγή ενός αραιού νέφους σημείων και στη συνέχεια στο PMVS2 δημιουργείται ένα πυκνό νέφος σημείων με επιπλέον πληροφορία για το χρώμα (Kersten et al. 2012). Το *Bundler* και το *VisualSFM* έχουν το μειονέκτημα ότι η σωστή κλιμάκωση των αντικειμένων δεν παρέχεται, αλλά είναι δυνατή μόνο σε ξεχωριστό λογισμικό. Άλλη μια λύση εξειδικευμένη για αρχαιολόγους είναι το *ArcheOs*, το οποίο είναι ανοιχτού κώδικα λογισμικό για μη εμπορικές λύσεις (Green et al. 2014).

Το πρόγραμμα που επιλέχθηκε γι' αυτήν την εργασία είναι το PhotoScan (professional έκδοση) της ρωσικής εταιρίας AgiSoft LCC, το οποίο κυκλοφόρησε το 2010. Πρόκειται για ένα ολοκληρωμένο και εύκολο στη χρήση λογισμικό, με αρκετές εφαρμογές στην αρχαιολογία. Αυτό που κάνει είναι ότι εξάγει ένα τριδιάστατο μοντέλο μέσω συνηθισμένων φωτογραφιών, χρησιμοποιώντας αλγόριθμους της τεχνικής σχήμα από κίνηση και της πολυεικονικής στερεοφωτογράφισης. Το μεγάλο του πλεονέκτημα είναι ότι η όλη διαδικασία είναι σχεδόν αυτοματοποιημένη, το μόνο που χρειάζεται να κάνει ο χρήστης είναι να ρυθμίζει κάποιες παραμέτρους πριν από κάθε στάδιο δημιουργίας του μοντέλου (Fassi et al. 2013). Συνεπώς, είναι φιλικό για χρήστες μη εξειδικευμένους στην τεχνολογία. Επιπλέον, διαθέτει αρκετά εργαλεία για τη βελτιστοποίηση των μοντέλων σε διάφορα στάδια της διαδικασίας.

Συγκεκριμένα, το *Photoscan* σε πρώτη φάση, εφαρμόζει τη βασική προσέγγιση της τεχνικής της υπολογιστικής όρασης, δηλαδή βρίσκει τα κοινά σημεία των φωτογραφιών κι από αυτά υπολογίζει τη θέση της μηχανής. Σε δεύτερη φάση, εφαρμόζεται η πυκνή πολυεικονική στερεοφωτογράφιση (MVS), όπου με τη χρήση γειτονικών εικόνων προκύπτει το πυκνό νέφος σημείων. Εξαιτίας αυτού, η ολοκληρωμένη ονομασία της τεχνικής που εξετάζουμε, είναι SMF-MVS (Plets et al. 2012).

Η διαδικασία της επεξεργασίας των δεδομένων στο *PhotoScan* είναι εύκολη και αυτοματοποιημένη. Μπορεί να χωριστεί σε τέσσερα βασικά στάδια.

Το *πρώτο* είναι η ευθυγράμμιση (alignment) των φωτογραφιών. Σε αυτό το στάδιο το λογισμικό ανιχνεύει τα κοινά σημεία από όλες τις φωτογραφίες, τις θέσεις της φωτογραφικής μηχανής στο χώρο και υπολογίζει τις εσωτερικές παραμέτρους της. Σε αυτό το στάδιο χρησιμοποιείται και ο αλγόριθμος SIFT, που αναφέρθηκε παραπάνω, με τον οποίο γίνεται ανίχνευση των κοινών στοιχείων παρά τις διαφορές στην κλίμακα, στον προσανατολισμό ή στο φωτισμό των εικόνων (McCarthy 2014).

Αποτέλεσμα είναι να δημιουργηθεί ένα τριδιάστατο αραιό νέφος σημείων που αντιπροσωπεύει τη γεωμετρία του αντικειμένου κι επιπλέον να τοποθετηθούν οι φωτογραφίες σε σειρά (Barrile).

Το *δεύτερο* είναι η δημιουργία πυκνού νέφους σημείων. Αυτό πραγματοποιείται με το να ξανά αναλύσει το λογισμικό τις φωτογραφίες και με τη χρήση αλγόριθμων να υπολογίσει τις 3Δ συντεταγμένες πολλών περισσότερων σημείων. Ο μέγιστος αριθμός των κορυφών που θα δημιουργηθούν περιορίζεται θεωρητικώς από τον αριθμό των pixels στις φωτογραφίες και στην πράξη από τις δυνατότητες του υπολογιστή (McCarthy 2014). Κάθε σημείο ορίζεται από τρεις συντεταγμένες θέσης και από τρεις χρωματικές συνιστώσες. Σε αυτό το σημείο υπάρχει η δυνατότητα να επεξεργαστεί κανείς το υπάρχον μοντέλο πριν προχωρήσει στα επόμενα βήματα (Barrile).

Το *τρίτο* είναι η δημιουργία του τριγωνικού πλέγματος. Παρ' ότι το πυκνό νέφος σημείων δίνει μια ικανοποιητική εικόνα της γεωμετρίας του αντικειμένου, είναι όμως αναπόφευκτο ότι σε κάποια κλίμακα το αντικείμενο θα φαίνεται σαν αποκομμένες κουκίδες. Χρησιμοποιώντας σαν βάση το πυκνό νέφος σημείων, δημιουργείται η επιφάνεια ενός τριδιάστατου πολυγωνικού πλέγματος. Ως εκ τούτου είναι ιδανικό οι κουκίδες να ενωθούν μεταξύ τους, ώστε να δημιουργηθεί ένα πλέγμα και να υπάρξει μια συνεχής επιφάνεια (Ducke et al. 2011). Το πλέγμα αυτό δηλαδή αποτελείται από πολλά ακανόνιστα τριγωνικά πλέγματα, που το καθένα ορίζεται από τρεις κορυφές. Το χρώμα κάθε κορυφής έχει υπολογιστεί ως ο μέσος όρος της τιμής των αντίστοιχων εικονοστοιχείων (Douglass et al. 2015).

*Τέλος*, αφού ολοκληρωθεί η γεωμετρία του αντικειμένου ακολουθεί η δημιουργία φωτορεαλιστικής υφής. Αυτό γίνεται με τη χαρτογράφηση πληροφορίας υφής από μία ή περισσότερες φωτογραφίες. Δημιουργείται μια πλούσια υφή για κάθε πολύγωνο του μοντέλου.

Επιπλέον, το PhotoScan έχει τη δυνατότητα να εξάγει το 3Δ μοντέλο σε διαφόρων ειδών αρχεία χωρίς να υπάρξει απώλεια δεδομένων. Μπορεί ακόμα και να γίνει επεξεργασία του μοντέλου με το λογισμικό ανοιχτού κώδικα Meshlab, ώστε να εξαχθεί σε τέτοια μορφή που να είναι δυνατό να προβληθεί στο διαδίκτυο. Πολύ σημαντική είναι η επιλογή της εξαγωγής σε διδιάστατη ορθοπροβολή, ώστε να μπορούν να πραγματοποιηθούν μετρήσεις στο αντικείμενο (Plets et al. 2012, Howland et al. 2014). Επιπλέον μορφές στις οποίες μπορεί να εξαχθεί είναι σε ψηφιακό μοντέλο εδάφους, απλό pdf, νέφος σημείων ή στην πλήρη μορφή του ως αρχείο obj, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί από άλλα λογισμικά.

Σημαντικό είναι ότι οι φωτογραφίες που χρησιμοποιούνται μπορούν να ενεργοποιηθούν ή απενεργοποιηθούν σε οποιοδήποτε στάδιο της δημιουργίας του 3D μοντέλου. Μπορεί ακόμη και να γίνει επεξεργασία, ώστε να αφαιρεθούν τα στοιχεία της φωτογραφίας που είναι περιττά.

## 2.8. Εφαρμογές της τριδιάστατης ψηφιοποίησης στην κεραμική

Οι πληροφορίες που αντλούμε από τη μελέτη της κεραμικής έχουν διατυπωθεί σε πλήθος δημοσιευμάτων από τις απαρχές της επιστήμης της αρχαιολογίας. Οι πληροφορίες αυτές σχετίζονται κυρίως με τη χρονολόγηση της θέσης, τις εμπορικές και κοινωνικές δραστηριότητες, την τεχνολογική πρόοδο και τις πολιτικές και θρησκευτικές πεποιθήσεις. Οι μελετητές, στην προσπάθειά τους να αποδώσουν με όσο το δυνατό γίνεται μεγαλύτερη ακρίβεια την κεραμική που μελετούν, χρησιμοποιούν σχέδια (κυρίως για την απόδοση του σχήματος), φωτογραφίες (για την απόδοση λεπτομερειών και της διακόσμησης) και μια αναλυτική περιγραφή με χρήση ορολογίας (Mara 2009, Breuckmann et al. 2013). Στις μέρες μας όμως, η τεχνολογική πρόοδος έχει φτάσει σε τέτοιο σημείο που κάθε αγγείο ή θραύσμα να μπορεί να αποτυπωθεί τριδιάστατα διατηρώντας πλήθος πληροφοριών. Από την πλευρά της ψηφιοποίησης, η κεραμική είναι από τα πρώτα αρχαιολογικά ευρήματα στα οποία εφαρμόστηκε η ψηφιακή φωτογραμμετρία, αφενός γιατί είναι το πολυπληθέστερο εύρημα των ανασκαφών, αφετέρου γιατί διαθέτει συμμετρία άρα απλή γεωμετρία (Barreau et al. 2014).

Μια από τις πρώτες εφαρμογές της τριδιάστατης ψηφιοποίησης σε αγγεία συναντούμε στη δημοσίευση του Kampel et al. (2001). Στόχος ήταν να μελετηθεί όσο πιο ικανοποιητικά γίνεται η κεραμική και να εξαχθούν συμπεράσματα. Πράγματι έγινε εκτίμηση του όγκου των αγγείων και τα αποτελέσματα ήταν πιο ακριβή από την εκτίμηση που είχαν κάνει οι αρχαιολόγοι. Αυτό επιτεύχθηκε με την τεχνική Σχήμα από Σιλουέτα και τη δημιουργία μια αυτοματοποιημένης ροής εργασιών. Επίσης, κατάφεραν να μειώσουν έως και 50% του χρόνου που χρειάζεται ο υπολογιστής, χωρίς όμως να μειώσουν την ποιότητα του αποτελέσματος.

Μια μελέτη που παρουσιάζει ενδιαφέρον αφορά στην κεραμική από την περιοχή Nasca του Περού (Mara 2009). Το θέμα που είχαν να επιλύσουν οι ερευνητές, είναι ότι δεν είχαν αρκετές πληροφορίες για την τεχνολογία και την τυπολογία της

συγκεκριμένης κεραμικής. Αυτό συμβαίνει γιατί σώζονται κυρίως θραύσματα από τα αγγεία κι επιπλέον δεν υπάρχουν γραπτές πηγές, ώστε να έχουν πληροφορίες για τη χρονολογική τους τοποθέτηση. Γι' αυτό το λόγο δημιούργησαν μια γρήγορη και αυτοματοποιημένη μέθοδο, που βασίζεται στην τεχνική Σχήμα από Δομημένο Φως. Ψηφιοποίησαν δεκάδες θραύσματα, εξήγαγαν τα προφίλ τους και κατά συνέπεια συμπεράναν το σχήμα των αγγείων. Στη συνέχεια, κάνοντας συγκρίσεις, κατηγοριοποιώντας τα προφίλ και βγάζοντας ποσοστά, ήταν δυνατόν να οδηγηθούν σε συμπεράσματα για τις τεχνικές κατασκευής και την τεχνολογική και τυπολογική εξέλιξη της κεραμικής.

Μια άλλη έρευνα, που επίσης κάνει χρήση της τεχνικής Σχήμα από Δομημένο Φως, πραγματοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο της Χαϊδελβέργης με αγγεία από το Μουσείο Τέχνης της Βιέννης, που φέρουν εικονογραφικό διάκοσμο (Bechtold et al. 2010). Στόχος ήταν ο εικονογραφικός διάκοσμος που περιτρέχει το αγγείο να μπορέσει να αποδοθεί σαν μια ενιαία εικόνα. Το δύσκολο σημείο ήταν να επιτευχθεί αυτό χωρίς παραμορφώσεις. Πράγματι τα κατάφεραν με τη χρήση χαρτογραφικών μεθόδων και ειδικών αλγόριθμων που δημιουργήθηκαν ακριβώς γι' αυτή την εργασία.

Η τεχνική Σχήμα από Κίνηση εφαρμόζεται δειλά-δειλά στην αποτύπωση κεραμικής τα τελευταία χρόνια. Ο λόγος ήταν ότι τα προηγούμενα χρόνια επιλέγονταν οι τεχνικές Σχήμα από Σιλουέτα και Σχήμα από Δομημένο Φως, όπου παραδείγματά τους αναφέρθηκαν ήδη. Εξαιτίας όμως του χαμηλού της κόστους και των βελτιώσεων σε επίπεδο αλγόριθμων χρησιμοποιείται όλο και πιο συχνά. Ακολουθούν παραδείγματα εφαρμογών της από την τελευταία πενταετία.

Μία ολοκληρωμένη εφαρμογή των μεθόδων ψηφιακής αποτύπωσης, διαχείρισης και προβολής, συναντάμε στην εργασία των Barreau et al. (2014). Το αντικείμενο μελέτης ήταν θραύσματα αγγείων από δύο διαφορετικές θέσεις στη Γαλλία, η μία της Εποχής του Χαλκού και η άλλη της Εποχής του Σιδήρου. Σκοπός της μελέτης τους ήταν αρχικά να ψηφιοποιήσουν τα θραύσματα αγγείων με τη μέθοδο SFM, στη συνέχεια να γίνει ψηφιακή συγκόλληση των θραυσμάτων και συμπλήρωση τμημάτων με τα λογισμικά Meshlab και Blender και στο τέλος να πραγματοποιηθεί τριδιάστατη εκτύπωση μερικών αγγείων.

Επίσης το 2014 (Gianolio et al. 2014), εφαρμόστηκε η SFM σε κεραμική του 4<sup>ου</sup>-6<sup>ου</sup> αι. π.Χ. από την περιοχή Sarno της Καμπανίας. Η κεραμική αυτή προέρχεται από μια Νεκρόπολη με 2100 τάφους. Εκεί βρέθηκαν συνολικά 100.000 ευρήματα



ανάμεσα στα οποία ήταν και αγγεία. Η ψηφιοποίηση πραγματοποιήθηκε με σκοπό την ανάλυση, τη μελέτη και την παρουσίαση των ευρημάτων.

Επίσης από την Ιταλία και συγκεκριμένα τη Σικελία είναι η μελέτη (Avella et al. 2015) που πραγματοποιήθηκε σε ισλαμική κεραμική του 10<sup>ου</sup>-11<sup>ου</sup> αι. μ.Χ. Σκοπός σε πρώτη φάση ήταν η δημιουργία μιας ψηφιακής βάσης δεδομένων της συγκεκριμένης κεραμικής με τη χρήση SFM και σε δεύτερη φάση η χρήση αυτών των μοντέλων σε εφαρμογές εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε εικονική αποκατάσταση και τριδιάστατη εκτύπωση.

Σε μια ακόμα πιο πρόσφατη έρευνα (Zvietcovich et al. 2016), πραγματοποιήθηκε συνδυασμός των μεθόδων SFM και Τριγωνισμός με ακτίνες λέιζερ. Το αντικείμενο προς ψηφιοποίηση ήταν αγγεία Προ-Κολομβιανής Εποχής από την αρχαιολογική θέση San Jose de Moro στο βόρειο Περού. Ονομάζονται raicas και πρόκειται για τοπικά αγγεία με χαρακτηριστικό οβάλ σχήμα, που χρησίμευαν για αποθήκευση υγρών και στερεών και σχετίζονται με νεκρικές τελετουργίες. 35 ακέραια τέτοια αγγεία ψηφιοποιήθηκαν με τη μέθοδο SFM ενώ θραύσματα ψηφιοποιήθηκαν με χρήση ακτίνων λέιζερ. Στόχος ήταν να γίνει εικονική αποκατάσταση των θραυσμάτων με σύγκριση των ακέραιων ψηφιακών μοντέλων.

Συνοψίζοντας, είδαμε ότι η τεχνική Σχήμα από Κίνηση επικρατεί σταδιακά τα λίγα τελευταία χρόνια, πέρα από την ψηφιοποίηση αρχαιολογικών χώρων, συναντάται όλο και συχνότερα στην ψηφιοποίηση θραυσμάτων αγγείων ή ακέραιων αγγείων. Εφαρμογές της βλέπουμε σε διαφορετικά μέρη και σε διαφορετικές χρονολογικές περιόδους. Επίσης, μπορεί να συνδυαστεί με άλλες τεχνικές. Σημαντικό είναι να τονιστεί ότι η τριδιάστατη ψηφιοποίηση των αγγείων μπορεί να πραγματοποιηθεί για διάφορους σκοπούς. Ένα από αυτούς είναι να απαντηθούν ερωτήματα για τη χρήση των αγγείων (βάση πληροφοριών, ακόμη και από θραύσματα, για τον όγκο τους και το σχήμα τους) . Μπορεί να δημιουργηθεί ένας ψηφιακός κατάλογος με παράλληλη προβολή στο διαδίκτυο. Επίσης, μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για την τυπολογία των σχημάτων και την εξέλιξη των τεχνικών παρασκευής.

## 2.9. Εφαρμογές της τριδιάστατης ψηφιοποίησης στην παλαιοντολογία

Σε γενικές γραμμές τα ίδια δεδομένα και προβληματισμοί, που διέπουν την τριδιάστατη ψηφιοποίηση αρχαιολογικών ευρημάτων, ισχύουν και για τα απολιθωμένα ή μη οστά ζώων. Υπάρχουν όμως κάποιες ιδιαιτερότητες. Σε αντίθεση με τα δημιουργήματα του ανθρώπου που χαρακτηρίζονται από συμμετρία κι απλότητα στη γεωμετρία, τα οστά (όπως κι όλα τα βιολογικά υλικά), χαρακτηρίζονται από εξαιρετικά πολύπλοκη δομή, τόσο εσωτερικά όσο και στην επιφάνεια. Αυτό καθιστά δύσκολη οποιαδήποτε αναπαράστασή τους. Επίσης, όταν αναφερόμαστε σε εξαφανισμένα είδη ζώων, πρέπει να έχουμε υπόψη ότι κάθε οστό που βρίσκεται παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον και όλοι οι παλαιοντολόγοι θα ήθελαν να έχουν πρόσβαση σε αυτό.

Μια από τις πρώτες και βασικές εργασίες που καλείται να φέρει εις πέρας ένας αρχαιοζωολόγος ή παλαιοντολόγος είναι να αναγνωρίσει από ποιο ζώο και από πιο ανατομικό μέρος του σκελετού προέρχεται ένα οστό. Αυτό συμβαίνει γιατί στην πλειοψηφία των περιπτώσεων δεν σώζεται ακέραιος ο σκελετός ενός ζώου, αλλά τα οστά από πολλά και διαφορετικά ζώα βρίσκονται ανακατεμένα και ως επί το πλείστον θραυσμένα. Μέχρι πρότινος η αναγνώριση του οστού γινόταν με τη βοήθεια δύο τρόπων. Ο ένας τρόπος είναι να ανατρέξει κανείς σε σχετικές δημοσιεύσεις και άτλαντες με σχέδια οστών. Υπάρχουν άτλαντες ανά οικογένεια ζώων ή ανά περίοδο. Ο άλλος τρόπος είναι να χρησιμοποιήσει συγκριτικό υλικό, δηλαδή οστά ζώων από ανασκαφές που έχουν ήδη μελετηθεί ή από οστά σύγχρονων ζώων (με την προϋπόθεση τα προς μελέτη οστά να είναι από ζώα μη εξαφανισμένα). Συγκριτικό υλικό ταξινομημένο ανά είδος βρίσκεται σχεδόν σε όλα τα εργαστήρια και πανεπιστήμια, που ασχολούνται με την παλαιοντολογία ή ακόμη διαθέτει ο ίδιος ο ερευνητής σαν προσωπική συλλογή. Ο κάθε ένας από αυτούς τους τρόπους έχει από ένα βασικό μειονέκτημα. Από τη μία, τα σχέδια παρέχουν διδιάστατη πληροφορία, η οποία δεν είναι πάντα αρκετή για να αναγνωριστεί ένα οστό, κυρίως όταν πρόκειται για θραύσμα. Με άλλα λόγια, δεν είναι συνήθως εύκολο να αντιπαραβάλει κανείς ένα θραύσμα οστού που κρατάει στα χέρια του με ένα σχέδιο. Από την άλλη, το συγκριτικό υλικό είναι εξαιρετικά χρήσιμο, παρέχοντας όλη την πληροφορία που απαιτείται, αλλά δεν είναι συνήθως εύκολο να μεταφερθεί εκτός εργαστηρίου. Ειδικά σε περιπτώσεις κατά τις οποίες η μελέτη γίνεται στο πεδίο και σε απομακρυσμένη περιοχή από το εργαστήριο, ο επιστήμονας δεν έχει πρόσβαση σε αυτό. Η τριδιάστατη ψηφιοποίηση παλαιοντολογικών ευρημάτων αποτελεί μία εύχρηστη λύση γι' αυτό το θέμα. Τα 3D

μοντέλα των οστών είτε βρίσκονται στο διαδίκτυο είτε σε έναν προσωπικό υπολογιστή παρέχουν απρόσκοπτη πρόσβαση σε οποιοδήποτε μέρος και παράλληλα όλη την απαραίτητη πληροφορία για να πραγματοποιηθεί η αναγνώριση.

Πέρα από αυτή τη χρησιμότητα των 3D μοντέλων, η προβολή τους σε μουσεία και στο διαδίκτυο είναι ωφέλιμη όχι μόνο για τους επιστήμονες αλλά και για το ευρύ κοινό. Τα μοντέλα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε για εκπαιδευτικούς σκοπούς είτε ακόμα και για ψυχαγωγικούς (π.χ. παιχνίδια). Μην ξεχνάμε ότι η αγάπη και το ενδιαφέρον παιδιών και ενηλίκων για εξαφανισμένα προϊστορικά ζώα είναι γνωστή και την έχει αξιοποιήσει η βιομηχανία του θεάματος με την παραγωγή πληθώρας σχετικών κινηματογραφικών ταινιών.

Οι μέθοδοι για την τριδιάστατη αποτύπωση απολιθωμένων ή μη οστών είναι σχεδόν οι ίδιες με αυτές που έχουν αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, με μία όμως διαφοροποίηση που σχετίζεται με την περίπλοκη δομή των οστών. Η κυρίαρχη μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι η τομογραφία γιατί αποδίδει όχι μόνο την εξωτερική γεωμετρία αλλά και την εσωτερική δομή του οστού. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε ήδη από το 1904 στη μελέτη απολιθωμένων οργανισμών. Πολύ αργότερα πλέον συνδυάστηκε η μέθοδος αυτή με τις ακτίνες X με αποτέλεσμα την υπολογιστική Τομογραφία Ακτίνων X (X-Ray CT), η οποία δίνει πολύ θεαματικότερα αποτελέσματα. Το πρώτο απολίθωμα που μελετήθηκε με αυτή ήταν ένα δείγμα του *Archaeopteryx lithographica*. Ένα όμως βασικό μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι δεν δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα όταν δεν υπάρχει έντονη χημική διαφοροποίηση στο αντικείμενο που μελετάται. Οστά δηλαδή που έχουν προκύψει από ασβεστολιθικά ιζήματα κι άρα πλέον η χημική σύσταση του οστού είναι κυρίως ασβέστης δεν έχει αποτέλεσμα να ακτινοβοληθούν με ακτίνες X. Σε τέτοιες περιπτώσεις υπάρχουν στις μέρες μας ακόμα πιο εξελιγμένες μέθοδοι τομογραφίας, όπως η synchrotron-radiation tomography και η ion-beam tomography. Η δεύτερη μάλιστα παρέχει εξαιρετικά υψηλή ανάλυση. Το βασικό μειονέκτημα όλων αυτών των μεθόδων είναι ότι οι τομογράφοι βρίσκονται σε μεγάλα νοσοκομεία. Συνεπώς αφού επιτραπεί η πρόσβαση για κάτι τέτοιο τα οστά πρέπει να μεταφερθούν εκεί. Συνθήκη που τις περισσότερες φορές δεν είναι εύκολο να εφαρμοστεί (Cunningham et al. 2014, Mallison 2011).

Σε αρκετές όμως περιπτώσεις μελέτης απολιθωμένων οστών δεν χρειάζεται να αποτυπωθεί η εσωτερική δομή αλλά αρκεί η μορφολογία της εξωτερικής επιφάνειας. Σε αυτήν την περίπτωση δύο είναι οι τεχνικές που προτιμώνται. Η τεχνική με ακτίνες

λείζερ, η οποία είναι κι η πιο δημοφιλής και η φωτογραμμετρική μέθοδος Σχήμα από Κίνηση, η οποία κερδίζει έδαφος τα τελευταία χρόνια. Οι σαρωτές λείζερ αποδίδουν αποτελέσματα με υψηλή ανάλυση και παρότι τα προηγούμενα χρόνια το κόστος τους ήταν μεγάλο, όσο εξελίσσεται η τεχνολογία παράγονται σαρωτές πιο οικονομικοί και φορητοί. Η Σχήμα από Κίνηση έχει δύο βασικά πλεονεκτήματα, ότι αφενός είναι η πιο οικονομική μέθοδος, αφού αρκεί μια φωτογραφική μηχανή κι ένας υπολογιστής κι αφετέρου είναι πολύ εύκολη χωρίς να απαιτούνται εξειδικευμένες τεχνικές γνώσεις. Σύντομα φτάνουμε στο σημείο όπου ο ερευνητής έχοντας ένα κινητό, το οποίο διαθέτει κάμερα υψηλής ανάλυσης και καλό επεξεργαστή, θα μπορεί γρήγορα κι αποτελεσματικά να δημιουργήσει το 3Δ μοντέλο του αντικείμενου που μελετάει κι άμεσα να το κοινοποιεί σε συναδέλφους (Falkingham 2012, Cunningham et al. 2014).

Μια έρευνα που αξίζει να αναφερθεί ως παράδειγμα εφαρμογής της 3Δ ψηφιοποίησης σε οστά ζώων είναι των Evin et al. (2016). Σκοπός της έρευνας ήταν να διερευνηθεί κατά πόσο είναι ικανοποιητικά τα αποτελέσματα ψηφιοποίησης με φωτογραμμετρικές μεθόδους ως προς την απόδοση του χρώματος, της υφής και της γεωμετρίας. Τα οστά προς ψηφιοποίηση ήταν κρανία λύκων. Τα κρανία είναι από τα πιο ιδιαίτερα οστά ως προς την ανατομική πολυπλοκότητα, λόγω των διαφόρων κοιλιοτήτων, εσοχών, οπών και ιδιαίτερων σημείων. Έγινε σύγκριση της μεθόδου SFM με τη Σχήμα από Δομημένο Φως. Οι διαφορές των μοντέλων της κάθε μεθόδου ως προς την ανάλυση ήταν μικρότερες του 0.5 χιλιοστών, άρα η απόδοση της εμφάνισης και της γεωμετρίας ήταν αρκετά παρόμοιες και το τελικό συμπέρασμα των ερευνητών ήταν ότι η SFM δεν στερείται τίποτα έναντι των υπόλοιπων τεχνικών.

Οι δυνατότητες της 3Δ ψηφιοποίησης παλαιοντολογικών ευρημάτων διερευνήθηκαν από το Γεωλογικό Πανεπιστήμιο Αθηνών σε συνεργασία με άλλα ελληνικά πανεπιστήμια. Οι επιστήμονες προχώρησαν στην τριδιάστατη ψηφιοποίηση απολιθωμένων οστών που προέρχονται από το εξαφανισμένο είδος *Elephas Tiliensis*, το οποίο έζησε στην Τήλο κι εξαφανίστηκε 3.500 χρόνια πριν από σήμερα. Η ψηφιοποίηση πραγματοποιήθηκε κάνοντας χρήση των μεθόδων σάρωσης με λείζερ και τομογραφίας. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε τριδιάστατη εκτύπωση των οστών ώστε να εκτεθούν συναρμολογημένα σε τριδιάστατο σκελετό σε έκθεση του Μουσείου Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών.

Όσον αφορά τώρα στο κομμάτι της προβολής 3Δ μοντέλων που προέρχονται από απολιθωμένα ή μη οστά ζώων, θα ακολουθήσει μια σύντομη αναφορά σε

ιστοσελίδες που είναι αποκλειστικά αφιερωμένες στη διάχυση πληροφορίας για οστά ή απολιθώματα γενικότερα.

Η ιστοσελίδα [UMORF](#) (University of Michigan Online Repository Fossils) ανήκει στο Μουσείο Παλαιοντολογίας του Πανεπιστημίου Μίσιγκαν. Σε αυτήν υπάρχουν 3D μοντέλα από μεμονωμένα οστά αλλά και ολόκληροι σκελετοί. Για την ψηφιοποίηση εφαρμόστηκαν οι μέθοδοι της φωτογραμμετρίας, της σάρωσης με λέιζερ και της τομογραφίας με ακτίνες Χ. Φαίνεται να απευθύνεται σε ειδικούς και μη.

Η ιστοσελίδα [virtual fossils](#) διαθέτει κυρίως απολιθώματα αλλά και οστά, προερχόμενα από διαφορετικά μουσεία και διαφορετικές χώρες. Ως μέθοδος ψηφιοποίησης έχει χρησιμοποιηθεί κυρίως η τομογραφία. Κάθε 3D δείγμα συνοδεύεται από πληροφορίες σε κείμενο.

Η ιστοσελίδα [Megafauna 3d](#) είναι ίσως η πιο όμορφη σχεδιαστικά και φαίνεται να απευθύνεται στο ευρύ κοινό. Τα οστά που παρουσιάζονται ανήκουν σε μια ομάδα. Προέρχονται όλα από την εξαφανισμένη πανίδα της Νότιας Αμερικής που κυριαρχούσε στο τέλος την εποχή του Πλειστοκαίνου. Τα ψηφιοποιημένα οστά συνοδεύονται από υποθετικές 3D αναπαραστάσεις των ζώων. Τα οστά ψηφιοποιήθηκαν με τις μεθόδους Σχήμα από Δομημένο Φως, φωτογραμμετρία και αξονική τομογραφία.

Σε οστά συγκεκριμένης περιόδου είναι αφιερωμένη και η ιστοσελίδα [Paleoview3d](#). Πρόκειται για ζώα που έζησαν στη Βόρεια Αμερική κατά το τέλος του Παλαιόκαινου και στις αρχές του Ηώκαινου. Οι ψηφιοποιήσεις έγιναν με σάρωση με ακτίνες λέιζερ.

Μεγάλη ποικιλία σε οστά από διάφορων ειδών ζώα, εξαφανισμένα και μη, διαθέτει η ιστοσελίδα [DigiMorph](#) του Πανεπιστημίου του Τέξας. Οι ψηφιοποιήσεις έχουν γίνει με τη μέθοδο τομογραφίας με ακτίνες Χ. Κάποια από τα 3D μοντέλα διατίθενται και για τριδιάστατη εκτύπωση.

Η ιστοσελίδα [PaleoTeach](#) είναι μια συνεργασία του Μουσείου Φυσικής Ιστορίας της Φλόριντας και του πανεπιστημίου Duke της Αγγλίας. Η ιδιαιτερότητα της είναι ότι απευθύνεται αποκλειστικά σε μαθητές και στους δασκάλους τους, παρέχοντας ακόμη και ολοκληρωμένα μαθήματα για την τάξη. Του ίδιου πανεπιστημίου είναι και η ιστοσελίδα [Morphosource](#). Σε αυτήν μπορεί οποιοσδήποτε οργανισμός ή επιστήμονας να ανεβάσει 3D ψηφιοποιημένα οστά και παράλληλα ο καθένας μπορεί να τα κατεβάσει, αφού έχει κάνει εγγραφή ως χρήστης.

Η [aves3D](#) είναι μια ιστοσελίδα αφιερωμένη αποκλειστικά σε οστά πτηνών. Διαθέτει μεγάλη ποικιλία και φαίνεται να απευθύνεται περισσότερο σε ειδικούς. Οι ψηφιοποιήσεις έγιναν με σάρωση ακτίνων λέιζερ. Μια ακόμη ιστοσελίδα με συγκεκριμένη κατηγορία απολιθωμάτων είναι η [MorphoBrowser](#). Διαθέτει αποκλειστικά δόντια θηλαστικών. Οι ψηφιοποιήσεις έγιναν με σαρωτή λέιζερ κι αξονικό τομογράφο. Αποτελεί δημιούργημα του Ινστιτούτου Βιοτεχνολογίας του Πανεπιστημίου Ελσίνκι.

Οι ιστοσελίδες που αναφέρθηκαν απευθύνονται σε μεγάλη γκάμα χρηστών του διαδικτύου, σε ειδικούς και μη, σε όλες τις ηλικίες, σε ανθρώπους που βρήκαν την ιστοσελίδα από απλή περιέργεια, σε φανατικούς ερασιτέχνες των απολιθωμάτων που θέλουν να εντυφήσουν παραπάνω και σε επιστήμονες που θέλουν να χρησιμοποιήσουν τα μοντέλα για την έρευνα τους. Τα επόμενα χρόνια και με την αυξανόμενη χρήση φωτογραμμετρικών μεθόδων, που είναι απλές σε χρήση, προβλέπεται να αυξηθούν κατά πολύ τα 3D μοντέλα οστών που θα είναι εύκολα προσβάσιμα σε όλους τους χρήστες του διαδικτύου.

### 3. Σπήλαιο Πηγών Αγγίτη (Μααρά)

#### 3.1. Γενικές Πληροφορίες

Η είσοδος του σπηλαιίου των Πηγών Αγγίτη ή αλλιώς γνωστό και ως Μααρά βρίσκεται κοντά στο δήμο Προσοτσάνης, συγκεκριμένα στα 23 χιλιόμετρα δυτικά της πόλης της Δράμας και σε υψόμετρο 127μ. στους νότιους πρόποδες του όρους Φαλακρό (στο βουνό Άγιος Παύλος), το οποίο ανήκει στην οροσειρά της Δυτικής Ροδόπης (βλ.εικ.6). Χαρακτηριστικό του

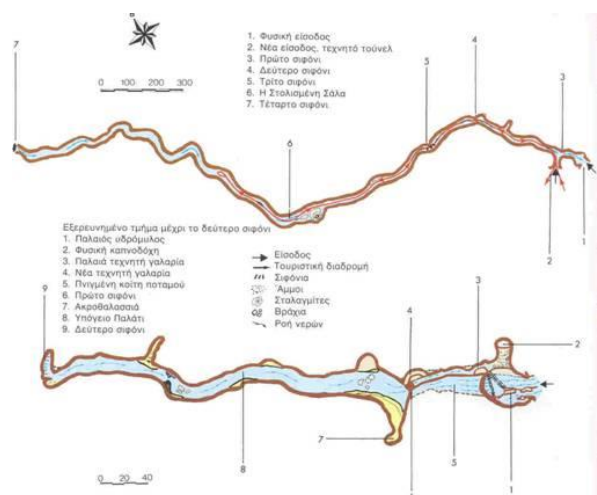


Εικ.6: Χάρτης με το σπήλαιο

σπηλαιίου είναι ότι φιλοξενεί εν ενεργεία «υπόγειο ποταμό». Πρόκειται για τον ποταμό Αγγίτη, το μεγαλύτερο εν ενεργεία υπόγειο ποτάμι στην Ελλάδα, το οποίο σχηματίζεται κυρίως από τα αποστραγγιζόμενα ύδατα της λεκάνης του Κάτω Νευροκοπίου, εξέρχεται από το άνοιγμα του σπηλαιίου (δολίνη) και αφού διατρέξει τον κάμπο της Δράμας, καταλήγει στον ποταμό Στρυμόνα (Μαρίνος et al. 1989, Trantalidou et al. 2007b).

Όσον αφορά στη μορφολογία του σπηλαιίου, το σπήλαιο αποτελεί ένα σχεδόν οριζόντιο καρστικό αγωγό μήκους περίπου 12 χιλιομέτρων ( η διαδρομή όμως του

ποταμού δεν είναι ευθεία κι έτσι φθάνει στα 18-21 χιλιόμετρα), η διάμετρος του ποικίλλει από 1 έως 20μ., υπάρχουν όμως και αίθουσες με διαστάσεις 30x40μ. καθώς και χαμηλές στενώσεις με διαστάσεις έως 0.5μ που εμποδίζουν την προσπέλαση του ανθρώπου (βλ.εικ.7). Η απόσταση του σπηλαιίου από την επιφάνεια του εδάφους, κυμαίνεται από 0.40μ. έως 2 μέτρα στο άνοιγμα, ενώ η θέση



Εικ.7: Σκαρίφημα του σπηλαιίου.

του ανοίγματος έχει δημιουργηθεί από ρήγμα. Ο πυθμένας του σπηλαιίου είναι

αμμώδης και σκεπασμένος με νερό και το πάχος των προσχώσεων του πυθμένα φαίνεται να υπερβαίνει τα 10μ. Η μέση ετήσια μεταβολή της στάθμης του νερού μέσα στο σπήλαιο είναι 1,20μ. Το εσωτερικό του σπηλαίου διακοσμείται από σταλακτίτες, πολλοί από τους οποίους φθάνουν στο αμμώδες έδαφος. Το χρώμα τους έχει διάφορες αποχρώσεις του καφέ. Η μεγαλύτερη και πιο εντυπωσιακή αίθουσα (σε αυτήν βρίσκεται ο μεγαλύτερος σταλαγμίτης του σπηλαίου), ονομάζεται «Αίθουσα της Ακρόπολης» αλλά δεν είναι επισκέψιμη για τον ευρύ κοινό. Χαρακτηριστική είναι η έλλειψη σταλαγμιτών σε μεγάλα τμήματα του σπηλαίου, που δικαιολογείται από τη συνεχή ύπαρξη ρέοντος νερού (Μαρίνος et al. 1989, Trantalidou et al. 2007b).

Όσον αφορά στην πανίδα στο εσωτερικό του σπηλαίου, φωλιάζουν ευκαιριακά ή ζουν μόνιμα 37 είδη ζώων, κυρίως μικροπανίδα αλλά και λίγα ψάρια, νυχτερίδες και μεγαλύτερα θηλαστικά όπως η βίδρα και ο μυοκάστορας (Τρανταλίδου 2004).

Πέρα από τα αρχαιολογικά ευρήματα που θα αναφερθούν παρακάτω, στην πρώτη αίθουσα υπάρχει ένας υδροτροχός, ο οποίος φαίνεται να χρησιμοποιήθηκε από τα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα έως το 1960 και χρησίμευε για την ύδρευση των κατοίκων και την άρδευση των χωραφιών καπνού. Πρόκειται για έναν υδραυλικό τροχό διαμέτρου 8 μέτρων, ο οποίος αρχικά ήταν ξύλινος κι αργότερα σιδερένιος. Γι' αυτό το λόγο, η πρώτη αυτή αίθουσα ονομάζεται και αίθουσα του μύλου. Σημειώνεται ότι το ποτάμι εξέρχεται από ένα χαμηλό και πλατύ άνοιγμα, που βρίσκεται στα νότια της αίθουσας του μύλου (Τρανταλίδου 2004) (βλ.εικ.8).



Εικ.8: Αίθουσα του Μύλου.

Όσον αφορά στην τουριστική αξιοποίηση του σπηλαίου, το σπήλαιο έγινε επισκέψιμο το 2000, με μια διαδρομή 500 μέτρων. Έχει εσωτερική σταθερή θερμοκρασία 17°C, ο επισκέπτης προχωρά σε διάδρομο πάνω από το ποτάμι και αντίθετα με τη ροή του νερού. Στην αίθουσα του μύλου πέρα από αυτά που περιγράψαμε παραπάνω, είναι εντυπωσιακό το άνοιγμα στην οροφή, με διαστάσεις 8x12 μέτρα. Αυτή πρέπει να ήταν κι η είσοδος των κατοίκων των γύρω περιοχών. Εξίσου εντυπωσιακό είναι και το τοξωτό άνοιγμα από το οποίο ξεχύνονται με ορμή τα νερά του ποταμού στην πεδιάδα, δημιουργώντας για τους επισκέπτες ένα περιβάλλον ανάπαυλας και δροσιάς.



### 3.2. Ιστορικό της έρευνας

Ο πρώτος που περιέγραψε το σπήλαιο είναι -τον 18ο αιώνα- ο Γάλλος πρόξενος και περιηγητής Esprit-Marie Cousinéry. Ο Cousinéry ταξίδεψε στη Μακεδονία για 40 χρόνια και τελικά έγραψε ένα βιβλίο με τη μορφή οδοιπορικού. Τότε μάλιστα, όπως αναφέρει στην περιγραφή του, η είσοδος δεν ήταν εύκολα προσπελάσιμη εξαιτίας πεσμένων μαρμάρων που την έφραζαν. Σημαντικό είναι ότι αναφέρει ότι υπήρχαν στην πρώτη αίθουσα κάποια κατάλοιπα ιστορικών χρόνων τα οποία όμως δεν βρέθηκαν στη σύγχρονη εξερεύνηση του σπηλαίου. Κατά τα άλλα, περιγράφει με ακρίβεια την πρώτη αίθουσα του σπηλαίου (Τρανταλίδου 2004).

Τον 20<sup>ο</sup> αιώνα, η πρώτη προσπάθεια έγινε το 1952 από το ζεύγος Πετρόχειλου, αλλά το πρώτο στένωμα στα 70 μέτρα δεν τους άφησε να προχωρήσουν παρακάτω. Το 1978 η έρευνα του σπηλαίου επιτεύχθηκε σταδιακά από την Ελληνική Σπηλαιολογική Εταιρεία και από ομάδα Γάλλων σπηλαιολόγων μέσω κατάδυσης. Αρχικά ανακαλύφθηκε ένα τμήμα 500 μέτρων. Σε επόμενη περίοδο μελέτης, το 1987, και σε περίοδο χαμηλών νερών, διερευνήθηκε τμήμα του σπηλαίου από τα 700 έως τα 2600μ. Μέχρι σήμερα η γαλλική αποστολή έχει εξερευνήσει 10 χιλιόμετρα. Το 1983 το εργαστήριο τεχνικής γεωλογίας του Δημοκρίτειο Πανεπιστημίου Θράκης ανέλαβε τη μελέτη για την τεχνική αξιολόγηση του σπηλαίου με σκοπό την τουριστική του αξιοποίηση (Μαρίνος et al. 1989, Τρανταλίδου 2004).

Η αρχαιολογική έρευνα πραγματοποιήθηκε από την εφορεία Σπηλαιολογίας και Ανθρωπολογίας, κατά τη διάρκεια ολιγοήμερων παραμονών στην περιοχή κατά τα έτη 1992, 1994, 1997, 1999 και χρηματοδοτήθηκε για το μεγαλύτερο μέρος της από τη Νομαρχία Δράμας. Πραγματοποιήθηκε έρευνα σε έκταση 240 τ.μ. και πάχος 1μ. και διαπιστώθηκε ότι η έκταση που σχετίζεται με ανθρώπινα κατάλοιπα δεν ξεπερνάει τα 100 τ.μ. και το πάχος των επιχώσεων αυτών είναι κατά μέσο όρο 0,30μ (Trantalidou et al. 2007a).

### 3.3. Αποτελέσματα ανασκαφικής έρευνας

Κατά μήκος του σπηλαίου υπάρχουν διευρύνσεις (αίθουσες). Μόνο όμως στην πρώτη αίθουσα είναι δυνατόν να υπήρξε ανθρώπινη παρουσία, στις υπόλοιπες αίθουσες δεν θα ήταν δυνατή η πρόσβαση εξαιτίας των στενωμάτων και του ύψους του νερού ενώ υπάρχει και πλήρης έλλειψη ηλιακού φωτός. Η πρώτη αίθουσα λοιπόν διαθέτει ημίφως, ποικιλία φυτικών και ζωικών οργανισμών και εύκολη πρόσβαση. Σε αυτήν την αίθουσα, στη νοτιοανατολική παρειά και σε μικρή εσοχή των τοιχωμάτων, είχαν δημιουργηθεί από τη Νεότερη Νεολιθική έως και την Πρώιμη Εποχή του Χαλκού δύο αναβαθμίδες ώστε να διευθετηθεί η κλίση του εδάφους. Οι δύο αυτές βαθμίδες διαμόρφωναν ένα μικρό πλάτωμα διαστάσεων 10x12 μέτρων. Πρόκειται για μια εγκατάσταση στο πιο φωτεινό και προστατευμένο χώρο του σπηλαίου (Trantalidou et al. 2007a, Trantalidou et al. 2007b).

Η εγκατάσταση φαίνεται να ήταν σύντομη και επαναλαμβανόμενη, όπως φαίνεται από τη μικρή έκταση, τις λεπτές επιχώσεις και τα περιορισμένα ευρήματα. Στις δύο βαθμίδες βρέθηκαν τέσσερις εστίες οριοθετημένες από αργούς λίθους. Επίσης, βρέθηκαν λάκκοι που είχαν δεχθεί απορρίμματα. Στα κινητά ευρήματα, που βρέθηκαν στις εστίες ή γύρω από αυτές, περιλαμβάνονται όστρακα, πήλινα σφονδύλια, μικκύλο αγγείο, οστά ζώων, λίθινα εργαλεία και κοσμήματα (ένα περίαπτο από δόντι αγριόχοιρου και θαλάσσια όστρεα με τεχνητή διάτρηση) (Trantalidou et al. 2007a, Trantalidou et al. 2007b).

Οι κάτοικοι του σπηλαίου φαίνεται να ήταν μετακινούμενοι κυνηγοί-κτηνοτρόφοι που έφεραν μαζί τους την οικοσκευή τους. Όσον αφορά στη χρονολογική τοποθέτηση της χρήσης του σπηλαίου με βάση τους τύπους των αγγείων, χρησιμοποιήθηκε σίγουρα στη χαλκολιθική εποχή, ίσως κάπως νωρίτερα στη Νεότερη Νεολιθική και πιθανά αργότερα στην Πρώιμη εποχή του Χαλκού. Όσον αφορά στην διατροφή των κατοίκων του σπηλαίου, σύμφωνα με τα αρχαιοζωολογικά κατάλοιπα, το 98% των οστών που βρέθηκαν είναι κατάλοιπα διατροφής επειδή τα συγκεκριμένα ζώα φέρουν ίχνη από κοφτερά εργαλεία. Πρόκειται για βοοειδή, αίγα, πρόβατο, οικόσιτο χοίρο, κόκκινο ελάφι, ζαρκάδι, λαγό, αγριόγιδο, σκύλο, κάστορα. Σημαντικό είναι ότι το ποσοστό του 28% άγριων ζώων στο σύνολο όσων καταναλώθηκαν είναι από τα υψηλότερα για την περίοδο αυτή στον ελλαδικό χώρο (Τρανταλίδου 2004). Ζώα όπως η αρκούδα, αλεπού, νυφίτσα, αγριόγατα πιθανότατα θηρεύονται για τη γούνα

τους. Όσον αφορά στη βλάστηση, στην περιοχή γύρω από το σπήλαιο κατά την 4<sup>η</sup> χιλιετία π.Χ., θα πρέπει να ήταν αραιή και στη σύνθεση της κυριαρχούσαν ηλιόφιλα είδη και μάλιστα τα πιο ανθεκτικά σε φτωχά εδάφη (Trantalidou et al. 2007a, Trantalidou et al. 2007b).

### 3.4. Αγγεία που ψηφιοποιήθηκαν

Η κεραμική αποτελείται σχεδόν αποκλειστικά από μονόχρωμα χρηστικά αγγεία. Διακρίνεται σε τέσσερις κατηγορίες. Στα ανοιχτά ρηγά για την κατανάλωση του φαγητού, στα ανοιχτά βαθιά για την προετοιμασία του φαγητού, στα ανοιχτά αποθηκευτικά αγγεία και στα κλειστά που ήταν για μεταφορά. Η απόχρωση τους ανάλογα με τις συνθήκες όπτησης ήταν σκουρόχρωμη, τεφρή, μελανή, καστανή και καστανέρυθρη (Trantalidou et al. 2007a). Η επεξεργασία της επιφάνειας των οστράκων διακρίνεται σε αδρή, λειασμένη και στιλβωτή. Ο πηλός είναι ερυθρώπός και προέρχεται από την πεδιάδα της Δράμας, αν και δεν βρέθηκαν στοιχεία που να δείχνουν την κατασκευή των αγγείων μέσα ή γύρω από το σπήλαιο. Τα αγγεία πλάθονται με την τεχνική της κουλούρας. Σε κάποια αγγεία οι κουλούρες είναι ορατές στην επιφάνεια. Η όπτηση πρέπει να γινόταν σε ανοιχτούς υπαίθριους φούρνους. Συνολικά, φαίνεται να υπάρχει ποικιλομορφία στην τυπολογία αλλά και ομοιότητα με σχήματα που καλύπτουν ένα ευρύ γεωγραφικό χώρο (Trantalidou et al. 2007b).

Ακολουθεί περιγραφή των έξι αγγείων που ψηφιοποιήθηκαν. Η αρίθμηση των αγγείων έγινε στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εργασίας για διευκόλυνση.

Το αγγείο 1 ανήκει στην κατηγορία των *ανοιχτών ρηχών ή μέσου βάθους αγγείων (φιάλες)*, η κατηγορία αυτή αποτελεί το 35% του συνόλου της μονόχρωμης κεραμικής. Πρόκειται για μια δίωτη βαθιά φιάλη με ημισφαιρικά τοιχώματα (βλ.εικ.9). Είναι το μοναδικό αγγείο από το σπήλαιο με ημισφαιρικά τοιχώματα και δύο μικρές κάθετες λαβές. Η επιφάνεια του αγγείου εξωτερικά και εσωτερικά είναι στιλβωμένη. Σώζεται το 1/3 περίπου του αρχικού αγγείου, συγκεκριμένα μέρος της βάσης, του σώματος, του χείλους και η μία λαβή. Τα σωζόμενα αυτά τμήματα συντηρήθηκαν και συγκολλήθηκαν. Στη συνέχεια



Εικ.9: Δίωτη φιάλη.

πραγματοποιήθηκε αποκατάσταση στην ακέραη μορφή του αγγείου με τη συμπλήρωση γύψου και τριμμένου κεραμιδιού (Trantalidou et al. 2007b).

Το αγγείο 2 ανήκει στην κατηγορία των *ανοιχτών βαθιών αγγείων*. Το ποσοστό των αγγείων αυτών φτάνει το 5%. Πρόκειται για αγγείο με στρογγυλεμένα τοιχώματα και κάθετη λαβή στο ύψος του χείλους (βλ.εικ.10). Η επιφάνεια του αγγείου είναι ελαφρά λειασμένη. Σώζεται το ¼ περίπου του αρχικού αγγείου, συγκεκριμένα μέρος της βάσης, του σώματος, του χείλους και μία λαβή. Δεν είναι ξεκάθαρο αν έφερε μία ή δύο λαβές, γι' αυτό στην αποκατάσταση δεν προστέθηκε δεύτερη λαβή. Τα σωζόμενα τμήματα συντηρήθηκαν και συγκολλήθηκαν. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε αποκατάσταση στην ακέραη μορφή του αγγείου με τη συμπλήρωση γύψου και τριμμένου κεραμιδιού.



Εικ.10: Βαθύ αγγείο

Το αγγείο 3 ανήκει στην κατηγορία των *ανοιχτών βαθιών αγγείων*. Πρόκειται για αγγείο με κοντό κάθετο χείλος, καμπύλα τοιχώματα και κάθετες λαβές λίγο κάτω από το χείλος (βλ.εικ.11). Η επιφάνεια του αγγείου εσωτερικά και εξωτερικά είναι αδρή. Σώζεται το ¼ περίπου του αρχικού αγγείου, συγκεκριμένα μέρος της βάσης, του σώματος, του χείλους και η μία λαβή. Τα σωζόμενα αυτά τμήματα συντηρήθηκαν και συγκολλήθηκαν. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε αποκατάσταση στην ακέραη μορφή του αγγείου με τη συμπλήρωση γύψου και τριμμένου κεραμιδιού. Το σχήμα έχει καταγωγή Νεολιθική, φαίνεται όμως ότι διατηρήθηκε και στην Πρώιμη Εποχή του Χαλκού (Trantalidou et al. 2007b).



Εικ.11: Δίωτο Βαθύ αγγείο

Το αγγείο 4 ανήκει στην κατηγορία των *μεγάλων ανοιχτών αγγείων*. Τα αγγεία της κατηγορίας αυτής αντιπροσωπεύουν την πολυπληθέστερη ομάδα πήλινων σκευών που βρέθηκαν στο σπήλαιο, πλησιάζοντας το 50% των κεραμικών ευρημάτων. Πρόκειται για αγγείο με γωνιώδη τοιχώματα και κάθετες λαβές στο σημείο τμήσης (βλ.εικ.12). Η επιφάνεια του αγγείου εσωτερικά και εξωτερικά είναι λειασμένη. Σώζεται περίπου το μισό, συγκεκριμένα σώζονται διάφορα



Εικ.12: Μεγάλο ανοιχτό αγγείο

τμήματα από όλα τα μέρη του αγγείου και η μία λαβή. Τα σωζόμενα αυτά τμήματα συντηρήθηκαν και συγκολλήθηκαν. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε αποκατάσταση στην ακέραη μορφή του αγγείου με τη συμπλήρωση γύψου και τριμμένου κεραμιδιού. Η τροπιδώση είναι ιδιαίτερα χαρακτηριστική στη Νεότερη Νεολιθική της νοτιοανατολικής Βαλκανικής και ειδικά στο χώρο της Θράκης (Trantalidou et al. 2007b).

Το αγγείο 5 ανήκει στην κατηγορία των *κλειστών αγγείων*. Το ποσοστό των αγγείων αυτών φτάνει το 9% και προορίζονταν για τη μεταφορά υγρών. Πρόκειται για δίωτο αγγείο με αμφικωνικό σώμα και κυλινδρικό λαιμό στον τύπο του αμφορέα (βλ.εικ.13). Η επιφάνεια του αγγείου είναι λειασμένη. Σώζεται περίπου το μισό, συγκεκριμένα σώζονται διάφορα τμήματα από όλα τα μέρη του αγγείου και οι δύο λαβές. Τα σωζόμενα αυτά τμήματα συντηρήθηκαν και συγκολλήθηκαν. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε αποκατάσταση στην ακέραη μορφή του αγγείου με τη συμπλήρωση γύψου και τριμμένου κεραμιδιού. Από το μέγεθος του καταλαβαίνουμε ότι μεταφερόταν από ένα μόνο άτομο. Σε μικρές παραλλαγές εμφανίζεται αρκετά βορειότερα, σε παραδουνάβιες περιοχές του κάτω ρου του Δούναβη (Trantalidou et al. 2007b).



Εικ.13: Αγγείο στον τύπο του αμφορέα.

Το αγγείο 6 (όπως και το αγγείο 3) ανήκει στην κατηγορία των *ανοιχτών βαθιών αγγείων*. Πρόκειται για αγγείο με κοντό κάθετο χείλος, καμπύλα τοιχώματα και κάθετες λαβές χαμηλά στο σώμα (βλ.εικ.14). Η επιφάνεια του αγγείου εσωτερικά και εξωτερικά είναι λειασμένη. Σώζεται περίπου το 1/3, συγκεκριμένα σώζεται τμήμα του σώματος, του χείλους και η μία λαβή. Τα σωζόμενα αυτά τμήματα συντηρήθηκαν και συγκολλήθηκαν. Σε αντίθεση όμως με τα υπόλοιπα αγγεία δεν έχει πραγματοποιηθεί συμπλήρωση του αγγείου. Πανομοιότυπα παράλληλα σχήματα δεν έχουν εντοπιστεί (Trantalidou et al. 2007b).



Εικ.14: Θραύσμα αγγείου.

### 3.5. Σφονδύλια και όστρεο που ψηφιοποιήθηκαν

Από τα οχτώ ακέραια σφονδύλια που βρέθηκαν, επιλέχθηκαν δύο για να ψηφιοποιηθούν. Τα σφονδύλια μαζί με το αδράχτι, που δεν σώζεται, χρησιμοποιούνται στο γνέσιμο, δηλαδή στην προετοιμασία του νήματος για την ύφανση. Έχουν διάφορα σχήματα, τα συγκεκριμένα που ψηφιοποιήθηκαν είναι το ένα αμφικωνικό ισόπλευρο και το άλλο δισκόμορφο, τα υπόλοιπα είναι είτε κωνικά με επίπεδα άκρα, είτε στρογγυλά. Ξεχωρίζει ένα που διακοσμείται με λεπτές εγχαράξεις αλλά δεν προτιμήθηκε γιατί δεν σώζεται ακέραιο. Όλα είναι χειροποίητα και η επιφάνεια τους παραμένει αδρή. Τέλος, η οπή από την οποία περνάει η υφαντική ίνα έχει διάμετρο περίπου πέντε χιλιοστά (Τρανταλίδου).

Από τα υπόλοιπα ευρήματα της ανασκαφής επιλέχθηκε ένα όστρεο του είδους *Glycymeris glycymeris* με τεχνητή διάτρηση, πρόκειται για οπή ανάρτησης, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί πιθανότατα μαζί με άλλα παρόμοια όστρεα ως κόσμημα για το λαιμό (βλ.εικ.15).



Εικ.15: Ένα αμφικωνικό σφονδύλι, ένα δισκόμορφο σφονδύλι κι ένα όστρεο με τεχνητή διάτρηση.

### 3.6. Παλαιοντολογικά ευρήματα

Έκτος από τα αρχαιολογικά ευρήματα που αποκαλύφθηκαν εντός του σπηλαίου, βρέθηκαν σημαντικά παλαιολιθικά-παλαιοντολογικά ευρήματα έξω από αυτό. Συγκεκριμένα εντοπίστηκαν κατά τη διάρκεια των εργασιών για την κατασκευή της τεχνητής σήραγγας εξόδου από το σπήλαιο, στην αριστερή πλευρά της. Η παλαιοντολογική θέση αυτή έγινε αρχικά γνωστή από τη σχετική δημοσίευση του καθηγητή Γεωργίου Κουφού το 1981 (Koufos 1981). Ο καθηγητής περισυνέλλεξε 21 θραύσματα οστών και προσδιόρισε τα ζώα από τα οποία προέρχονταν. Τη δεκαετία του 1990 –όπως αναφέρθηκε και παραπάνω για την αρχαιολογική έρευνα εντός του

σπηλαίου- η εφορεία Παλαιοανθρωπολογίας-Σπηλαιολογίας προχώρησε σε μια τομή στη βόρεια πλευρά του τεχνητού διαδρόμου (Τρανταλίδου 2013).

Στις έρευνες αυτές βρέθηκαν οστά ζώων και λίθινα εργαλεία από χαλαζία και πυριτόλιθο. Στο σημείο που βρέθηκαν φαίνεται ότι υπήρχε βραχώδες έγκοιλο, που είχε υποστεί καθίζηση και το οποίο λειτουργούσε σαν φυσική παγίδα στα ζώα. Το σημείο αυτό βρισκόταν πια σε βάθος 10 μέτρων κάτω από τη σημερινή επιφάνεια του εδάφους μέσα σε στρώματα ερυθρού αργίλου. Συγκεκριμένα τα οστά και τα εργαλεία βρέθηκαν στα δύο κατώτερα μέτρα της αργιλώδους επίχωσης, εδράζονται δηλαδή στο γεωλογικό υπόβαθρο.

Κατά τη διάρκεια της εξερεύνησης του σημείου φάνηκε ότι πρόκειται για δύο ορίζοντες κι ένα ενδιάμεσο κενό. Ο ανώτερος ορίζοντας ανασκάφηκε σε έκταση 8x3 μέτρα, χαρακτηρίζεται από τη συνεκτικότητα των οστών και των ίζημάτων και τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε λίθινα εργαλεία. Χρονολογήθηκε στο 31.300±20% έως το 27.900±20%. Ο κατώτερος ορίζοντας με έκταση 4x3 μέτρα χαρακτηρίζεται από τα οστά ευμεγεθών θηλαστικών. Χρονολογήθηκε στο 34.000±15% έως το 31.500±15%. Και οι δύο ορίζοντες ανήκουν στο Νεότερο Würm. (Τρανταλίδου).

Τα οστά των ζώων ανήκουν σε δασύμαλλους ρινόκερους, άλογα, μαμούθ, ελάφια, μεγαλόκερους, άρκτους των σπηλαίων κι ίσως αιγάγρους. Κατά τη διάρκεια της έρευνας τη δεκαετία του 1990 βρέθηκαν 12.468 θραυσμένα απολιθωμένα οστά και δόντια, από τα οποία προσδιορίστηκαν τα 2.394. Συγκεκριμένα, η πλειονότητα των οστών ανήκει σε άλογο (*Equus caballus*) σε ποσοστό 83,2% και ακολουθούν το ελάφι (*Cervus elaphus*) σε ποσοστό 6,3%, ο δασύμαλλος ρινόκερος (*Coelodonta antiquitatis*) σε ποσοστό 4%, ο μεγαλόκερος (*Megaloceros giganteus*) σε ποσοστό 2,9%, η άρκτος των σπηλαίων (*Ursus spelaeus*) σε ποσοστό 1,9% και το μαμούθ (*Mammuthus primigenius*) σε ποσοστό 1,7%. Κάποιες γενικές παρατηρήσεις είναι ότι όλα τα τμήματα του σκελετού είναι παρόντα εκτός συνηθώς από το κρανίο και το ανώνυμο οστό που καταστρέφονται πιο εύκολα. Πρόκειται για 27-30 τουλάχιστον ευμεγέθη θηλαστικά. Επίσης, υπερτερούν σαφέστατα τα ενήλικα ζώα, αλλά στο άλογο, το ρινόκερο και το μαμούθ βρέθηκαν θραύσματα που προέρχονται και από νεαρά άτομα. (Τρανταλίδου 2013).

Όσον αφορά στο παλαιοπεριβάλλον στο οποίο έζησαν, φαίνεται ότι επικρατούσαν συνθήκες διαπεραστικού ψύχους (συγκεκριμένα μετά το 30.000 πριν από σήμερα, ήταν η ψυχρή περίοδος με τη μεγαλύτερη διάρκεια στην περιοχή). Στα γύρω βουνά επικρατούσαν περιπαγετώδη φαινόμενα. Η δεινρόδης βλάστηση έλειπε

από τις οροσειρές που περιβάλλουν τη λεκάνη Δράμας- Φιλίππων, κυριαρχούσαν τα πεύκα και λιγότερο οι σημύδες και οι ρητινοφόροι θάμνοι. Επικρατούσε στεπώδης βλάστηση από το 34.000 μέχρι το 30.000 και εναλλαγή στέπας και στέπας με συστάδες πεύκων από το 32.000 μέχρι το 29.000 χρόνια πριν από σήμερα. (Τρανταλίδου 2013).

Ένα ερώτημα προς διερεύνηση είναι εάν τα ζώα αυτά οδηγήθηκαν από ανθρώπους στο σημείο αυτό, δηλαδή ως μια φυσική παγίδα για την εξόντωσή τους και στη συνέχεια την κατακρεούργησή τους ή οδηγήθηκαν αποκλειστικά μόνα τους από φυσικές συνθήκες. Από τη μία, το γεγονός ότι δεν υπάρχουν ίχνη κοπής πάνω στα οστά, συνηγορεί στο ότι ο άνθρωπος δεν πρέπει να είχε παίξει ρόλο στην εξόντωσή τους. Από την άλλη όμως είναι πολύ πιθανό τα ίχνη αυτά να μην σώθηκαν, λόγω της αποσύνθεσης του οστού είτε της μερικής αφαίρεσης του κρέατος. Επιπλέον, βρέθηκαν μαζί με τα οστά και λίθινα εργαλεία από χαλαζία και πυριτόλιθο. Ο χαλαζίας χρησιμοποιήθηκε σε ποσοστό 80%, ενώ ο πυριτόλιθος σε ποσοστό λιγότερο από 20%, διότι δεν υπήρχε στην περιοχή (Ντάρλας 1995). Ο αριθμός των λίθινων εργαλείων με σχέση με άλλες θέσεις μπορεί να μην είναι ικανοποιητικός αλλά υποδηλώνει ανθρώπινη παρουσία. Μια ερμηνεία προς διερεύνηση είναι ότι ίσως να είναι ένας συνδυασμός φυσικών συνθηκών και ανθρωπογενών παραγόντων. Δηλαδή, ο προϊστορικός άνθρωπος κατεύθυνε τα ζώα προς φυσικές παγίδες και άφησε πίσω και κάποια εργαλεία του (Τρανταλίδου 2013).

Ακολουθεί αναφορά κάποιων γενικών στοιχείων των ζώων και περιγραφή της ανατομίας και του περιβάλλοντος στο οποίο έζησαν. Θα γίνει αναφορά μόνο των ζώων από τα οποία ψηφιοποιήθηκαν οστά ή δόντια.

### 3.6.α. *Equus caballus* (Άλογο)

Το άγριο άλογο (*Equus caballus*, L. 1758) ανήκει στην τάξη των περισσοδάκτυλων (Perissodactyla), στην οικογένεια των ιππίδων (Equidae) και στο γένος του ίππου (*Equus*). Η τάξη στην οποία ανήκει παίρνει την ονομασία από τον περιττό αριθμό δακτύλων στις οπλές (σε αντίθεση με τα αρτιοδάκτυλα οπληφόρα).

Το γένος του ίππου φαίνεται να εμφανίζεται στα 4-4.5 εκατομμύρια χρόνια πριν από σήμερα και από τα 2 εκατομμύρια χρόνια να παρουσιάζει διακυμάνσεις ως προς το μέγεθος του πληθυσμού του, κυρίως κατά τις περιόδους ακραίων κλιματικών αλλαγών (Orlando et al. 2013). Αν και δεν υπάρχει απόλυτη συμφωνία στην επιστημονική κοινότητα, φαίνεται ότι το άλογο πρεβάλσκι, που ζει στις μέρες μας στην



κεντρική Ασία, είναι το μοναδικό άγριο άλογο που έχει επιβιώσει μέχρι τις μέρες μας (Goto 2011, Orlando et al. 2013).

Το άλογο ζει περίπου 25 με 30 χρόνια. Το μέγεθος του κυμαίνεται από 1.40μ. μέχρι 1.80μ (δεν υπολογίζεται ο λαιμός και το κεφάλι στη μέτρηση). Διαθέτει πυκνό και κοντό τρίχωμα και το χρώμα του ποικίλλει αρκετά, ανάλογα και με τη ράτσα. Συνήθως γεννούν έναν απόγονο. Ο σκελετός τους αποτελείται συνήθως από 205 οστά. Το ιδανικό περιβάλλον όταν είναι ελεύθερα είναι οι ανοιχτές εκτάσεις. Μετακινούνται σε αγέλες με σταθερή σύνθεση, λίγα θηλυκά κι ένα αρσενικό (Ensminger 1990).

Από την οστεολογική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στο υλικό του Αγγίτη (Τρανταλίδου 2013), προκύπτει ότι το άλογο του Αγγίτη είναι μεγάλο σε ύψος (η εκτίμηση του ύψους του στο ακρώμιο είναι 1.59-1.68μ.). Είναι μικρότερο από τις μορφές των προηγούμενων γεωλογικά περιόδων αλλά μεγαλύτερο από τα σύγχρονα και μεταγενέστερα άλογα της Βούρμιας Περιόδου στη δυτική Ευρώπη. Πιθανά τα άλογα του Αγγίτη να παρουσιάζουν μεγαλύτερη προσέγγιση με το *Equus caballus germanicus*. Το συγκεκριμένο υποείδος εμφανίζεται στη δυτική Ευρώπη στις αρχές του σταδίου Wurm III, φτάνει σε ύψος στο 1,5 μέτρο αλλά το μέγεθος του μειώνεται μέχρι την οριστική εξαφάνιση του είδους.

### 3.6.β. *Coelodonta antiquitatis* (Ρινόκερος ο Δασύμαλλος)

Ο δασύμαλλος ρινόκερος (*Coelodonta antiquitatis*, Blumebach, 1799) ανήκει στην τάξη των περισσοδάκτυλων (Perissodactyla), στην οικογένεια των ρινοκεροτίδων (Rhinocerotidae) και στο γένος του κοιλόδοντου (Coelodonta). Η ονομασία του coelodonta σημαίνει κοίλο δόντι. Η κοινή του ονομασία οφείλεται στο γεγονός ότι καλυπτόταν από πολύ πυκνό τρίχωμα, ώστε να ανταπεξέρχεται στις χαμηλές θερμοκρασίες.

Ο δασύμαλλος ρινόκερος είναι ένα από τα μεγάλα θηλαστικά που κυριαρχούσαν κατά τη διάρκεια της πλειστοκαίνου, δηλαδή στη εποχή των παγετώνων, μέχρι την εξαφάνισή του μετά το τέλος της τελευταίας παγετώδους περιόδου. Έρευνες δείχνουν ότι άμεσος πρόγονός του ήταν το *Coelodonta Thibetana*, από το οποίο εξελίχθηκε σταδιακά στην περιοχή δυτικά των Ιμαλαίων γύρω στα 3,5 εκατομμύρια χρόνια πριν από σήμερα (Deng et al. 2011). Ήταν ένα είδος πολύ καλά προσαρμοσμένο στις συνθήκες που επικρατούσαν εκείνη τη γεωλογική περίοδο και συγκεκριμένα στις στέπες και τούνδρες της βόρειας Ευρώπης και ανατολικής Ασίας σε ψηλά και χαμηλά υψόμετρα (Boeskoron 2012). Είχε όμως μεγάλη εξάπλωση μέχρι τη νότια Ευρώπη

(Ισπανία) και τη νότια Κορέα. Σε αντίθεση με άλλα θηλαστικά της ίδιας περιόδου που πέρασαν το Βερίγγειο πορθμό και εξαπλώθηκαν στη βόρεια Αμερική, ο ρινόκερος δεν τα κατάφερε (Markova et al. 2013).

Όπως και άλλα είδη της πλειστόκαινης πανίδας (π.χ. μαμούθ) εξαφανίστηκε στο τέλος της εποχής των παγετώνων. Ο λόγος της εξαφάνισης φαίνεται να είναι η άνοδος της θερμοκρασίας, η οποία επέφερε δραματική αλλαγή στο περιβάλλον που διαβιούσε. Φαίνεται να εξαφανίστηκε περίπου στα 13-12.000 χρόνια πριν από σήμερα (Stuart et al. 2012). Αναλύσεις DNA έδειξαν ότι μεγαλύτερη συγγένεια έχει με το σύγχρονο ρινόκερο της Σουμάτρας (Orlando et al. 2003).

Στοιχεία για τη μορφολογία του έχουμε από τους μουμιοποιημένους σκελετούς και από βραχογραφίες. Το μήκος του κυμαινόταν από τρία έως τέσσερα μέτρα και το ύψος του μπορούσε να φτάσει τα δύο μέτρα. Στο ρύγχος του έφερε δύο κέρατα από κερατίνη. Το ένα από αυτά ξεπερνούσε το μισό μέτρο και χρησίμευε για να καθαρίζει το χιόνι όταν έψαχνε για τροφή. Χαρακτηριστικά είναι τα κοντά και παχιά πόδια του. Ήταν χορτοφάγος και τρεφόταν κυρίως με γρασίδι, πλατύφυλλα, βρύα και λειχήνες (Fortelius 1983, Boeskoron 2012).

Όσον αφορά στα οστά που συλλέχθηκαν στον Αγγίτη, όσα από αυτά ήταν δυνατόν να μετρηθούν φαίνεται ότι εντάσσονται στο εύρος των διαστάσεων που έχουν συλλεχθεί και μελετηθεί από 123 τουλάχιστον θέσεις στη δυτική και κεντρική Ευρώπη (Τρανταλίδου 2013).

### 3.6.γ. *Megaloceros giganteus* (Μεγαλόκερος)

Ο μεγαλόκερος (*Megaloceros giganteus*) ανήκει στην τάξη των αρτιοδάκτυλων (Artiodactyla), στην οικογένεια των ελαφίδων (Cervidae) και στο γένος του μεγαλόκερου (*Megaloceros*). Το όνομα του υποδηλώνει και το βασικό του χαρακτηριστικό, δηλαδή τα μεγάλα κέρατα που έφερε το αρσενικό ζώο.

Ανήκει κι αυτό στα θηλαστικά που εξαφανίστηκαν μετά το τέλος της τελευταίας παγετώδους περιόδου. Έζησε στην Ευρασία, από την Κίνα μέχρι την Ιρλανδία και τη Σιβηρία (Lister 1994). Φαίνεται ότι πρωτοεμφανίζεται γύρω στα 400.000 χρόνια πριν από σήμερα (Lister 1994) και εξαφανίζεται στα 7.700 χρόνια πριν από σήμερα, με βάση τη χρονολόγηση που έγινε σε οστά που έχουν βρεθεί στη δυτική Σιβηρία (Stuart et al. 2004). Έρευνες έχουν δείξει ότι μάλλον το είδος αυτό αποτελεί εξέλιξη του *Megaloceros antecedens*. Η μελέτη των οστών που έχουν βρεθεί και των

δύο ειδών έδειξε ότι είναι αρκετά παρόμοια στη μορφολογία αλλά το *antecedens* έχει μεγαλύτερα και πιο συμπαγή κέρατα (Vislobokova 2012).

Υπάρχει συζήτηση στην επιστημονική κοινότητα για τα αίτια της εξαφάνισής του. Φαίνεται να σχετίζεται με τις συνθήκες που επικράτησαν σταδιακά στο τέλος της εποχής των παγετώνων, δηλαδή στις αλλαγές του φυσικού περιβάλλοντος. Ένα επιπλέον μειονέκτημα για το μεγαλόκερο, σε σχέση με τα υπόλοιπα θηλαστικά της ίδιας περιόδου, είναι τα τεράστιο σε μέγεθος κέρατα του. Συγκεκριμένα, στη χλωρίδα που επικράτησε στο τέλος της πλειστοκαίνου ο μεγαλόκερος δεν έβρισκε πια τα μέταλλα και ιχνοστοιχεία που ήταν απαραίτητα για να συντηρηθούν τα μεγάλα σε μέγεθος κέρατα του. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα τη δραματική μείωση του πληθυσμού του, που πλέον δεν έβρισκε επαρκή τροφή. Συνεπώς, δημιουργήθηκαν συνθήκες λιμού μέχρι την οριστική εξαφάνισή του (Moen et al. 1999, Stuart et al. 2004).

Όσον αφορά στη μορφολογία του, τα κέρατα του φτάνουν σε μέγεθος τα 3.7 μέτρα. Φυσικά μόνο τα αρσενικά έφεραν κέρατα. Το ύψος του φαίνεται να έφτανε τα δύο μέτρα και το βάρος του τα 600 κιλά. Επιβίωσε σε αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες αλλά και σε πιο ήπιο υγρό κλίμα. Ζούσε σε δάση με αραιή βλάστηση ή κοντά σε αυτά (Gould 1974, Lister 1994).

Τέλος, όσον αφορά στο μεγαλόκερο του Αγγίτη, οι διαστάσεις των δοντιών του συμπίπτουν σε γενικές γραμμές, ή είναι λίγο μικρότερες, από εκείνες των μεγαλόκερων που βρέθηκαν σε γειτονικές θέσεις (Τρανταλίδου 2013).

#### 3.6.δ. *Ursus spelaeus* (Άρκτος των σπηλαίων)

Η Άρκτος των σπηλαίων (*Ursus spelaeus*, Rosenmüller, 1794) ανήκει στην τάξη των σαρκοφάγων (Carnivora), στην οικογένεια των αρκτίδων (Ursidae) και στο γένος της άρκτου (Ursus). Ονομάστηκε έτσι επειδή τα περισσότερα απολιθώματά της βρέθηκαν σε σπηλιές.

Έζησε στην Ευρώπη και στην Ασία κατά τη διάρκεια της Πλειστοκαίνου και εξαφανίστηκε κατά την έναρξη της τελευταίας παγετώδους περιόδου. Στοιχεία δείχνουν ότι στα Ουράλια όρη και την ευρύτερη περιοχή τους εξαφανίστηκε περίπου 24.000 χρόνια πριν από σήμερα (Pacher et al. 2009). Μελέτη στο DNA της καφέ αρκούδας και της αρκούδας των σπηλαίων έδειξε ότι ο τελευταίος κοινός τους πρόγονος έζησε γύρω στο 1.2 εκατομμύρια χρόνια πριν από σήμερα (Loreille et al. 2001). Ο άμεσος πρόγονος της, πιθανότατα είναι η *Ursus deningeri*, ένα είδος που

έζησε στην Ευρώπη κατά τη διάρκεια της πλειστοκαίνου περίπου από τα 1.8 εκατομμύρια χρόνια πριν από σήμερα (Stuart 1996).

Είναι αξιοσημείωτο το πόσες πολλές σπηλιές με οστά της έχουν βρεθεί κυρίως στην κεντρική και δυτική Ευρώπη, στο σπήλαιο Uršilor στη ΒΔ Ρουμανία ανακαλύφθηκαν πάνω από 100 σκελετοί (Robu et al. 2011). Τρεφόταν κυρίως με ρίζες, χόρτα, μέλι και σπανιότερα με μικρότερα θηλαστικά. Μια διατροφή κυρίως φυτική στηρίζεται στις ισοτοπικές αναλύσεις των οστών από διάφορες θέσεις, που αποκαλύπτουν τις διατροφικές της συνήθειες (Bocherens et al. 2006). Υπάρχει όμως και αντίλογος ότι όταν το απαιτούσαν οι περιβαλλοντικές συνθήκες η διατροφή της ήταν χαρακτηριστική για ένα παμφάγο ζώο (Richards et al. 2008). Φαίνεται ότι απέφευγε τις ανοιχτές εκτάσεις και προτιμούσε τα δάση ή κοντά σε αυτά. Είχε μέγεθος παρόμοιο με τα μεγαλύτερα είδη άρκτων που υπάρχουν σήμερα, δηλαδή για τα αρσενικά το βάρος τους κυμαινόταν από 400-500 κιλά, το ύψος της όταν στεκόταν όρθια έφτανε τα 2.5 μέτρα (Christiansen 1999).

Οι λόγοι που οδήγησαν στην οριστική της εξαφάνιση πρέπει να είναι διάφοροι και να έδρασαν συνδυαστικά. Ίσως σημαντικό ρόλο στη σταδιακή εξαφάνισή της να έπαιξε κι ο άνθρωπος, γιατί χρησιμοποιούσε τις σπηλιές για προφύλαξη και προσωρινή κατοικία με αποτέλεσμα να σκοτώνει τις αρκούδες, που επίσης έβρισκαν καταφύγιο στα ίδια μέρη (Stiller et al. 2010). Σύμφωνα με μια πρόσφατη έρευνα (Baca et al. 2016) που βασίστηκε στη μελέτη αρχαίου DNA, η άρκτος των σπηλαίων εξαφανίστηκε το  $20.930 \pm 140$  χρόνια πριν από σήμερα. Βασική αιτία για την εξαφάνισή της ήταν η δραματική κλιματική αλλαγή, που ξεκίνησε στα 33.000 χρόνια πριν από σήμερα και κλιμακώθηκε στα 24.000 χρόνια. Το κλίμα στην κεντρική Ευρώπη έγινε εξαιρετικά ψυχρό και ξηρό και η βλάστηση περιορίστηκε στην τυπική για το περιβάλλον της τούνδρας και της ανοιχτής στέπας. Η βλάστηση όμως αυτή δεν ήταν αρκετή για να τραφεί επαρκώς το ογκώδες αυτό θηλαστικό και τελικά οδηγήθηκε σε εξαφάνιση.

Όσον αφορά στην αρκούδα του Αγγίτη, σύμφωνα με τη βιομετρική μελέτη και τα συγκριτικά δεδομένα από άλλες θέσεις, φαίνεται ότι ήταν λίγο μικρότερη από εκείνη των αρχών της Βούρμιας περιόδου (Τρανταλίδου 2013).

### 3.6.ε. *Cervus elaphus* (Κόκκινο Ελάφι)

Το κόκκινο ελάφι (*Cervus elaphus*, L. 1758) ανήκει στην τάξη των αρτιοδάκτυλων (Artiodactyla), στην οικογένεια των ελαφιδών (Cervidae) και στο γένος

της ελάφου (*Cervus*). Η κοινή του ονομασία προέρχεται από το ερυθροκάστανο χρώμα που έχει το κοντό και πυκνό τρίχωμα του.

Στην εποχή μας το κόκκινο ελάφι απαντάται σε πολλά μέρη. Συγκεκριμένα, στο μεγαλύτερο τμήμα της δυτικής Ευρώπης, φτάνοντας μέχρι τη Μικρά Ασία, το Ιράν και σε κάποια μέρη της κεντρικής Ασίας. Επίσης, απαντάται στη ΒΔ Αφρική (Μαρόκο και Τυνησία), όντας το μοναδικό ελάφι στην ήπειρο της Αφρικής. Επιπλέον, έχει εισαχθεί στην Ωκεανία, στη βόρεια και νότια Αμερική. Υπάρχουν αρκετά υποείδη, χωρίς όμως να είναι βέβαιος ο ακριβής αριθμός τους. Ανάλογα την περίοδο, την περιοχή και το υποείδος, παρουσιάζει μεγάλη ποικιλομορφία ως προς το μέγεθος, τα κέρατα και την ουρά.

Οι περιοχές που προτιμά να διαβιεί πρέπει να ήταν οι ίδιες που προτιμούσε και κατά τη διάρκεια του Πλειστοκαίνου. Πρόκειται για μικτά δάση πλατύφυλλων – κωνοφόρων, παραποτάμιες και αλπικές περιοχές. Γενικά, είναι ένα είδος εύκολα προσαρμόσιμο σε διαφορετικά περιβάλλοντα. Τρέφεται με φλοιό από δέντρα, κλαδάκια δέντρων και θάμνων (Geist 1998).

Όσον αφορά στο κόκκινο ελάφι του Αγγίτη, οι διαστάσεις των οστών εμπίπτουν στις χαμηλότερες τιμές των ελαφιών του Ανώτερου Πλειστόκαινου. Βρέθηκαν κυρίως θραύσματα οστών και μόνο ένα ακέραιο (ένα μετατάρσιο) (Τρανταλίδου 2013).

## 4. Τριδιάστατη ψηφιοποίηση ευρημάτων από τον Αγγίτη

### 4.1. Συλλογή δεδομένων

Ευρήματα από την παλαιοντολογική και αρχαιολογική έρευνα του σπηλαίου Πηγών Αγγίτη φυλάσσονται στο Μουσείο της Δράμας και στους χώρους της Εφορείας Παλαιοανθρωπολογίας-Σπηλαιολογίας στην Αθήνα. Η ψηφιοποίηση πραγματοποιήθηκε σε ευρήματα που βρίσκονται στην εφορεία. Πρόκειται για έξι αγγεία (πέντε ακέραια, μετά από συμπλήρωση για την αποκατάστασή τους, κι ένα μεγάλο τμήμα αγγείου), δύο σφονδύλια, ένα όστρεο και 37 απολιθωμένα οστά ζώων. Τα πέντε αγγεία είναι και τα μοναδικά που έχουν αποκατασταθεί γι' αυτό επιλέχθηκαν και τα πέντε, το τμήμα του αγγείου σώζεται σε βαθμό που να αντιλαμβάνεται κανείς το σχήμα του. Από τα εκατοντάδες θραύσματα οστών επιλέχθηκαν όσα σώζονται σε ικανοποιητικό βαθμό, δηλαδή πάνω από το 50%.

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε –όπως αναφέρθηκε παραπάνω- είναι η Σχήμα από κίνηση και το λογισμικό για την επεξεργασία των δεδομένων είναι το Photoscan της Agisoft και συγκεκριμένα η επαγγελματική έκδοση του 1.2.4 build 2336. Η λήψη των φωτογραφιών έγινε με μια compact ψηφιακή φωτογραφική μηχανή την Nikon CoolpixP600. Η συγκεκριμένη μηχανή διαθέτει 16 εκατομμύρια εικονοστοιχεία και εστιακή απόσταση 4,3-258mm. Εκτός από την φωτογραφική μηχανή χρησιμοποιήθηκε ο ακόλουθος εξοπλισμός:

- ξύλινος περιστρεφόμενος δίσκος σερβιρίσματος
- κύβος φωτογράφισης με ενσωματωμένο φωτισμό led
- ανοιχτόχρωμο ύφασμα για φόντο
- χαρτόνι λευκού χρώματος
- ένα πολύπριζο
- εκτυπωμένοι φωτογραμμετρικοί στόχοι από το λογισμικό Photoscan
- μίνι τρίποδο

Από την αναφορά του εξοπλισμού είναι ξεκάθαρο το πόσο προσιτή οικονομικά και πρακτικά είναι η συγκεκριμένη μέθοδος. Ο δίσκος σερβιρίσματος χρησιμοποιήθηκε ως τραπέζι για την τοποθέτηση και φωτογράφιση των αντικειμένων, ώστε να είναι δυνατή η χειροκίνητη περιστροφή τους πάνω σε αυτό. Επιπλέον, επενδύθηκε με λευκό χαρτόνι, ώστε να έχει το ίδιο χρώμα με το περιβάλλον στο οποίο γινόταν η φωτογράφιση. Τα

ευρήματα τοποθετούνταν μέσα στον κύβο φωτογράφισης και πάνω στο δίσκο. Το πίσω μέρος του κύβου επενδύθηκε με λευκό μη γυαλιστερό ύφασμα. Το λευκό χρώμα ως χρώμα φόντου επιλέχθηκε ως το ιδανικότερο ύστερα από αρκετές δοκιμές με ανοιχτόχρωμες και σκουρόχρωμες επιφάνειες (Εικ.βλ.16). Το πολύπριζο χρησιμοποιήθηκε για την παροχή ρεύματος στο led φωτισμό. Ο φωτισμός με το led ήταν αρκετός για να φωτίζει τα αντικείμενα επαρκώς κι ομοιόμορφα. Το τρίποδο βοήθησε στη σταθερή τοποθέτηση της φωτογραφικής μηχανής για καλύτερη λήψη φωτογραφιών και οι στόχοι τοποθετούνταν γύρω από τα αντικείμενα προς φωτογράφιση, ώστε να πραγματοποιηθεί κλιμάκωση του 3Δ μοντέλου.



Εικ.16: Εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για την ψηφιοποίηση.

Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά στη φωτογράφιση των αντικειμένων. Πραγματοποιήθηκαν αρχικά μερικές δοκιμαστικές λήψεις κάποιων αντικειμένων και η επεξεργασία τους με το λογισμικό, ώστε να είναι κατανοητές οι κατάλληλες συνθήκες φωτογράφισης και να παραχθούν ικανοποιητικά αποτελέσματα. Ακολουθήθηκαν οι κατευθύνσεις που δίνει το ίδιο λογισμικό στις οδηγίες χρήσης του, το βιβλίο των Κουτσούδη και Παυλίδη (2016) κι ο οδηγός φωτογραμμετρίας για παλαιοντολογικά ευρήματα των Mallison et al. (2014).

Οι παράμετροι της φωτογραφικής μηχανής ρυθμίστηκαν στην αυτόματη λειτουργία. Αυτή η ρύθμιση επιλέχτηκε αφού έγιναν διάφορες δοκιμές με άλλες παραμέτρους μέχρι που διαπιστώθηκε ότι στο αυτόματο το αποτέλεσμα ήταν καλύτερο. Τα αντικείμενα τοποθετούνταν στο κέντρο του περιστρεφόμενου δίσκου και ακολουθούσε φωτογράφιση με δεξιόστροφη περιστροφή του δίσκου ανά περίπου 25° για τα αγγεία και 15° για τα οστά. Για τα οστά πραγματοποιήθηκε πιο πυκνή φωτογράφιση λόγω της πολυπλοκότητας στη μορφολογία τους (Falkingham 2012). Οι φωτογραφίες –ειδικά των οστών- παρουσιάζουν μεγάλο βαθμό επικάλυψης, τουλάχιστον 70%. Βασική έγνοια ήταν κάθε σημείο του αντικειμένου να καλύπτεται φωτογραφικά από τουλάχιστον τρεις γωνίες θέασης και το αντικείμενο να βρίσκεται στο κέντρο της φωτογραφίας και να καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της (τουλάχιστον τα 3/5).

Πραγματοποιήθηκαν φωτογραφικές λήψεις σε τρεις σειρές και μία επιπλέον σειρά λήψεων του αντικειμένου με τους φωτογραμμετρικούς στόχους. Αρχικά πραγματοποιήθηκε λήψη φωτογραφιών με τους στόχους περιμετρικά τοποθετημένους γύρω από το αντικείμενο. Σε κάθε φωτογραφία έγινε προσπάθεια να περιλαμβάνονται τρεις τουλάχιστον στόχοι. Η απόσταση των στόχων μετρήθηκε με μετροταινία αλουμινίου και στη συνέχεια οι στόχοι αφαιρέθηκαν για να πραγματοποιηθεί εκ νέου φωτογράφιση. Πραγματοποιήθηκε δηλαδή πρώτα φωτογράφιση ξεκινώντας από το κάτω μέρος του αντικειμένου, μετά στο μέσο τμήμα του κι έπειτα στο πάνω μέρος. Στο τέλος τα αντικείμενα επανατοποθετήθηκαν για να ληφθούν φωτογραφίες, ώστε να περιλαμβάνουν την επιφάνεια που ήταν σε επαφή με τον περιστρεφόμενο δίσκο. Η απόσταση της φωτογραφικής μηχανής από τα αντικείμενα ήταν περίπου 0.20μ.

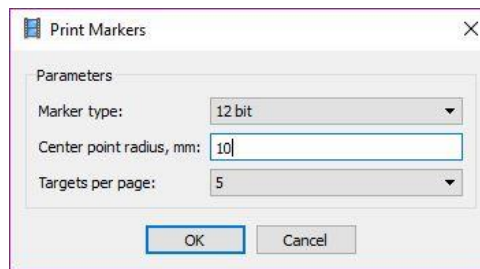
## 4.2. Επεξεργασία δεδομένων

Για την επεξεργασία των δεδομένων, ώστε να δημιουργηθούν τα τριδιάστατα ψηφιοποιημένα μοντέλα χρησιμοποιήθηκαν δύο υπολογιστές. Ένα Lenovo G50 με επεξεργαστή Intel-Core i5-5200U (2.20GHz), 4GB μνήμη, λειτουργικό σύστημα Windows 10 με 64-bit και κάρτα γραφικών intel HD Graphics 5500 κι ένα δεύτερο Lenovo με επεξεργαστή Intel-Core i7-2760QM (2.40GHz), 16GB μνήμη, λειτουργικό σύστημα Windows 7 με 64-bit και κάρτα γραφικών NVIDIA Quadro 1000M.

Καταρχάς, πραγματοποιήθηκε μια πρώτη διαλογή των φωτογραφιών, με τη διαγραφή κάποιων κουνημένων και μη σωστά κεντραρισμένων. Στη συνέχεια στο λογισμικό Photoscan πραγματοποιήθηκε η δημιουργία των 3Δ μοντέλων για κάθε ένα αντικείμενο. Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω η διαδικασία στο λογισμικό αυτό είναι σχεδόν αυτοματοποιημένη κι ο χρήστης έχει το περιθώριο να παρέμβει με κάποιες συγκεκριμένες επιλογές. Ακολουθεί περιγραφή βήμα προς βήμα της διαδικασίας και των παραμέτρων που επιλέχθηκαν.



Το πρώτο βήμα στην όλη διαδικασία γίνεται πριν από τη φωτογράφιση κι είναι η εκτύπωση φωτογραμμετρικών στόχων. Επιλέχθηκαν στόχοι 12bit και πέντε στόχοι ανά σελίδα (βλ.εικ.17).



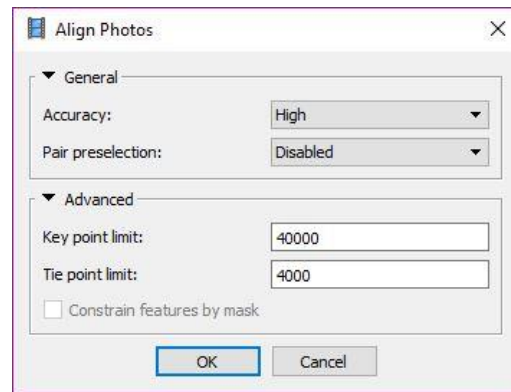
Εικ.17: Στιγμιότυπο από το λογισμικό Photoscan με την επιλογή για εκτύπωση φωτοσταθερών.

Επόμενο βήμα είναι η εισαγωγή των φωτογραφιών με επιλογή του εικονιδίου Add photos. Στη συνέχεια επιλέχθηκε το Estimate image quality για όλες τις φωτογραφίες, ώστε να απενεργοποιηθούν οι φωτογραφίες με ποιότητα ίση ή μικρότερη από 0.5, όπως προτείνεται από το ίδιο το λογισμικό για ποιοτικότερα αποτελέσματα (βλ.εικ18).

Label	Size	Aligned	Quality	Date & time	Make	Model	Focal length	F-stop	ISO	Shutt
DSCN6033J...	4608x3456		0.761088	0000:00:00 00:00...	NIKON	COOLPIX P600	4.3	F/3.3	110	1/30
DSCN6034J...	4608x3456		0.787658	0000:00:00 00:00...	NIKON	COOLPIX P600	4.3	F/3.3	110	1/30
DSCN6035J...	4608x3456		0.814508	0000:00:00 00:00...	NIKON	COOLPIX P600	4.3	F/3.3	100	1/30
DSCN6036J...	4608x3456		0.809969	0000:00:00 00:00...	NIKON	COOLPIX P600	4.3	F/3.3	100	1/30
DSCN6037J...	4608x3456		0.812989	0000:00:00 00:00...	NIKON	COOLPIX P600	4.3	F/3.3	100	1/30
DSCN6038J...	4608x3456		0.786763	0000:00:00 00:00...	NIKON	COOLPIX P600	4.3	F/3.3	100	1/30
DSCN6039J...	4608x3456		0.754404	0000:00:00 00:00...	NIKON	COOLPIX P600	4.3	F/3.3	100	1/30
DSCN6040J...	4608x3456		0.806302	0000:00:00 00:00...	NIKON	COOLPIX P600	4.3	F/3.3	100	1/30
DSCN6041J...	4608x3456		0.769279	0000:00:00 00:00...	NIKON	COOLPIX P600	4.3	F/3.3	100	1/30
DSCN6042J...	4608x3456		0.777801	0000:00:00 00:00...	NIKON	COOLPIX P600	4.3	F/3.3	110	1/30
DSCN6043J...	4608x3456		0.772307	0000:00:00 00:00...	NIKON	COOLPIX P600	4.3	F/3.3	110	1/30
DSCN6044J...	4608x3456		0.77335	0000:00:00 00:00...	NIKON	COOLPIX P600	4.3	F/3.3	110	1/30
DSCN6045J...	4608x3456		0.771898	0000:00:00 00:00...	NIKON	COOLPIX P600	4.3	F/3.3	110	1/30
DSCN6046J...	4608x3456		0.755281	0000:00:00 00:00...	NIKON	COOLPIX P600	4.3	F/3.3	110	1/30
DSCN6047J...	4608x3456		0.74095	0000:00:00 00:00...	NIKON	COOLPIX P600	4.3	F/3.3	110	1/30
DSCN6048J...	4608x3456		0.764509	0000:00:00 00:00...	NIKON	COOLPIX P600	4.3	F/3.3	110	1/30
DSCN6049J...	4608x3456		0.747485	0000:00:00 00:00...	NIKON	COOLPIX P600	4.3	F/3.3	110	1/30
DSCN6050J...	4608x3456		0.702224	0000:00:00 00:00...	NIKON	COOLPIX P600	4.3	F/3.3	110	1/30
DSCN6051J...	4608x3456		0.66191	0000:00:00 00:00...	NIKON	COOLPIX P600	4.3	F/3.3	110	1/30
DSCN6052J...	4608x3456		0.716744	0000:00:00 00:00...	NIKON	COOLPIX P600	4.3	F/3.3	100	1/30
DSCN6053J...	4608x3456		0.684907	0000:00:00 00:00...	NIKON	COOLPIX P600	4.3	F/3.3	100	1/30
DSCN6054J...	4608x3456		0.74314	0000:00:00 00:00...	NIKON	COOLPIX P600	4.3	F/3.3	100	1/30
DSCN6055J...	4608x3456		0.744565	0000:00:00 00:00...	NIKON	COOLPIX P600	4.3	F/3.3	100	1/30

Εικ.18: Πίνακας όπου φαίνεται με αριθμητική τιμή η ποιότητα κάθε εικόνας.

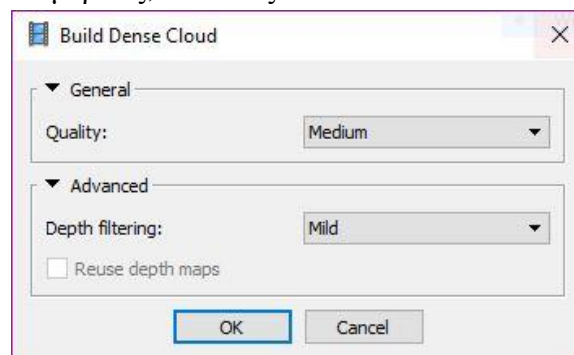
Το πρώτο βήμα προς τη ψηφιοποίηση είναι η ευθυγράμμιση των φωτογραφιών. Έγιναν οι επιλογές που φαίνονται στην εικ.19. Προτιμήθηκε η επιλογή disabled -παρότι είναι περισσότερο χρονοβόρα –γιατί, όπως αναφέρεται στον οδηγό του λογισμικού, είναι ιδανικότερη επιλογή για πιο περίπλοκα αντικείμενα. Το point limit είναι ο μέγιστος αριθμός ομόλογων σημείων που ορίζουμε ότι μπορεί να επιτευχθεί σε κάθε φωτογραφία.



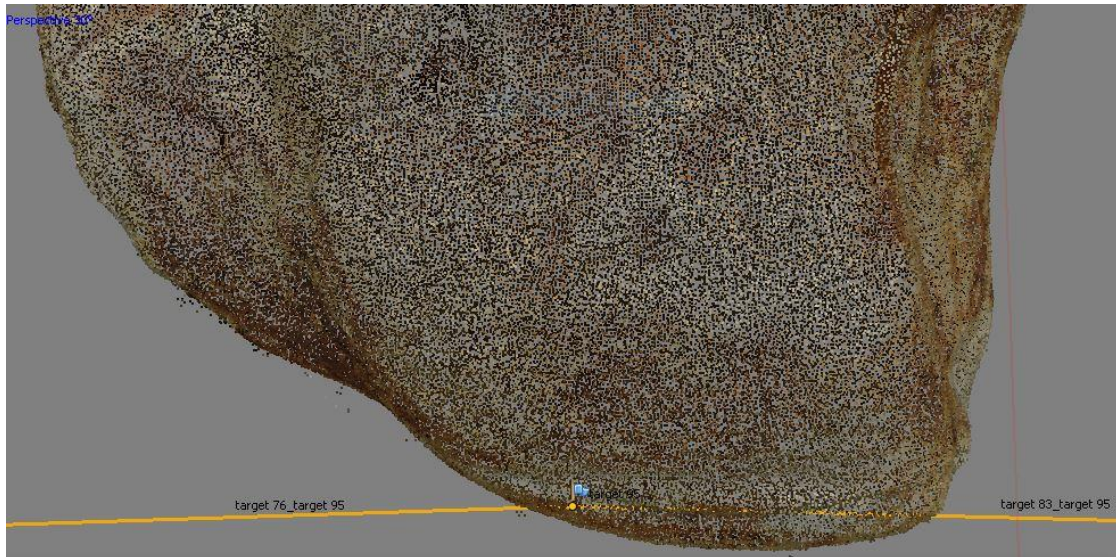
Εικ.19: Επιλογές που πραγματοποιήθηκαν για την ευθυγράμμιση των εικόνων.

Επόμενο βήμα είναι η αναγνώριση των στόχων ώστε να πραγματοποιηθεί η κλιμάκωση του μοντέλου. Επιλέγεται το detect markers. Αφού το λογισμικό αναγνωρίσει τους στόχους, στη συνέχεια συμπληρώνεται η μεταξύ τους απόσταση. Αφού το μοντέλο έχει ενημερωθεί με τα νέα δεδομένα, οι φωτογραφίες με τους στόχους δεν χρειάζονται πια και μπορούν να απενεργοποιηθούν.

Το δεύτερο βασικό βήμα της ροής εργασιών είναι η δημιουργία πυκνού νέφους σημείων. Η ποιότητα για κάποια αντικείμενα οριζόταν σε μέση ενώ για άλλα σε ανώτερη. Έπαιξε ρόλο το πλήθος των φωτογραφιών, δηλαδή άμα ήταν πάρα πολλές για να μην καθυστερεί υπερβολικά η όλη διαδικασία επιλεγόταν μέση ποιότητα αντί ανώτερης. Επιπλέον επιλέχθηκε mild, που είναι το ιδανικό για περίπλοκα αντικείμενα με πολλές λεπτομέρειες, όπως είναι τα οστά (βλ.εικ.20&21).

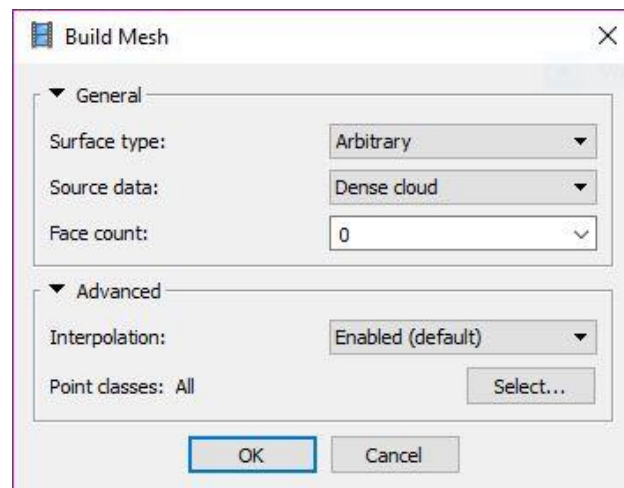


Εικ.20: Επιλογές που πραγματοποιήθηκαν για τη δημιουργία πυκνού νέφους σημείων.

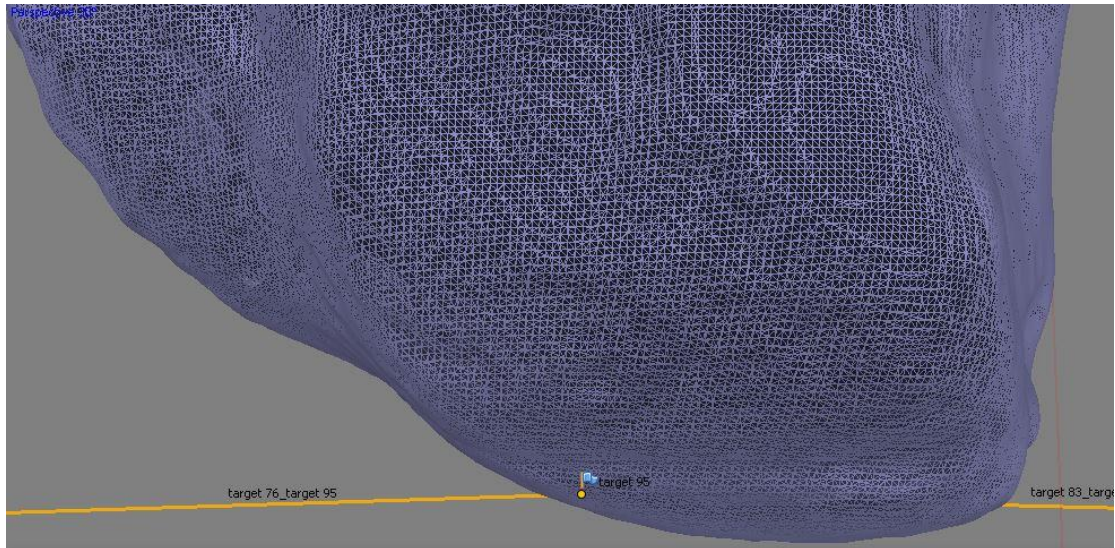


Εικ.21: Παράδειγμα αποτελέσματος μετά την ολοκλήρωση της δημιουργίας πυκνού νέφους σημείων.

Το τρίτο βήμα είναι η δημιουργία πλέγματος. Η πρώτη επιλογή είναι arbitrary, ιδανική επιλογή για αντικείμενα κι όχι για εξωτερικούς χώρους. Για τα αρχαιολογικά ευρήματα πάντα η επιλογή πρέπει να είναι arbitrary (Guidi et al. 2015). Επιλέχθηκε το πυκνό νέφος σημείων για την δημιουργία του πλέγματος κι όχι κάποιος αριθμητικός περιορισμός στα πλέγματα που θα δημιουργηθούν, ώστε να έχουμε ένα αποτέλεσμα με υψηλή ανάλυση. Στο interpolation η επιλογή ήταν enabled ώστε να καλυφθούν τυχόν κενά που θα μπορούσαν να υπάρξουν (βλ.εικ.22&23).

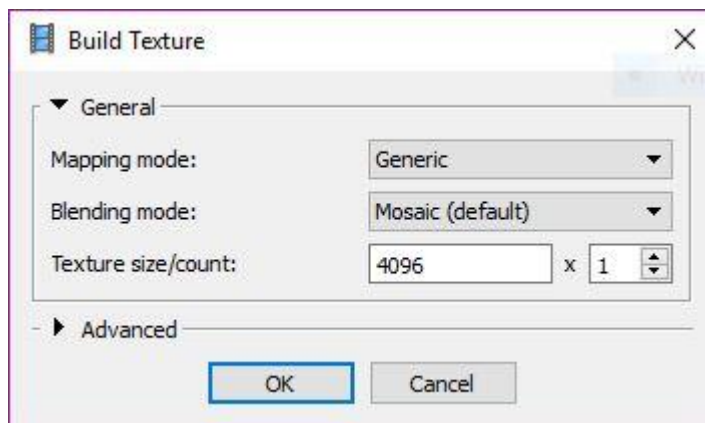


Εικ.22: Επιλογές που πραγματοποιήθηκαν για τη δημιουργία πλέγματος.



Εικ.23: Παράδειγμα αποτελέσματος μετά την ολοκλήρωση της δημιουργίας πλέγματος.

Το τελευταίο βήμα είναι η δημιουργία υφής. Όλες οι επιλογές είναι αυτές που προτείνονται από το ίδιο το λογισμικό. Συγκεκριμένα η επιλογή mosaic δίνει περισσότερα ποιοτικά αποτελέσματα (βλ.εικ.24&25).



Εικ.24: Επιλογές που πραγματοποιήθηκαν για τη δημιουργία υφής.



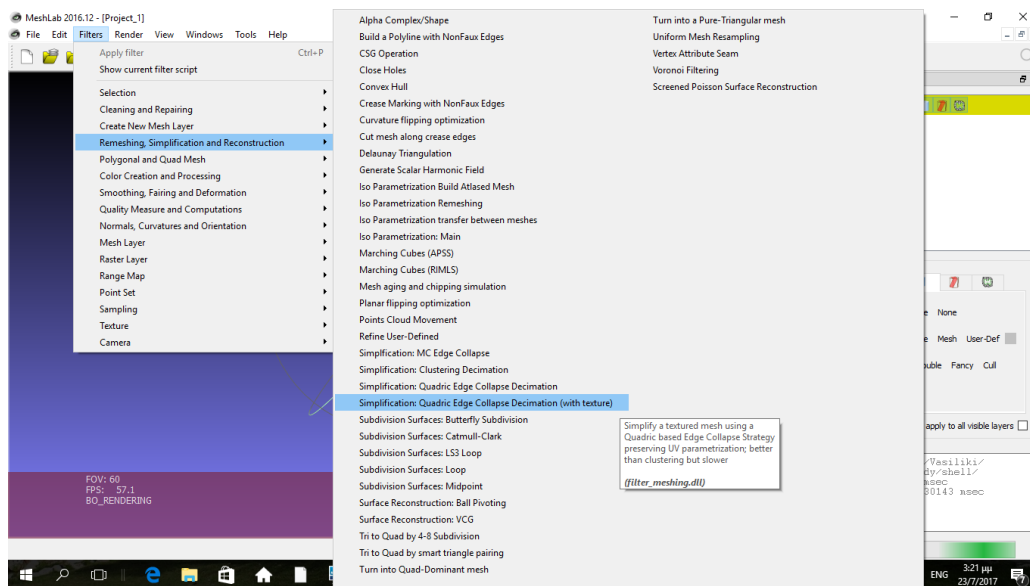
Εικ.25: Παράδειγμα αποτελέσματος μετά την ολοκλήρωση της δημιουργίας υφής.

Αξίζει να αναφερθεί ότι δεν χρειάστηκε να εφαρμοστούν «μάσκες», ώστε να απομονωθεί το αντικείμενο από οτιδήποτε περιττό στο φόντο. Αυτό επιτεύχθηκε διότι

το φόντο των αντικειμένων ήταν λευκό οπότε το λογισμικό διευκολύνθηκε στην αναγνώριση του κυρίου θέματος. Κάποια λίγα σημεία εκτός του αντικειμένου αφαιρέθηκαν με την επιλογή free-form selection. Το τριδιάστατο μοντέλο είναι πλέον έτοιμο και μπορεί να εξαχθεί σε διάφορες μορφές. Επιλέχθηκε η εξαγωγή σε αρχείο obj. Στη συνέχεια έγινε επεξεργασία των 3Δ μοντέλων με τα λογισμικό MeshLab.

Το MeshLab είναι ένα δωρεάν λογισμικό ανοιχτού κώδικά που αναπτύχθηκε το 2005 από το Ινστιτούτο Επιστήμης και Τεχνολογίας της Πληροφορικής της Ιταλίας. Χρησιμοποιείται για την επεξεργασία των τριγωνικών πλεγμάτων που δημιουργούνται κατά τη διαδικασία ψηφιοποίησης των αντικειμένων. Παρέχει δυνατότητες όπως απλοποίηση του πλέγματος, δημιουργία υφής, διάφορες διορθώσεις και πολλά άλλα. Βασικό χαρακτηριστικό είναι η δυνατότητα για εξαγωγή σε πληθώρα διαφόρων αρχείων ανάμεσα στα οποία είναι και η τριδιάστατη εκτύπωση. Έχει χρησιμοποιηθεί σε ποικίλους ερευνητικούς τομείς, ανάμεσα στους οποίους είναι η πολιτιστική κληρονομιά, η παλαιοντολογία, η μικροβιολογία, η ορθοδοντική, η βιομηχανία.

Το MeshLab στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκε για την απλοποίηση των τριγωνικών πλεγμάτων όπως αυτά είχαν προκύψει από την δημιουργία τους στο Photoscan. Στόχος ήταν να μειωθεί αρκετά το αρχικό μέγεθος του αρχείου, ώστε να είναι δυνατή η πιθανή χρήση τους στο διαδίκτυο. Συγκεκριμένα επιλέχθηκε από τα *Filters* το *Remeshing, Simplification and Reconstruction* κι έπειτα το *Quadratic Edge Collapse (with texture)* (βλ.εικ.26). Στο αναδυόμενο παράθυρο στο *Target number of faces* ο αριθμός ήταν 350.000 (αντιστοιχεί περίπου σε 45MB) μέγεθος ιδανικό για ανέβασμα των 3Δ μοντέλων στη δημοφιλή ιστοσελίδα Sketchfab (Pattee 2016). Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας αυτής γινόταν εξαγωγή του κάθε μοντέλου σε μορφή obj.



Εικ.26: Επιλογές στο λογισμικό Meshlab.

Συνοψίζοντας, σε αυτή τη φάση για κάθε 3D μοντέλο υπάρχουν δύο αρχεία obj, ένα που προέκυψε από την δημιουργία των μοντέλων στο Photoscan κι ένα μικρότερου μεγέθους κι απλοποιημένο ως προς την γεωμετρική του πληροφορία που προέκυψε μετά την επεξεργασία τους στο MeshLab. Διατηρήθηκαν και τα δύο αρχεία. Το πρώτο αρχείο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για περαιτέρω επεξεργασία και εξαγωγή επιστημονικών συμπερασμάτων, όπως για παράδειγμα μετρητικές πληροφορίες όταν δεν υπάρχει πρόσβαση στο υλικό. Το δεύτερο αρχείο που είναι μικρότερο από 50 MB ενδείκνυται κυρίως για χρήση στο διαδίκτυο.

### 4.3. Αποτελέσματα ψηφιοποίησης

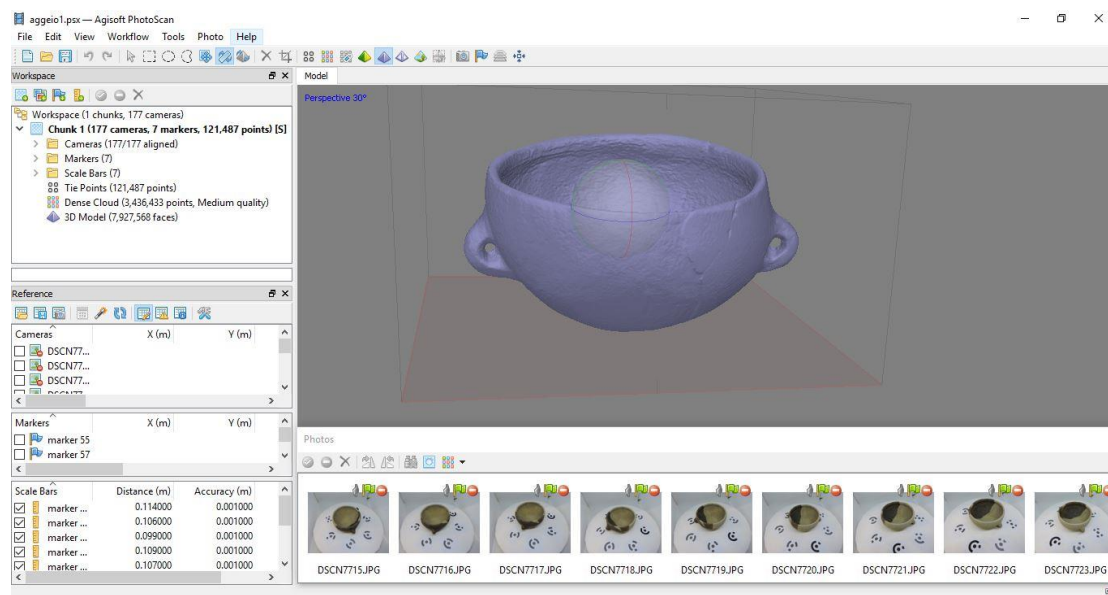
Ψηφιοποιήθηκαν συνολικά 46 ευρήματα. Συγκεκριμένα, από την ανασκαφή που έγινε στο εσωτερικό του σπηλαίου και τα ευρήματα χρονολογήθηκαν από τη Νεότερη Νεολιθική έως και την Πρώιμη Εποχή του Χαλκού, ψηφιοποιήθηκαν 6 αγγεία (5 ακέραια και 1 θραύσμα), 2 σφονδύλια κι ένα όστρεο με τεχνητή διάτρηση. Από την παλαιοντολογική ανασκαφή εξωτερικά του σπηλαίου, όπου βρέθηκαν οστά κι εργαλεία και χρονολογήθηκαν περίπου στα 31.000 χρόνια πριν από σήμερα, ψηφιοποιήθηκαν 37 οστά και δόντια. Αναλυτικά, 24 οστά και 6 δόντια ανήκουν στο είδος *Equus caballus*, 3 οστά ανήκουν στο είδος *Megaloceros giganteus*, 2 οστά ανήκουν στο είδος *Ursus spelaeus*, κι από ένα οστό ανήκει στα είδη *Coelodonta antiquitatis* και *Cervus elaphus*. Τα ψηφιοποιημένα οστά και δόντια που προέρχονται από το είδος *Equus ferus*

υπερεκπροσωπούνται, διότι και ανασκαφικά αποτελούν την πλειονότητα των οστεολογικών ευρημάτων σε ποσοστό 83,2%.

Τα πέντε αγγεία επιλέχθηκαν ως τα μοναδικά αποκατεστημένα θραύσματα κεραμικής, το θραύσμα επιλέχθηκε ως αντιπροσωπευτικό των πολλών θραυσμάτων κεραμικής που βρέθηκαν, τα δύο σφονδύλια επιλέχθηκαν επειδή ήταν ακέραια και διαφορετικού σχήματος και το όστρεο με την οπή ως ένα ακόμη ιδιαίτερο εύρημα της ανασκαφής. Η επιλογή των οστών έγινε με βάση το βαθμό διατήρησής τους, να σώζονται δηλαδή σε ικανοποιητικό βαθμό ώστε να είναι κατανοητή η μορφολογία τους. Σε όλα τα ευρήματα έγινε κλιμάκωση του μοντέλου με φωτογραμμετρικούς στόχους εκτός από τα σφονδύλια και το όστρεο που δεν κρίθηκε απαραίτητο. Ακολουθεί αναφορά των αποτελεσμάτων της ψηφιοποίησης ανά είδος ευρήματος και είδους ζώου.

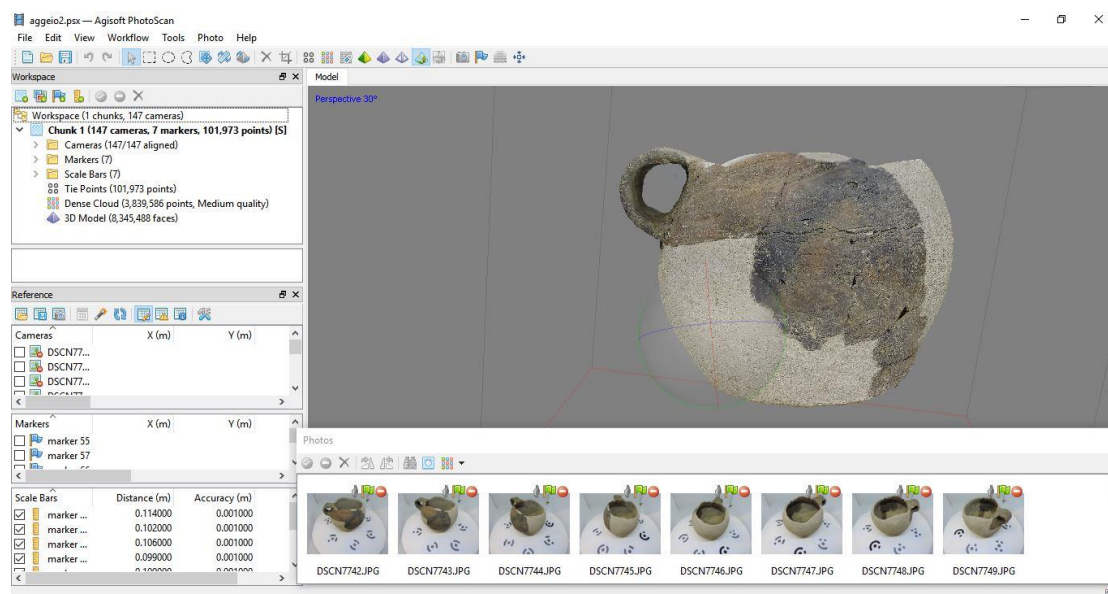
#### 4.3.α. Αγγεία

Για το αγγείο 1 (σελ.39) χρησιμοποιήθηκαν 177 φωτογραφίες και 7 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 121.487 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 3.963.782 κορυφές και 7.972.568 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 578MB (βλ.εικ.27).



Εικ.27: Το αγγείο 1 κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζεται το πλέγμα.

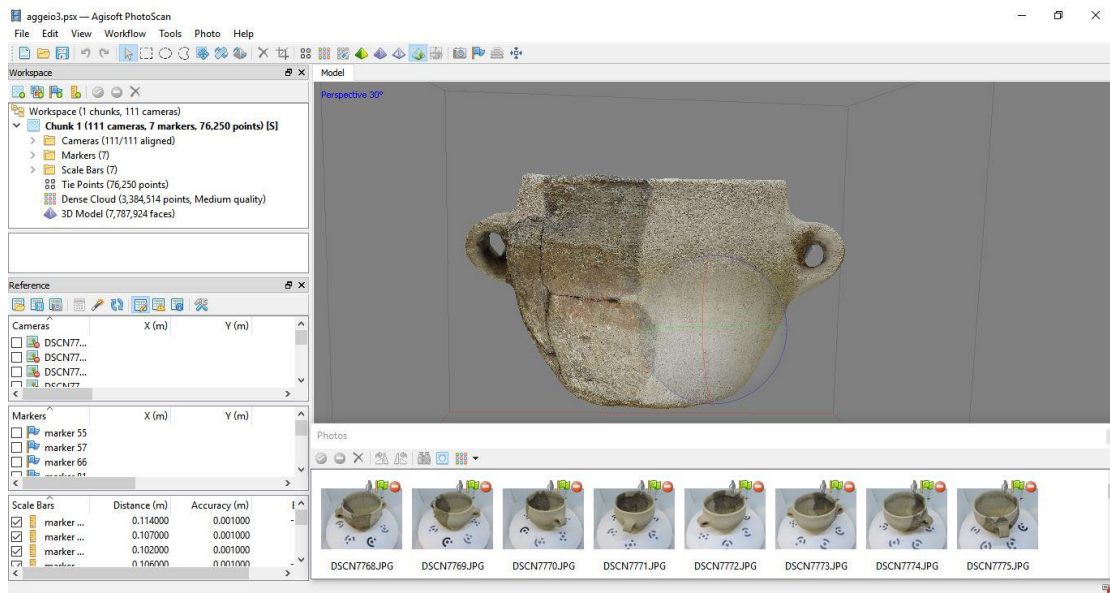
Για το αγγείο 2 (σελ.40) χρησιμοποιήθηκαν 147 φωτογραφίες και 7 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 101.973 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 3.839.586 κορυφές και 8.345.488 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 607MB (βλ.εικ28).



Εικ.28: Το αγγείο 2 κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζεται ολοκληρωμένο με την υφή.

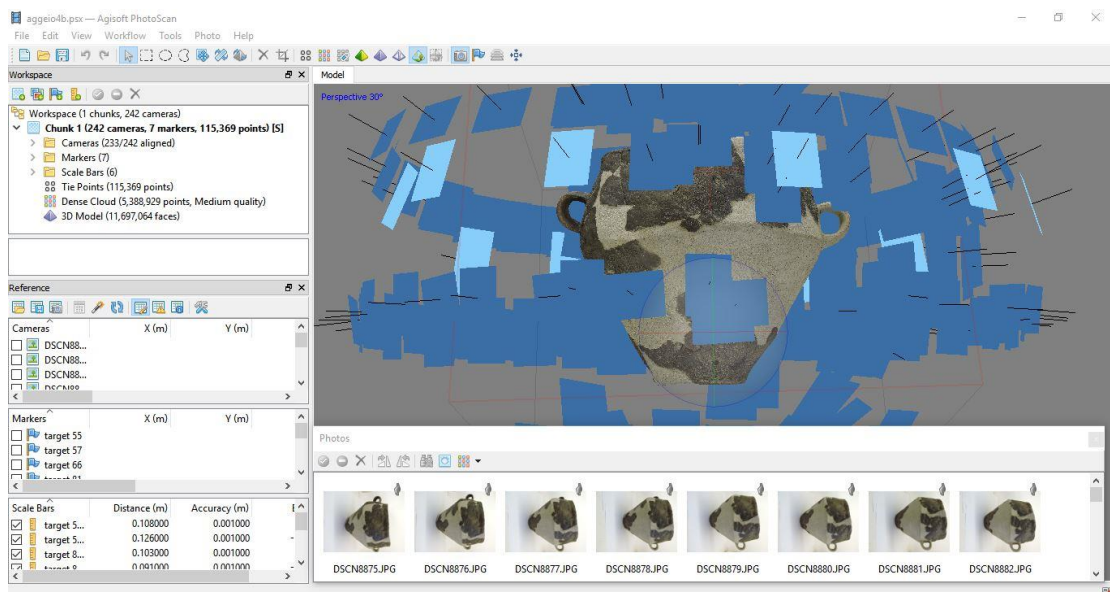
Για το αγγείο 3 (σελ.40) χρησιμοποιήθηκαν 111 φωτογραφίες και 7 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 76.250 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 3.384.514 κορυφές και 7.787.924 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 566MB (βλ.εικ.29).





Εικ.29: Το αγγείο 3 κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζεται ολοκληρωμένο με την υφή.

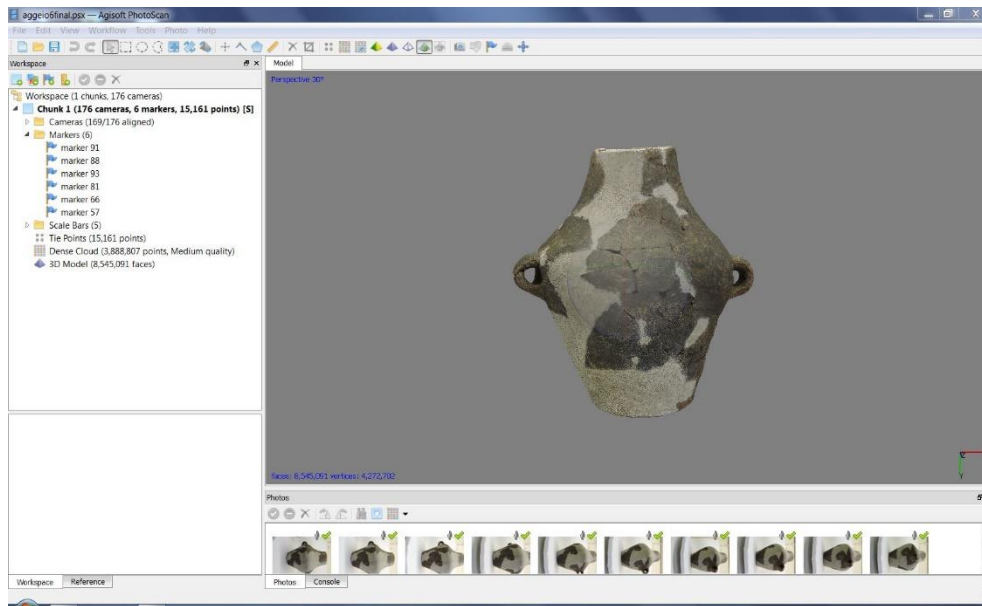
Για το αγγείο 4 (σελ.40) χρησιμοποιήθηκαν 242 φωτογραφίες, από τις οποίες μπόρεσαν να ευθυγραμμιστούν οι 233, και 7 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 115.369 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 3.388.929 κορυφές και 11.697.064 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 855MB (βλ.εικ.30).



Εικ.30: Το αγγείο 4 κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζεται ολοκληρωμένο με την υφή και με τις ευθυγραμμισμένες φωτογραφίες.

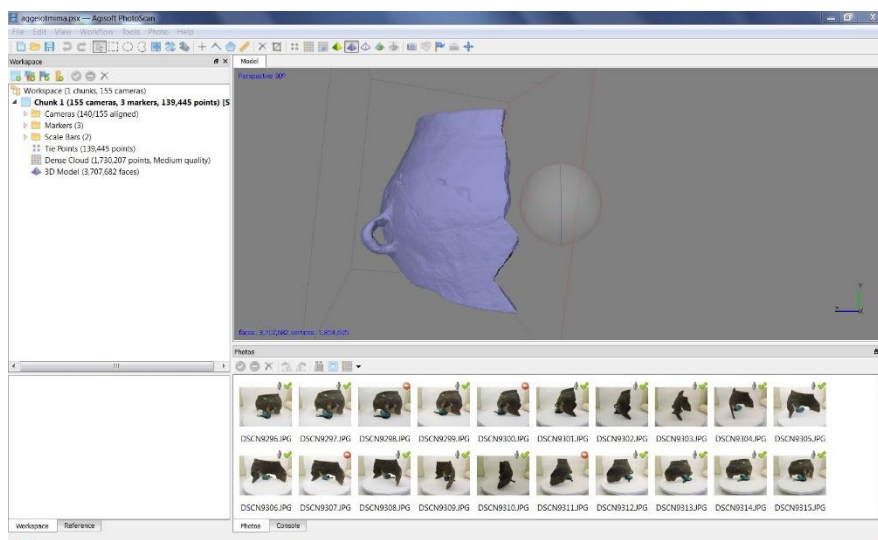
Για το αγγείο 5 (σελ.40) χρησιμοποιήθηκαν 176 φωτογραφίες, από τις οποίες μπόρεσαν να ευθυγραμμιστούν οι 169, και 6 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος

σημείων έχει 15.161 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 3.888.807 κορυφές και 8.545.891 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 623MB (βλ.εικ.31).



Εικ.31: Το αγγείο 5 κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζεται ολοκληρωμένο με την υφή.

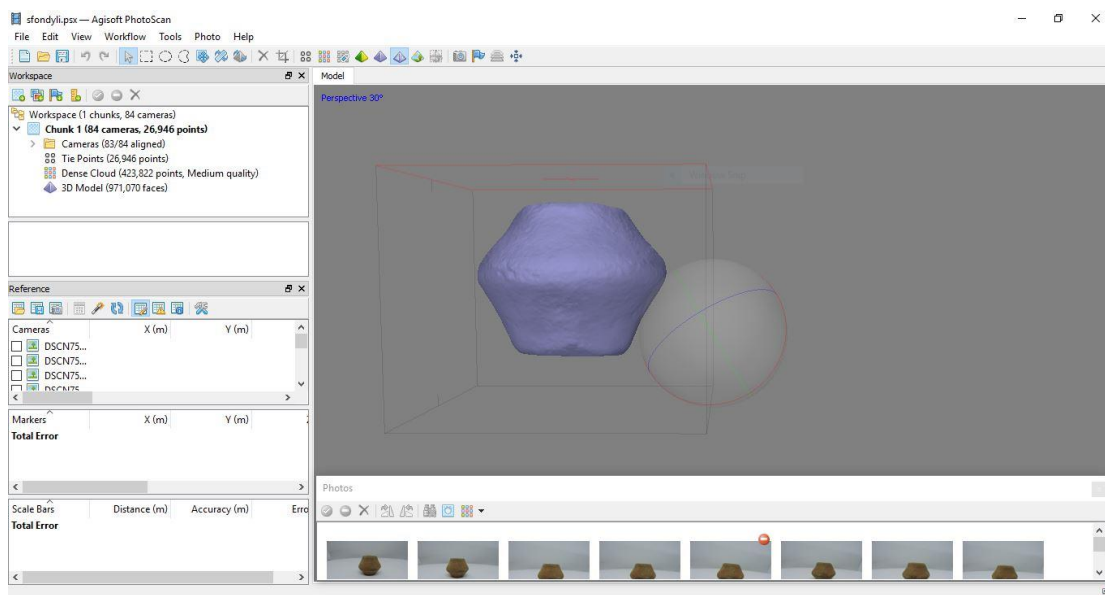
Για το αγγείο 6 (σελ.40) χρησιμοποιήθηκαν 155 φωτογραφίες, από τις οποίες μπόρεσαν να ευθυγραμμιστούν οι 140, και 3 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 139.445 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 1.730.207 κορυφές και 3.707.682 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 268MB (βλ.εικ.32).



Εικ.32: Το αγγείο 6 κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζεται με το πλέγμα.

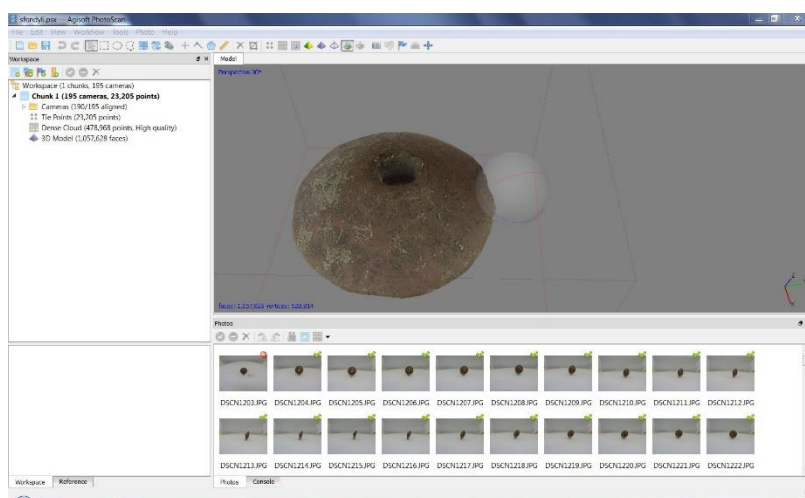
### 4.3.β. Σφονδύλια και όστρεο

Για το σφονδύλι με σχήμα αμφικωνικό ισόπλευρο χρησιμοποιήθηκαν 84 φωτογραφίες, από τις οποίες μπόρεσαν να ευθυγραμμιστούν οι 83. Το νέφος σημείων έχει 26.946 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 423.822 κορυφές και 971.070 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 67MB (βλ.εικ.33).



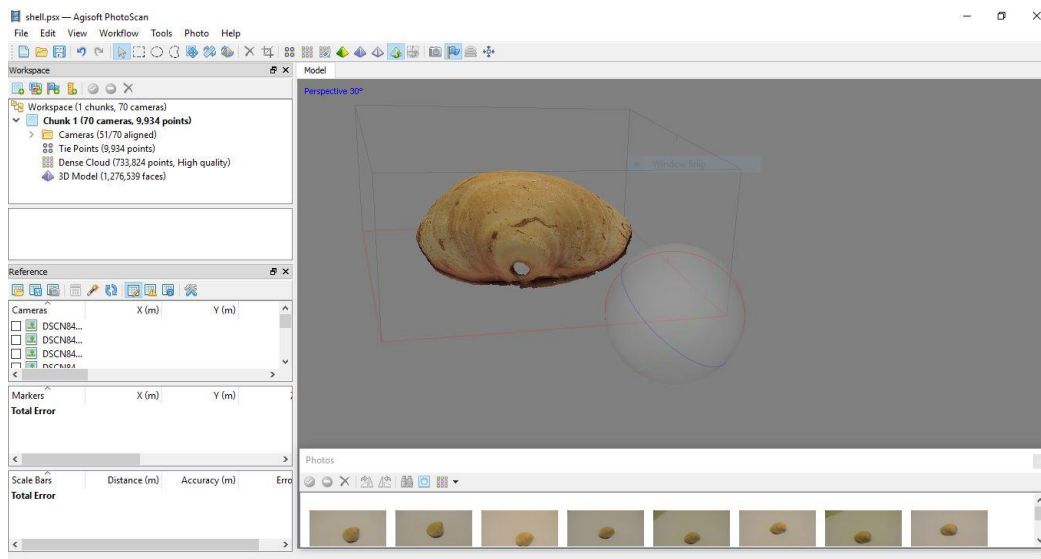
Εικ.33: Το σφονδύλι με το αμφικωνικό σχήμα κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζεται με το πλέγμα.

Για το σφονδύλι με το δισκόμορφο σχήμα χρησιμοποιήθηκαν 195 φωτογραφίες, από τις οποίες μπόρεσαν να ευθυγραμμιστούν οι 190. Το νέφος σημείων έχει 23.205 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 478.968 κορυφές και 1.057.628 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 73MB (βλ.εικ.34).



Εικ.34: Το σφονδύλι με το δισκόμορφο σχήμα κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζεται ολοκληρωμένο με την υφή.

Για το όστρεο του είδους *Glycymeris glycymeris* με την τεχνητή διάτρηση χρησιμοποιήθηκαν 70 φωτογραφίες, από τις οποίες μπόρεσαν να ευθυγραμμιστούν οι 51. Το νέφος σημείων έχει 9.934 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 733.824 κορυφές και 1.276.539 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 88MB (βλ.εικ.35).

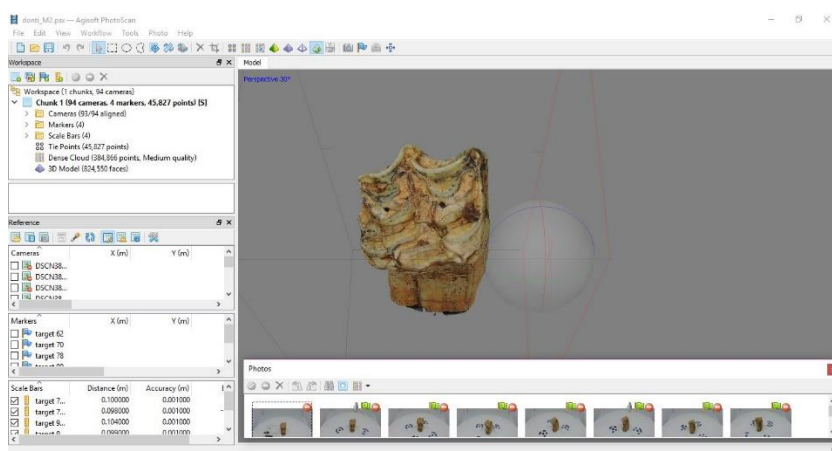


Εικ.35: Το όστρεο κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζεται ολοκληρωμένο με την υφή.

#### 4.3.γ. Οστά

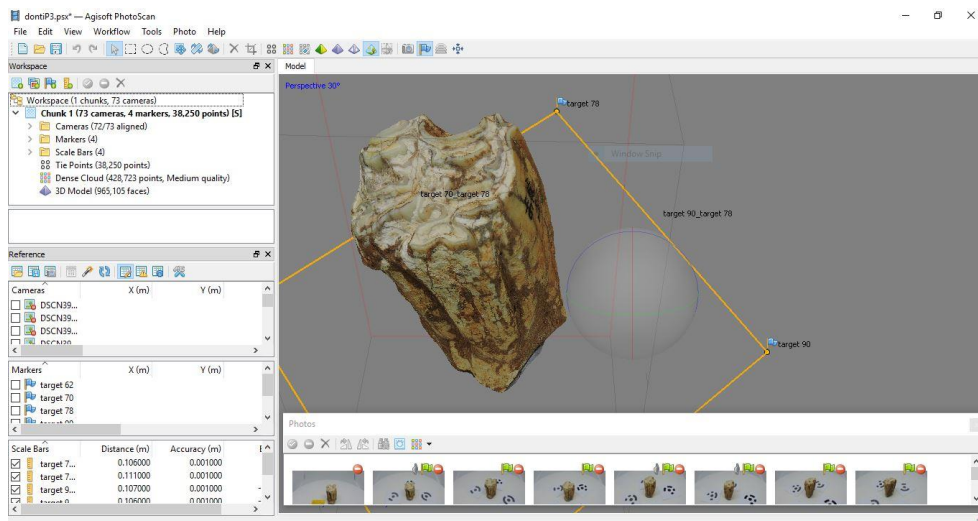
##### *Equus caballus*

Δόντι, συγκεκριμένα δεύτερος γομφίος από την άνω γνάθο. Χρησιμοποιήθηκαν 94 φωτογραφίες, από τις οποίες μπόρεσαν να ευθυγραμμιστούν οι 93, και 4 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 45.827 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 384.866 κορυφές και 824.550 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 57MB (βλ.εικ.36).



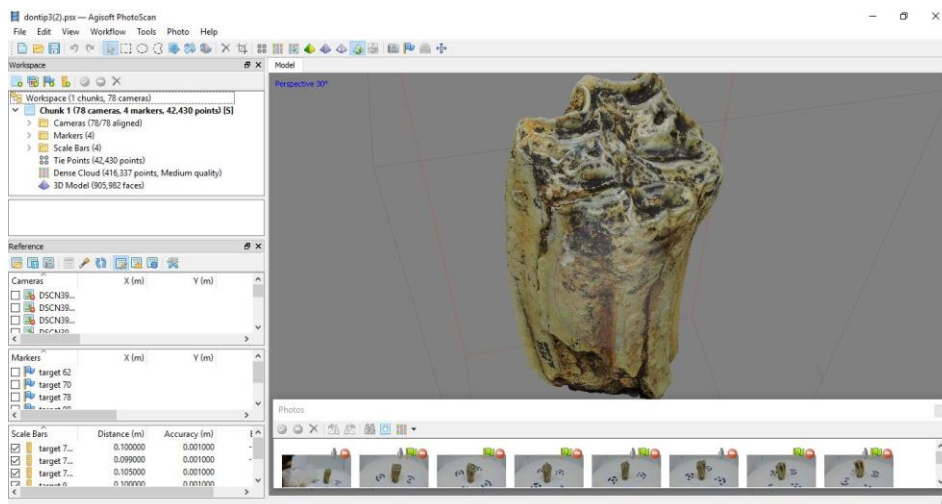
Εικ.36: Γομφίος από την άνω γνάθο κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζεται ολοκληρωμένος με την υφή.

Δόντι, συγκεκριμένα τρίτος προγόμφιος από την άνω γνάθο. Χρησιμοποιήθηκαν 73 φωτογραφίες, από τις οποίες μπόρεσαν να ευθυγραμμιστούν οι 72, και 4 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 38.250 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 428.723 κορυφές και 965.105 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 67MB (βλ.εικ.37).



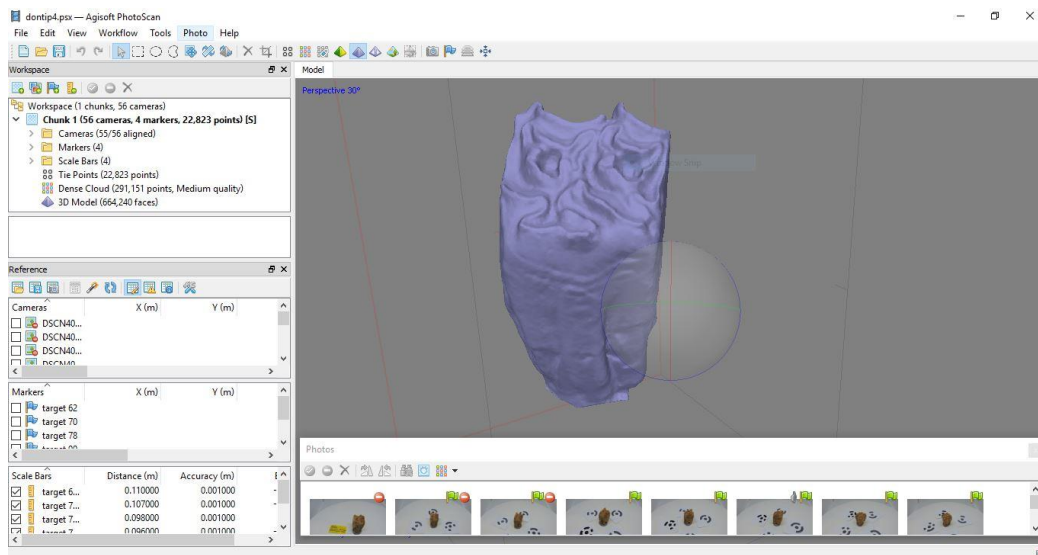
Εικ.37: Προγόμφιος από την άνω γνάθο κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζεται ολοκληρωμένος με την υφή.

Δόντι, επίσης τρίτος προγόμφιος από την άνω γνάθο. Χρησιμοποιήθηκαν 78 φωτογραφίες και 4 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 42.430 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 416.337 κορυφές και 905.982 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 63MB (βλ.εικ.38).



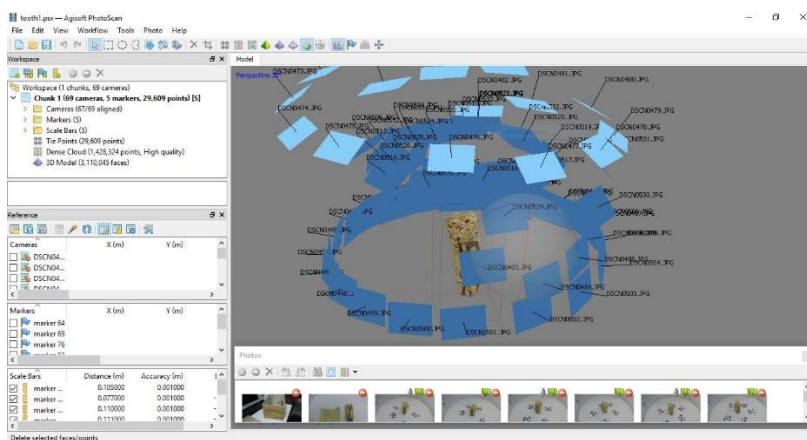
Εικ.38: Προγόμφιος από την άνω γνάθο κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζεται ολοκληρωμένος με την υφή.

Δόντι, συγκεκριμένα τέταρτος προγόμφιος από την άνω γνάθο. Χρησιμοποιήθηκαν 56 φωτογραφίες από τις οποίες μπόρεσαν να ευθυγραμμιστούν οι 55, και 4 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 22.823 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 291.151 κορυφές και 664.240 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 46MB (βλ.εικ.39).



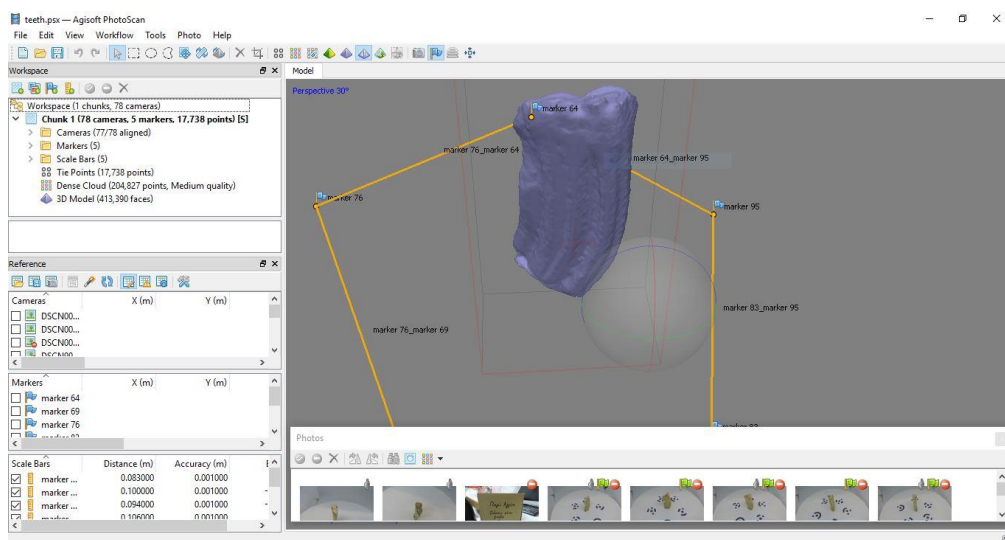
Εικ.39: Προγόμφιος από την άνω γνάθο κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζεται με το πλέγμα.

Δόντι, επίσης τέταρτος προγόμφιος από την άνω γνάθο. Χρησιμοποιήθηκαν 69 φωτογραφίες, από τις οποίες μπόρεσαν να ευθυγραμμιστούν οι 67, και 5 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 29.609 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 1.428.324 κορυφές και 3.110.045 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 220MB (βλ.εικ.40).



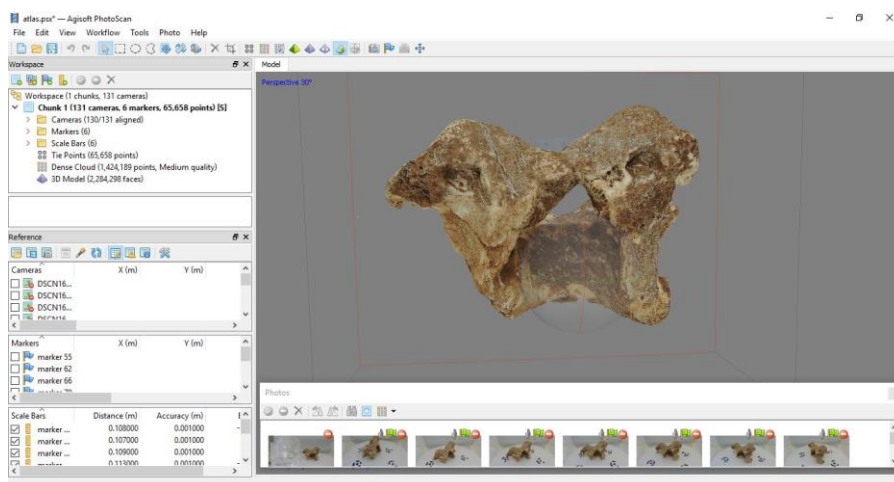
Εικ.40: Προγόμφιος από την άνω γνάθο κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζεται ολοκληρωμένος και τις φωτογραφίες με τις οποίες δημιουργήθηκε.

Δόντι, συγκεκριμένα τέταρτος προγόμφιος από την κάτω γνάθο. Χρησιμοποιήθηκαν 78 φωτογραφίες από τις οποίες μπόρεσαν να ευθυγραμμιστούν οι 77, και 5 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 17.738 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 204.827 κορυφές και 413.390 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 29MB(βλ.εικ.41).



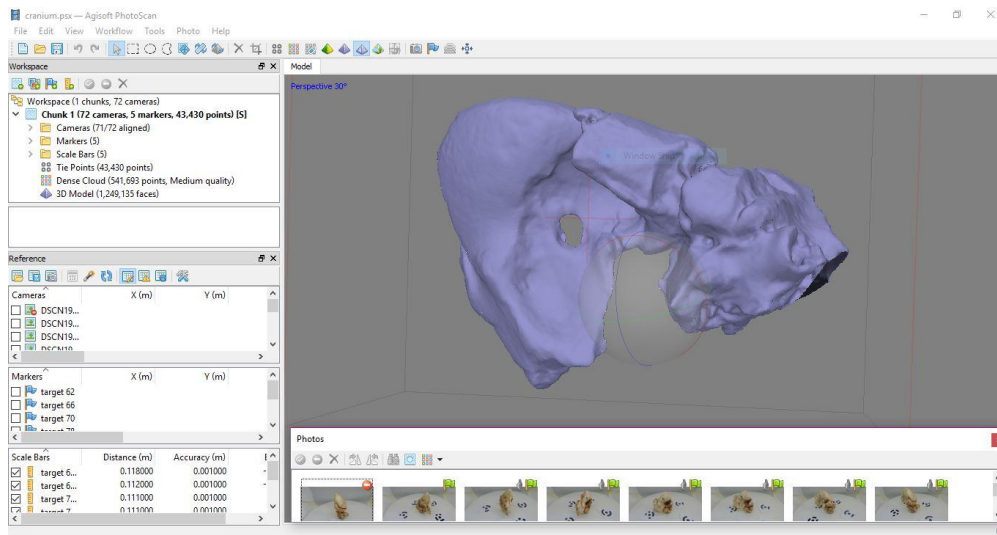
Εικ.41: Προγόμφιος από την κάτω γνάθο κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζεται με το πλέγμα και τα φωτοσταθερά.

Άτλας, πρόκειται για τον πρώτο αυχενικό σπόνδυλο που συνδέει το κρανίο με την σπονδυλική στήλη. Χρησιμοποιήθηκαν 131 φωτογραφίες, από τις οποίες μπόρεσαν να ευθυγραμμιστούν οι 130, και 6 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 65.658 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 1.424.189 κορυφές και 2.284.298 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 158MB(βλ.εικ.42).



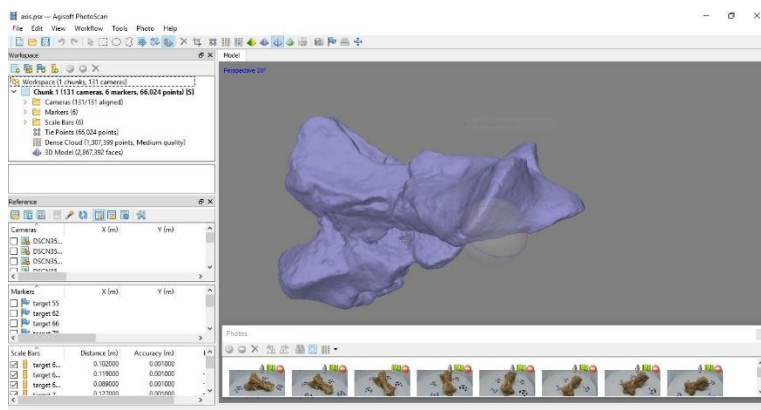
Εικ.42: Οστό από τη σπονδυλική στήλη αλόγου κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζεται ολοκληρωμένο με την υφή.

Θραύσμα από το κρανίο μαζί με τον άτλαντα. Χρησιμοποιήθηκαν 72 φωτογραφίες, από τις οποίες μπόρεσαν να ευθυγραμμιστούν οι 71, και 5 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 43.430 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 541.693 κορυφές και 1.249.135 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 87MB (βλ.εικ.43).



Εικ.43: Θραύσμα από το κρανίο κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζεται το πλέγμα.

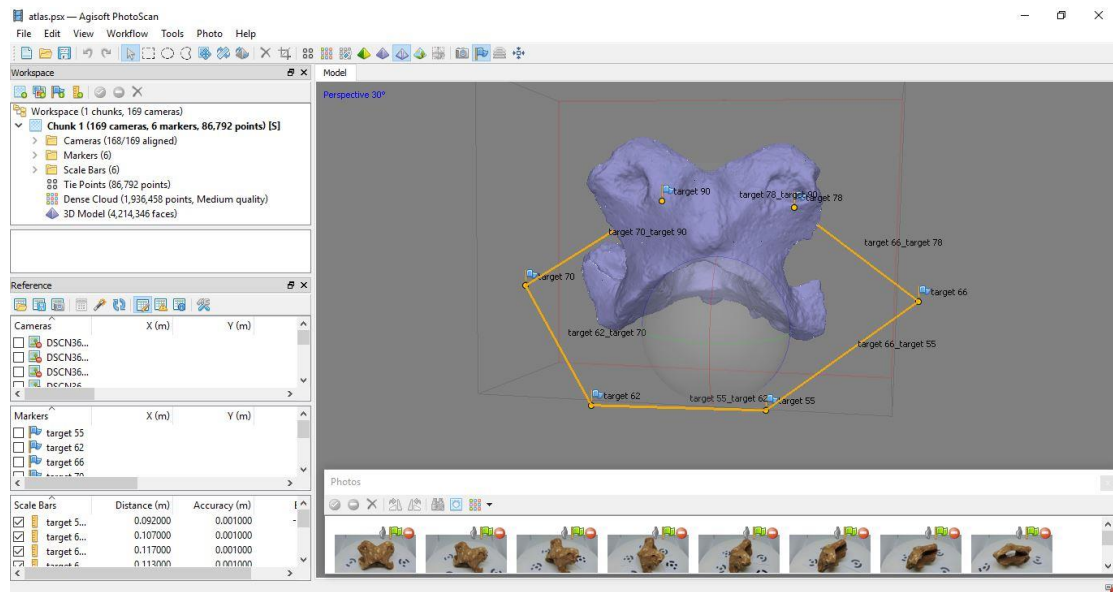
Άξονας, πρόκειται για το δεύτερο αυχενικό σπόνδυλο, ο οποίος επεκτείνεται προς τα πάνω και εισέρχεται σε μια ειδική θέση του άτλαντα. Χρησιμοποιήθηκαν 131 φωτογραφίες από τις οποίες μπόρεσαν να ευθυγραμμιστούν οι 130, και 6 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 66.024 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 1.307.399 κορυφές και 2.867.392 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 201MB (βλ.εικ.44).



Εικ.44: Οστό από την σπονδυλική στήλη αλόγου κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζεται το πλέγμα.

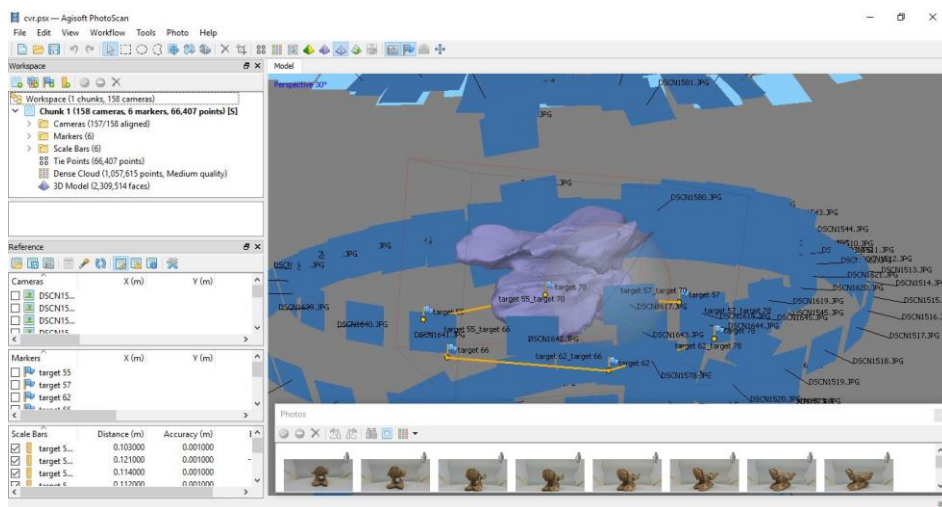


Αυχενικός σπόνδυλος. Οι αυχενικοί σπόνδυλοι στο άλογο μαζί με τον άτλαντα και τον άξονα είναι 7. Χρησιμοποιήθηκαν 169 φωτογραφίες, από τις οποίες μπόρεσαν να ευθυγραμμιστούν οι 168, και 6 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 86.792 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 1.936.458 κορυφές και 4.214.346 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 303MB (βλ.εικ.45).



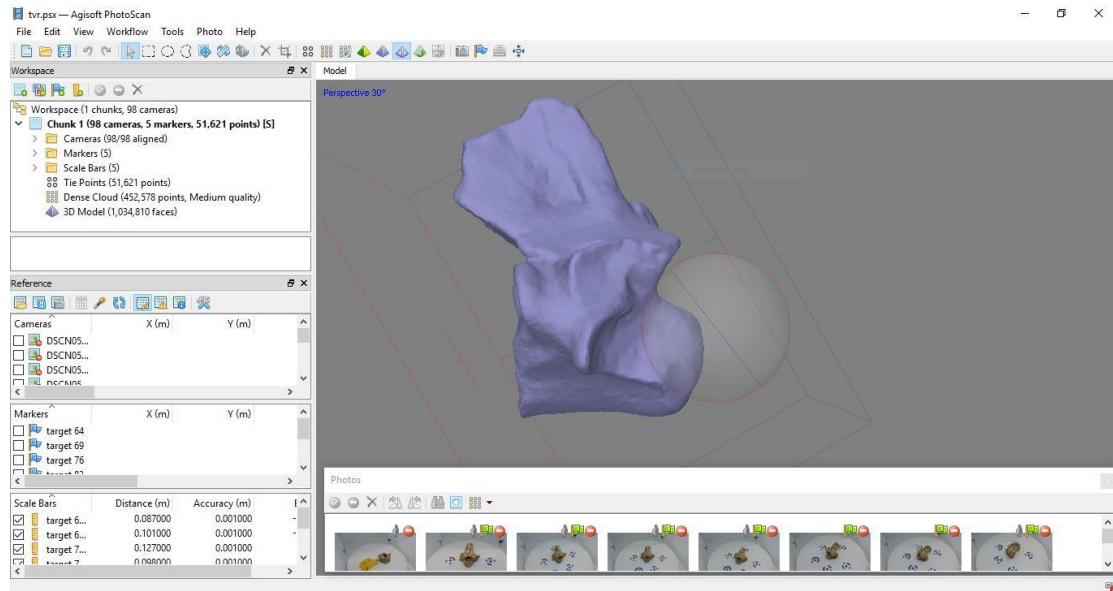
Εικ.45: Οστό από την σπονδυλική στήλη αλόγου κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζεται το πλέγμα.

Αυχενικός σπόνδυλος. Χρησιμοποιήθηκαν 158 φωτογραφίες, από τις οποίες μπόρεσαν να ευθυγραμμιστούν οι 157, και 6 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 66.407 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 1.057.615 κορυφές και 2.309.514 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 161MB (βλ.εικ.46).



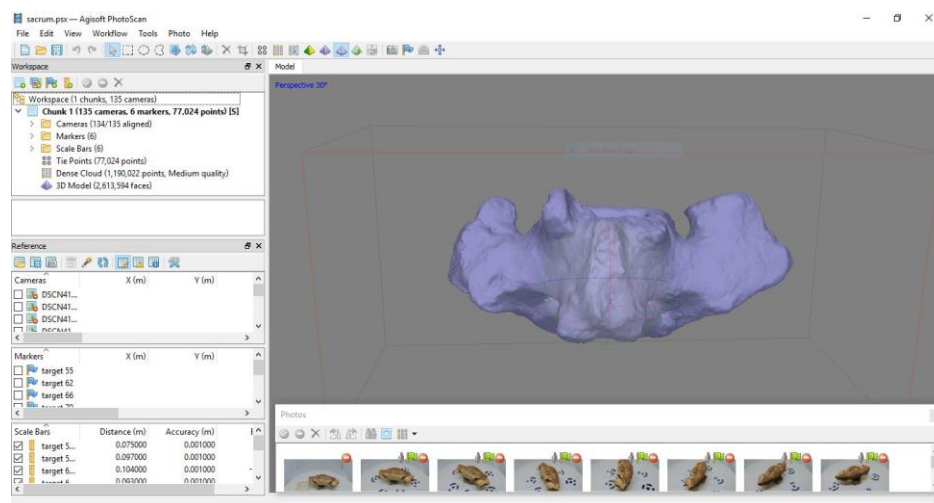
Εικ.46: Οστό από την σπονδυλική στήλη αλόγου κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζεται το πλέγμα και οι φωτογραφίες.

Θωρακικός σπόνδυλος. Οι θωρακικοί σπόνδυλοι στο άλογο είναι 18. Χρησιμοποιήθηκαν 98 φωτογραφίες και 5 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 51.621 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 452.578 κορυφές και 1.034.810 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 71MB (βλ.εικ.47).



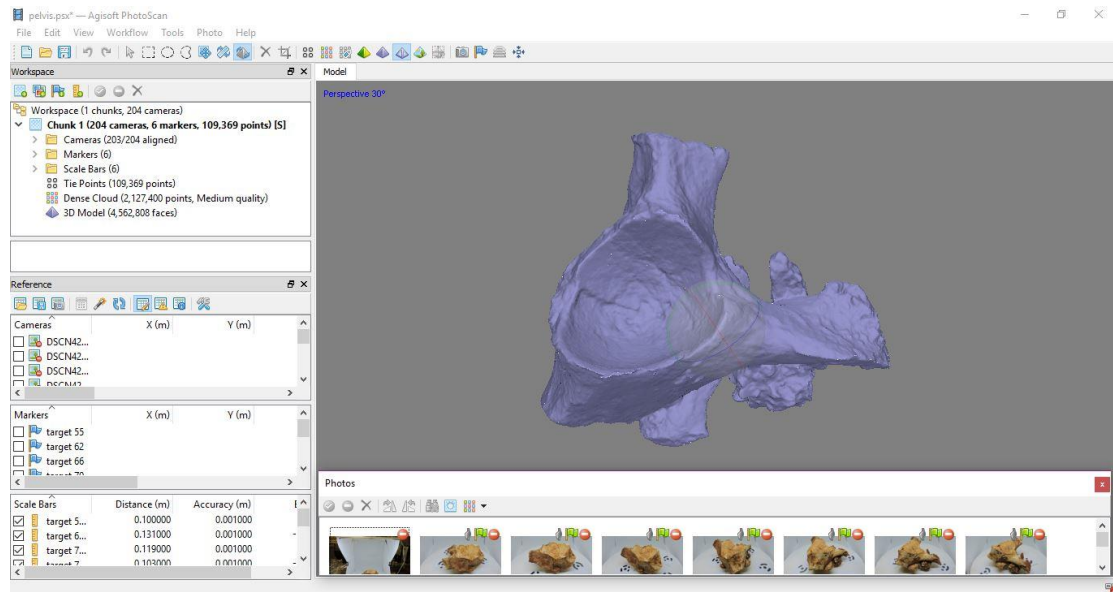
Εικ.47: Οστό από την σπονδυλική στήλη αλόγου κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζεται το πλέγμα.

Τμήμα από το ιερό οστό. Χρησιμοποιήθηκαν 135 φωτογραφίες, από τις οποίες μπόρεσαν να ευθυγραμμιστούν οι 134, και 6 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 77.024 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 1.190.022 κορυφές και 2.613.594 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 183MB (βλ.εικ.48).



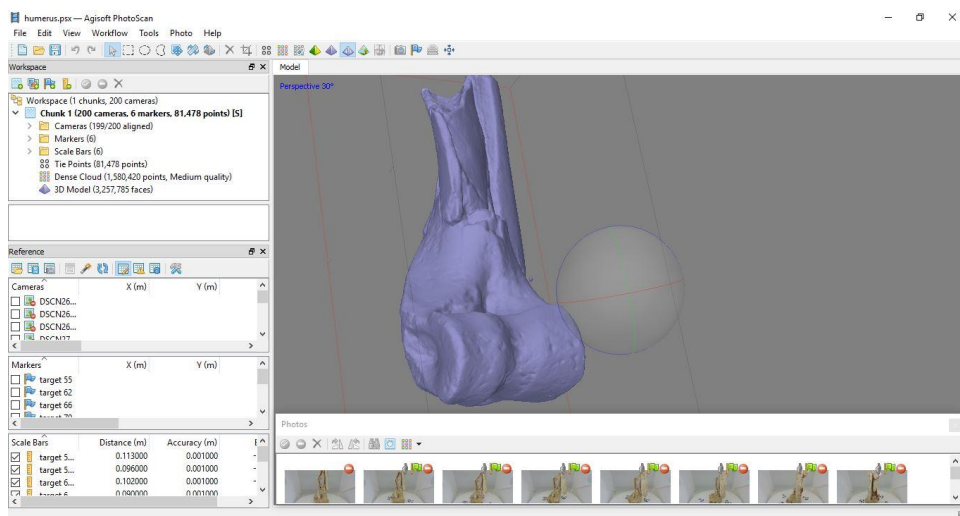
Εικ.48: Οστό από την σπονδυλική στήλη αλόγου κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζεται το πλέγμα.

Τμήμα από τη λεκάνη. Χρησιμοποιήθηκαν 204 φωτογραφίες, από τις οποίες μπόρεσαν να ευθυγραμμιστούν οι 203, και 6 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 109.369 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 2.127.400 κορυφές και 4.562.808 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 328MB (βλ.εικ.49).



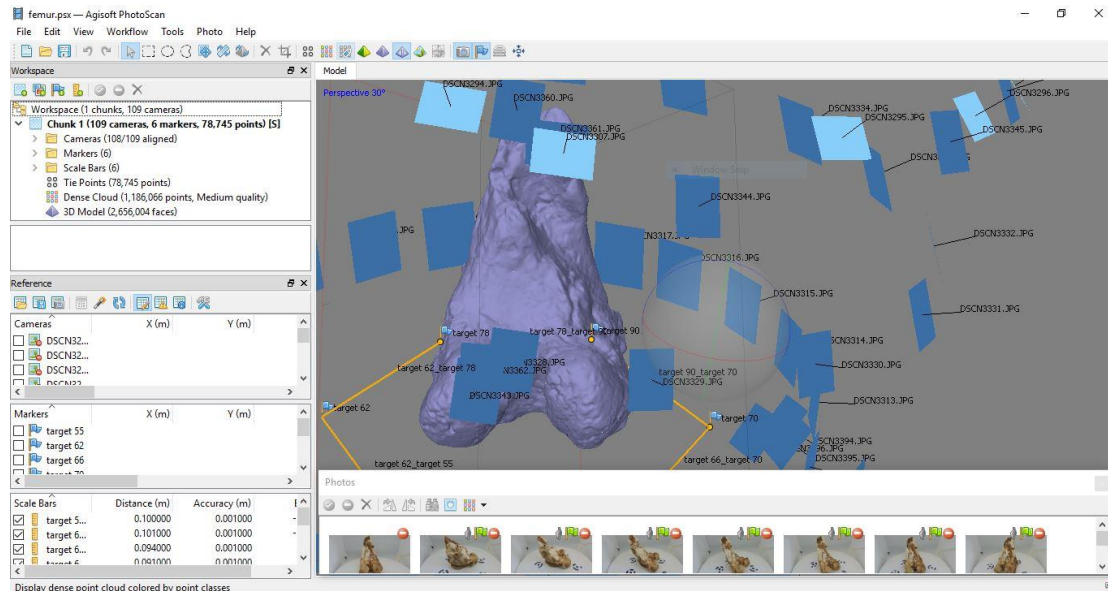
Εικ.49: Θραύσμα από τη λεκάνη αλόγου κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζεται το πλέγμα.

Βραχίονας. Σώζεται η κάτω επίφυση. Χρησιμοποιήθηκαν 200 φωτογραφίες, από τις οποίες μπόρεσαν να ευθυγραμμιστούν οι 199, και 6 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 81.478 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 1.580.420 κορυφές και 3.257.785 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 231MB (βλ.εικ.50).



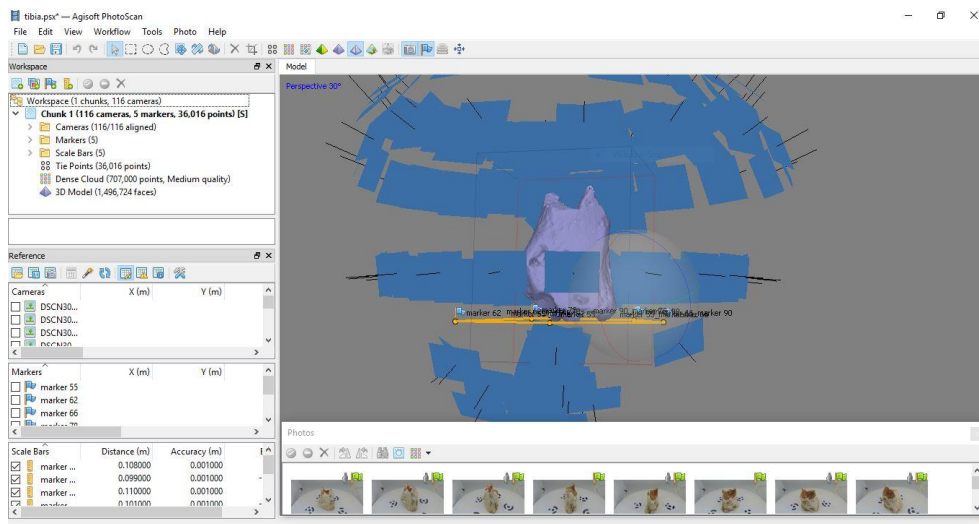
Εικ.50: Θραύσμα από βραχίονα αλόγου κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζεται το πλέγμα.

Μηριαίο. Σώζεται η κάτω επίφυση. Χρησιμοποιήθηκαν 109 φωτογραφίες, από τις οποίες μπόρεσαν να ευθυγραμμιστούν οι 108, και 6 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 78.745 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 1.186.066 κορυφές και 2.656.004 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 187MB (βλ.εικ.51).



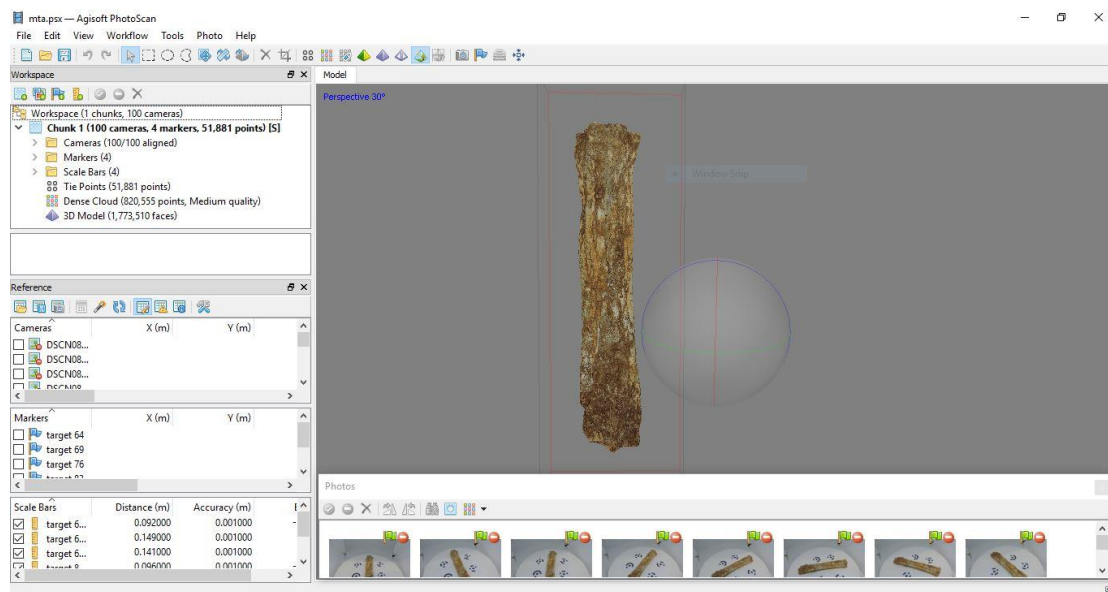
Εικ.51: Θραύσμα από μηριαίο αλόγου κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζεται το πλέγμα.

Κνήμη. Επίσης, σώζεται η κάτω επίφυση. Χρησιμοποιήθηκαν 116 φωτογραφίες και 5 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 36.016 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 707.000 κορυφές και 1.496.724 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 103MB (βλ.εικ.52).



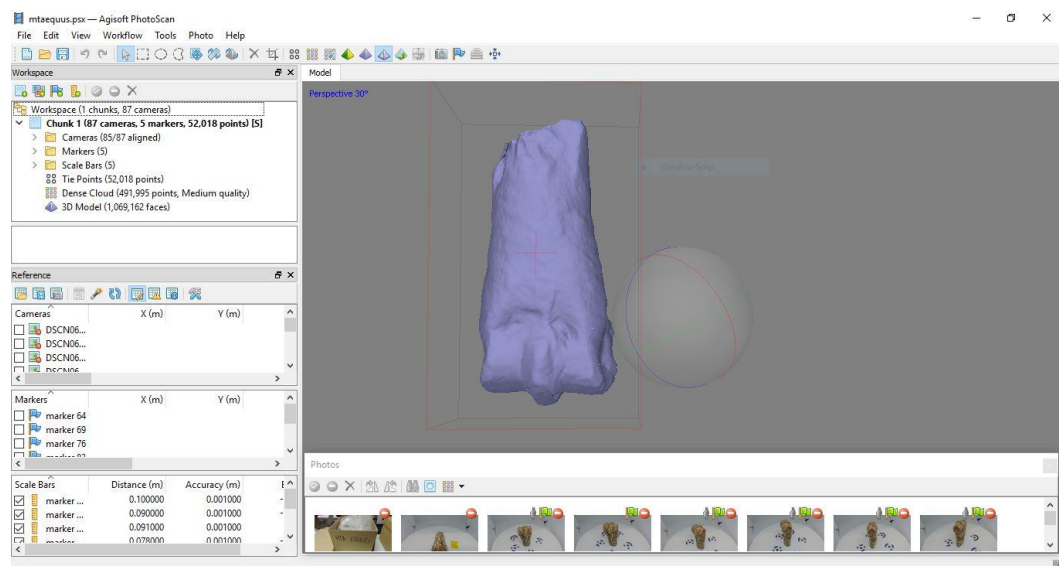
Εικ.52: Θραύσμα από κνήμη αλόγου κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζεται το πλέγμα και οι ευθυγράμμιση των φωτογραφιών.

Μετατάρσιο. Σώζεται ακέραιο. Χρησιμοποιήθηκαν 100 φωτογραφίες και 4 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 51.881 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 820.555 κορυφές και 1.773.510 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 122MB (βλ.εικ.53).



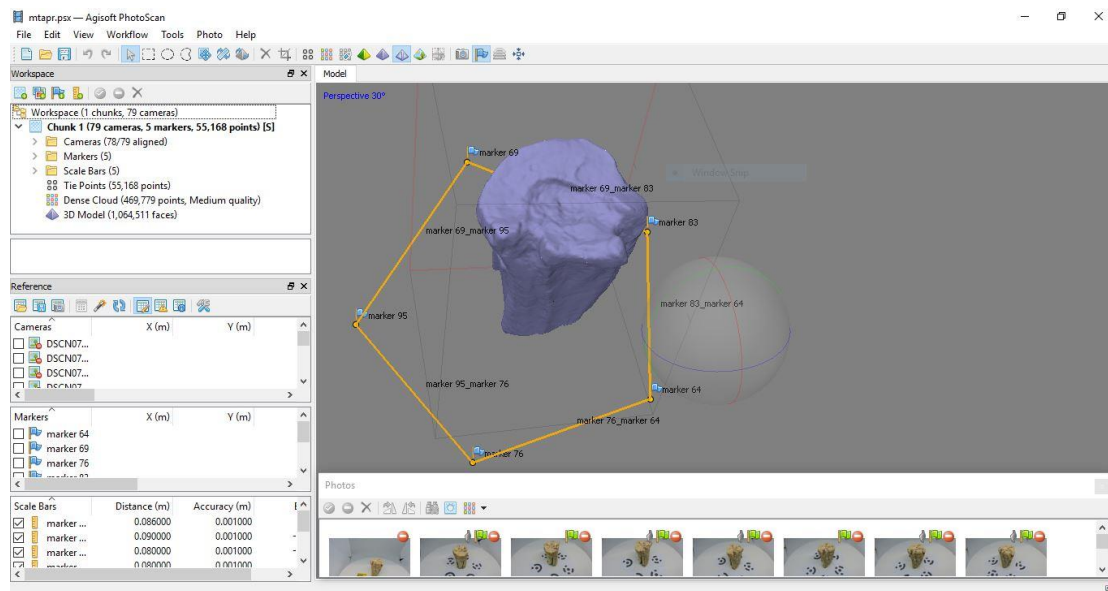
Εικ.53: Μετατάρσιο αλόγου κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζεται ολοκληρωμένο με την υφή.

Μετατάρσιο. Σώζεται η κάτω επίφυση. Χρησιμοποιήθηκαν 87 φωτογραφίες, από τις οποίες μπόρεσαν να ευθυγραμμιστούν οι 85, και 5 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 52.018 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 491.995 κορυφές και 1.069.162 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 75MB (βλ.εικ.54).



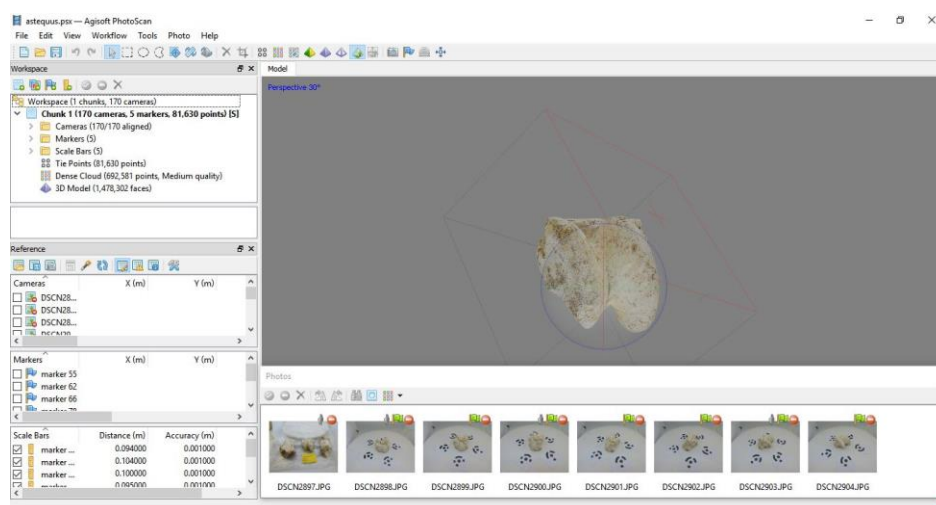
Εικ.54: Θραύσμα από μετατάρσιο αλόγου κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζεται με το πλέγμα.

Μετατάρσιο. Σώζεται η πάνω επίφυση. Χρησιμοποιήθηκαν 79 φωτογραφίες, από τις οποίες μπόρεσαν να ευθυγραμμιστούν οι 78, και 5 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 55.168 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 469.779 κορυφές και 1.064.511 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 74MB (βλ.εικ.55).



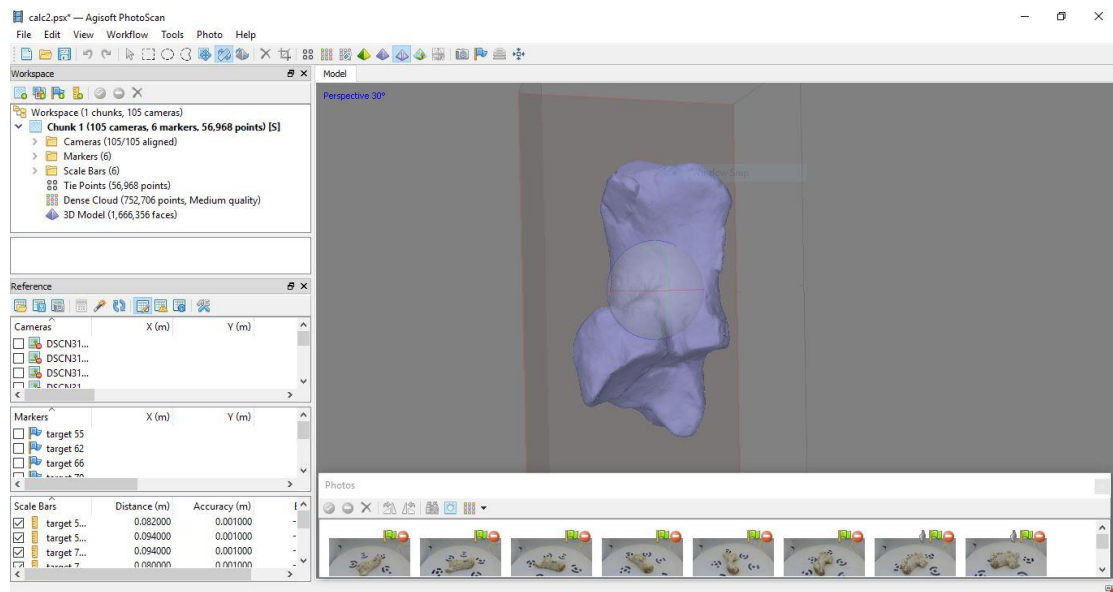
Εικ.55: Θραύσμα από μετατάρσιο αλόγου κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζεται με το πλέγμα.

Αστράγαλος. Σώζεται ακέραιος. Χρησιμοποιήθηκαν 170 φωτογραφίες και 5 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 81.630 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 692.581 κορυφές και 1.478.302 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 101MB (βλ.εικ.56).



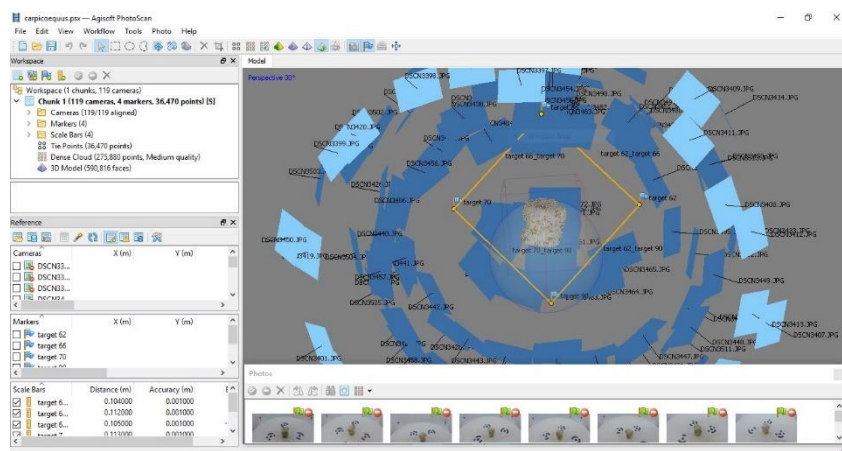
Εικ.56: Αστράγαλος αλόγου κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζεται με το πλέγμα.

Πτέρνα. Σώζεται αέραια. Χρησιμοποιήθηκαν 105 φωτογραφίες και 6 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 56.968 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 752.706 κορυφές και 1.666.356 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 115MB (βλ.εικ.57).



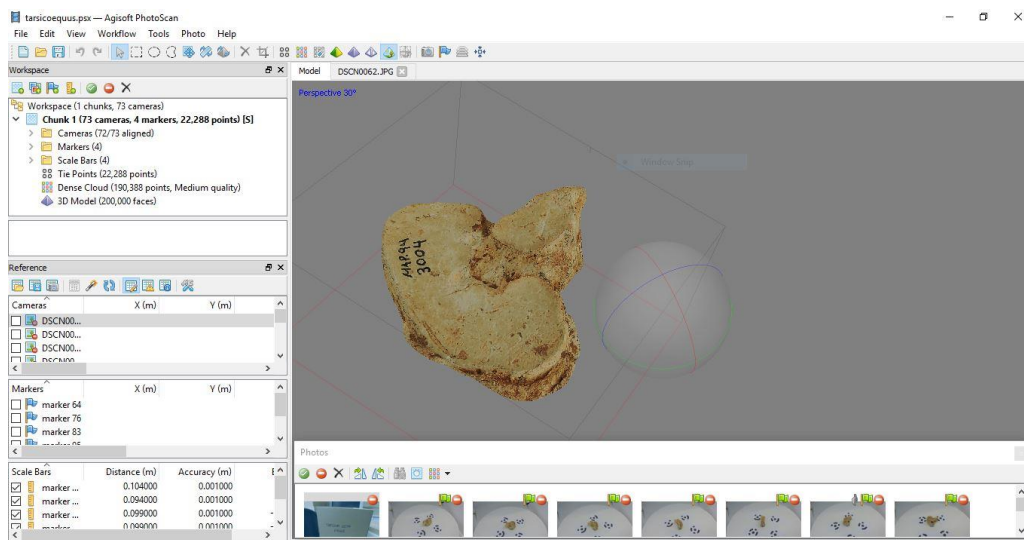
Εικ.57: Πτέρνα αλόγου κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζεται με το πλέγμα.

Σκαφοειδές οστό. Είναι ένα από τα οστά του καρπού. Χρησιμοποιήθηκαν 119 φωτογραφίες και 4 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 36.470 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 275.880 κορυφές και 590.816 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 41MB (βλ.εικ.58).



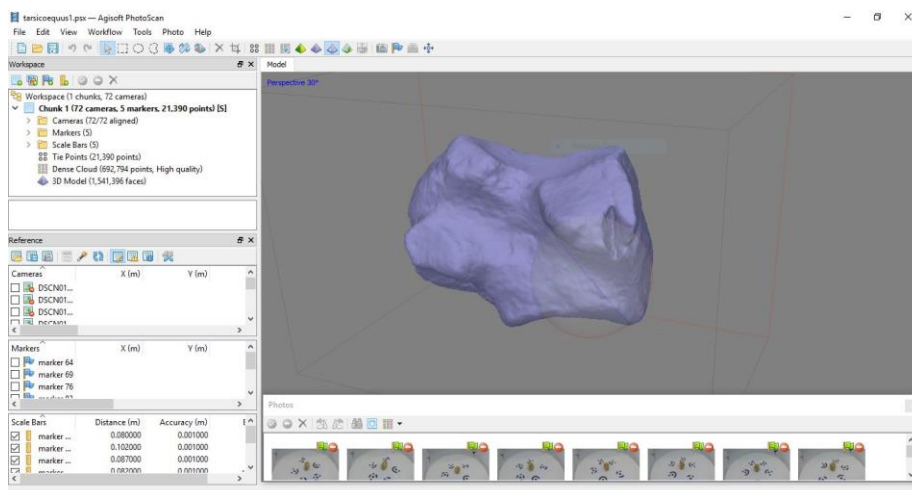
Εικ.58: Βραχύ οστό αλόγου κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζεται ολοκληρωμένο με την υφή και τις φωτογραφίες.

Σφηγοειδές οστό. Είναι ένα από τα ταρσικά οστά. Χρησιμοποιήθηκαν 73 φωτογραφίες, από τις οποίες μπόρεσαν να ευθυγραμμιστούν οι 72, και 4 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 22.288 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 190.388 κορυφές και 200.000 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 15MB (βλ.εικ.59).



Εικ.59: Βραχύ οστό αλόγου κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζεται ολοκληρωμένο με την υφή.

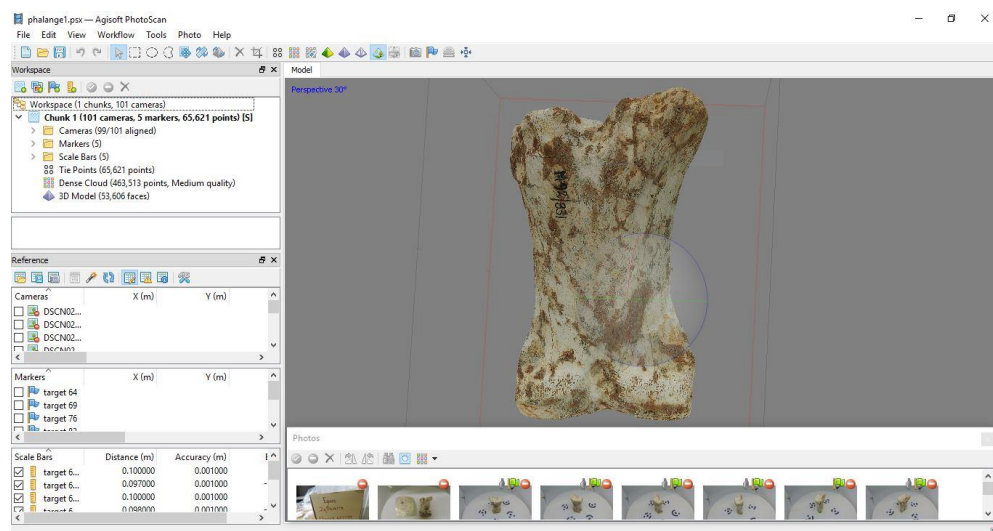
Ένα από τα ταρσικά οστά. Χρησιμοποιήθηκαν 72 φωτογραφίες και 5 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 21.390 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 692.794 κορυφές και 1.541.396 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 107MB (βλ.εικ.60).



Εικ.60: Βραχύ οστό αλόγου κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζεται με το πλέγμα.

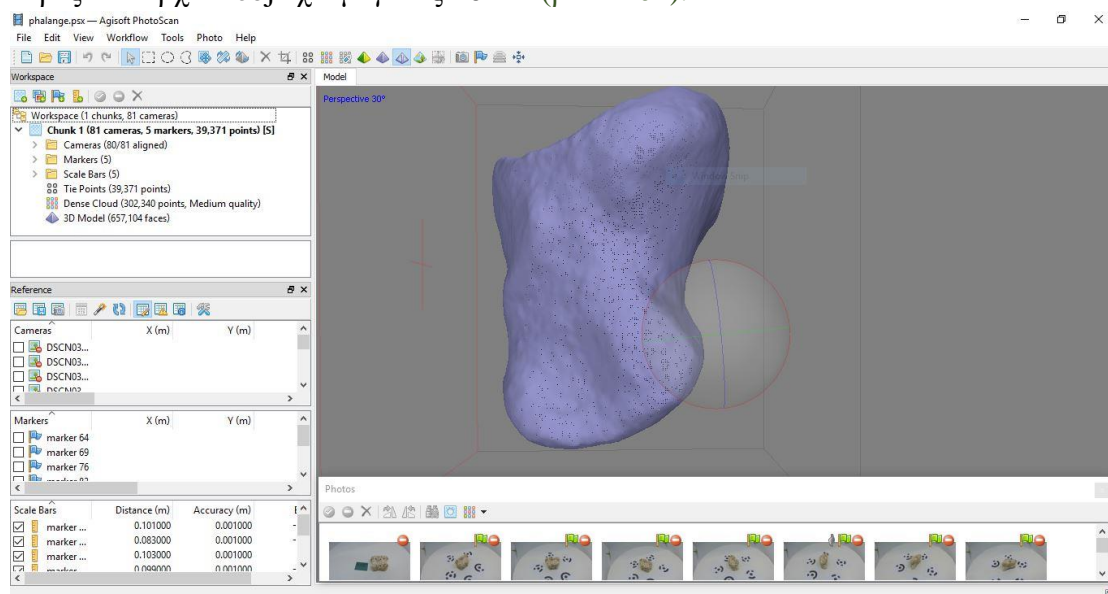


Φάλαγγα, πρόκειται για την πρώτη κατά σειρά. Χρησιμοποιήθηκαν 101 φωτογραφίες, από τις οποίες μπόρεσαν να ευθυγραμμιστούν οι 99, και 5 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 65.621 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 463.513 κορυφές και 53.606 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 6MB (βλ.εικ.61).



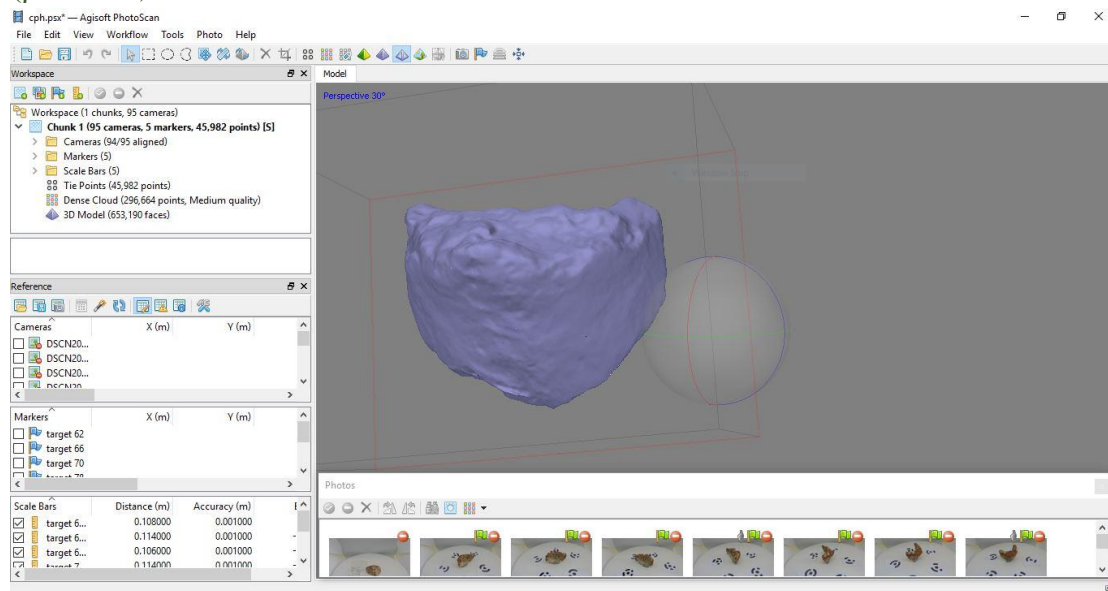
Εικ.61: Φάλαγγα αλόγου κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζεται ολοκληρωμένη με την υφή.

Η δεύτερη κατά σειρά φάλαγγα. Χρησιμοποιήθηκαν 81 φωτογραφίες, από τις οποίες μπόρεσαν να ευθυγραμμιστούν οι 80, και 5 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 39.371 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 302.340 κορυφές και 657.104 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 46MB (βλ.εικ.62).



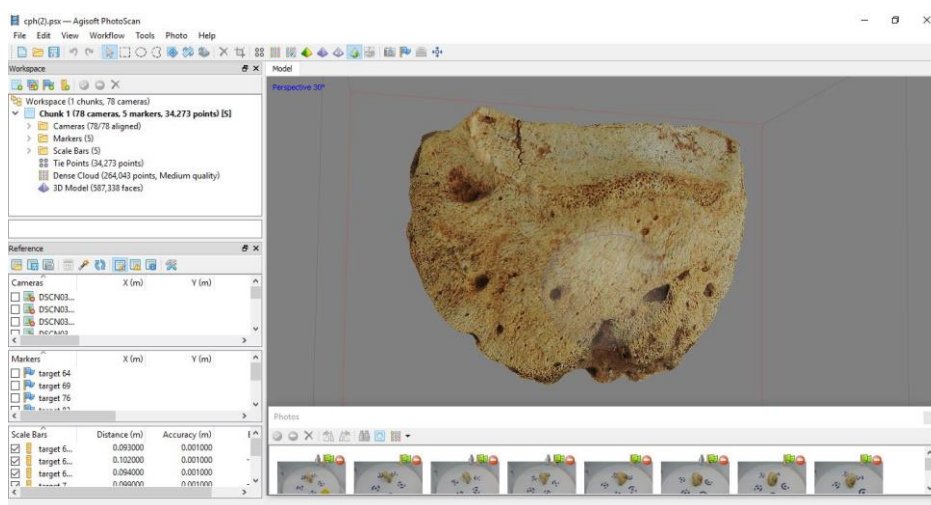
Εικ.62: Φάλαγγα αλόγου κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζεται με το πλέγμα.

Φάλαγγα, πρόκειται για την τρίτη κατά σειρά. Χρησιμοποιήθηκαν 95 φωτογραφίες, από τις οποίες μπόρεσαν να ευθυγραμμιστούν οι 94, και 5 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 45.982 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 296.664 κορυφές και 653.190 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 46MB (βλ.εικ.63).



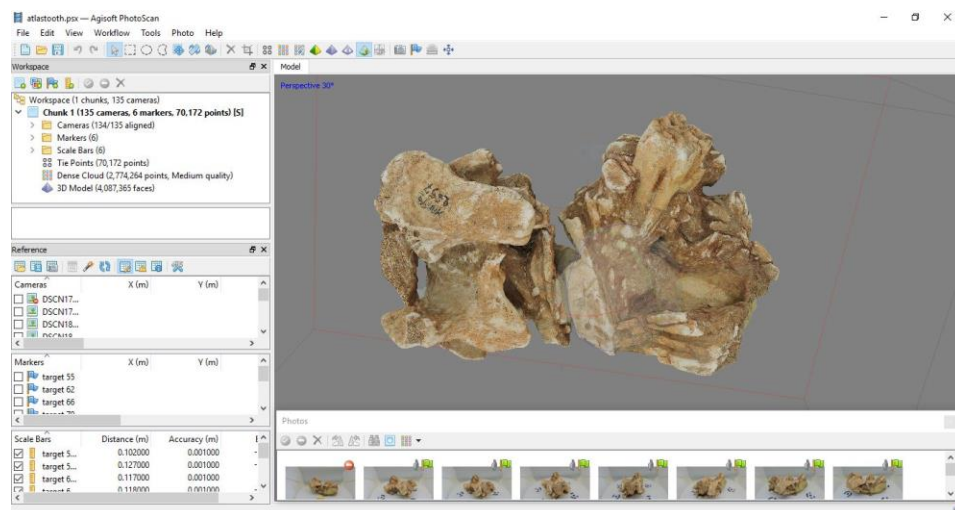
Εικ.63: Φάλαγγα αλόγου κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζεται με το πλέγμα.

Επίσης, τρίτη κατά σειρά φάλαγγα. Χρησιμοποιήθηκαν 78 φωτογραφίες και 5 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 34.273 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 264.043 κορυφές και 587.338 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 41MB (βλ.εικ.64).



Εικ.64: Φάλαγγα αλόγου κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζεται ολοκληρωμένη με την υφή.

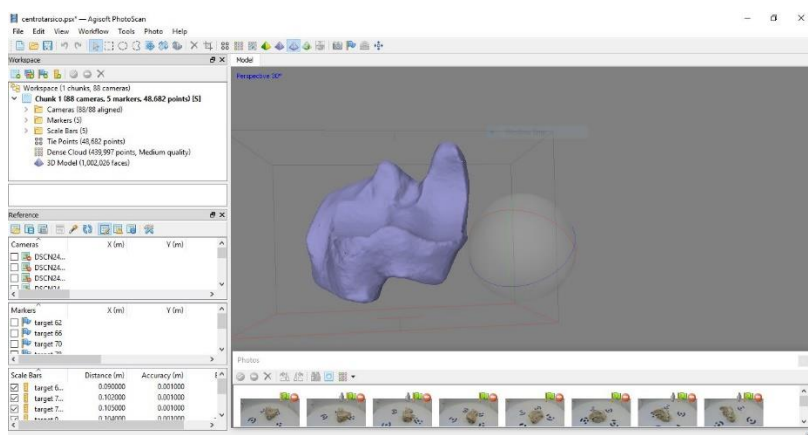
Το τελευταίο αντικείμενο που ψηφιοποιήθηκε για το είδος του αλόγου είναι ένα σύμπλεγμα από απολιθωμένα οστά και πετρώματα που δεν ήταν δυνατό να αποκολληθούν κατά την ανασκαφή. Διακρίνεται τμήμα από άτλαντα, ένας γομφίος και θραυσμένες πλευρές. Χρησιμοποιήθηκαν 135 φωτογραφίες, από τις οποίες μπόρεσαν να ευθυγραμμιστούν οι 134, και 6 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 70.172 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 2.774.764 κορυφές και 4.087.365 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 292MB (βλ.εικ.65).



Εικ.65: Διάφορα οστά αλόγου κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζονται ολοκληρωμένα με την υφή.

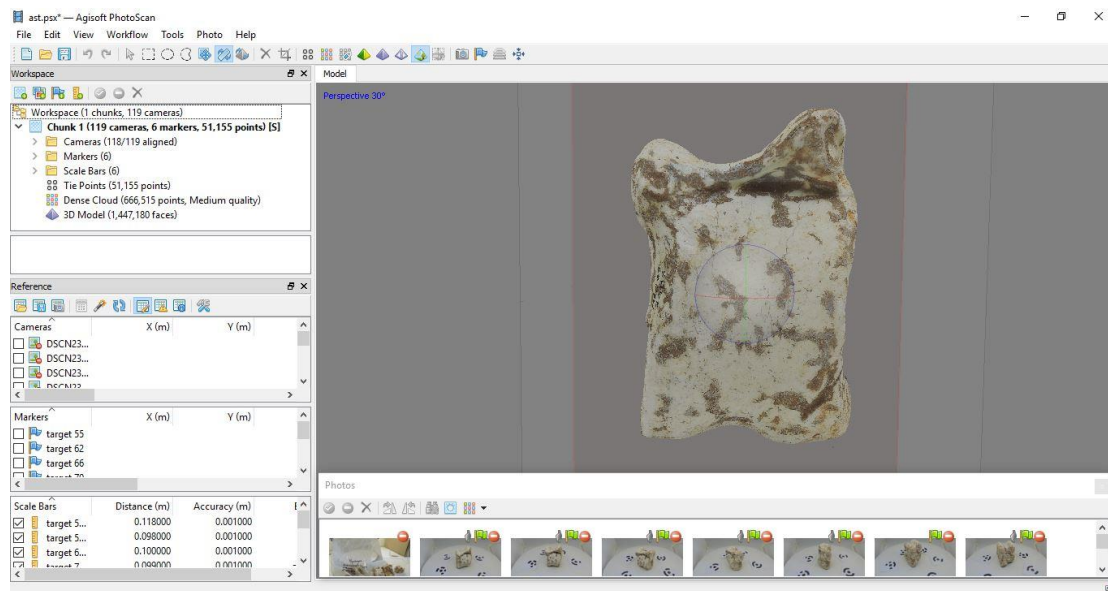
### *Megaloceros giganteus*

Ταρσικό οστό. Χρησιμοποιήθηκαν 88 φωτογραφίες και 5 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 48.682 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 439.997 κορυφές και 1.002.026 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 70MB (βλ.εικ.66).



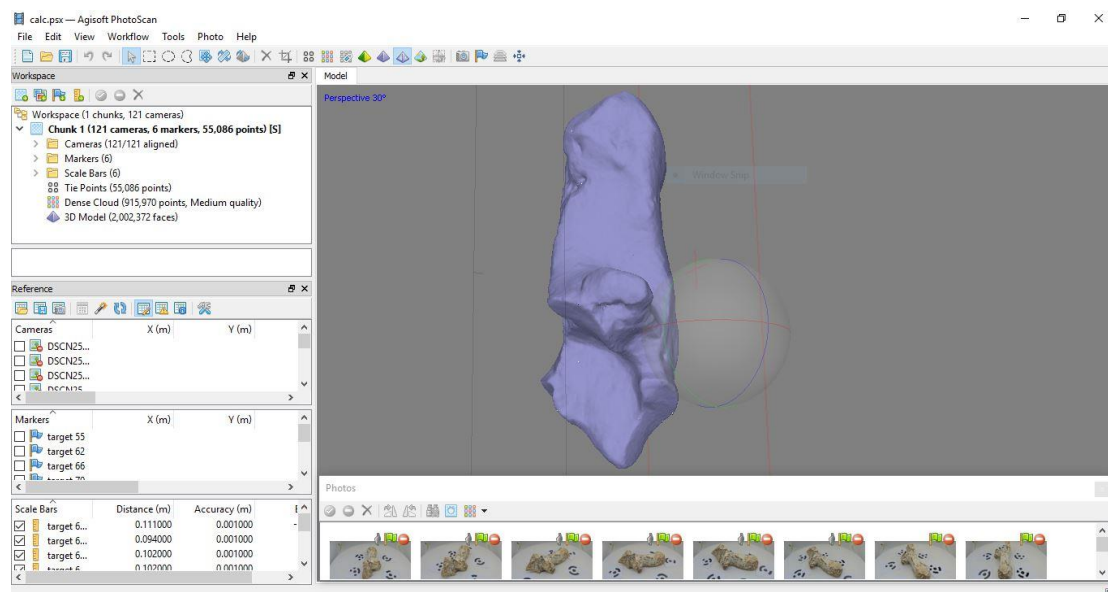
Εικ.66: Ταρσικό μεγαλόκερου κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζονται με το πλέγμα.

Αστράγαλος. Χρησιμοποιήθηκαν 119 φωτογραφίες, από τις οποίες μπόρεσαν να ευθυγραμμιστούν οι 118, και 6 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 51.155 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 666.515 κορυφές και 1.447.180 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 100MB (βλ.εικ.67).



Εικ.67: Αστράγαλος μεγαλόκερου κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζονται ολοκληρωμένος με την υφή.

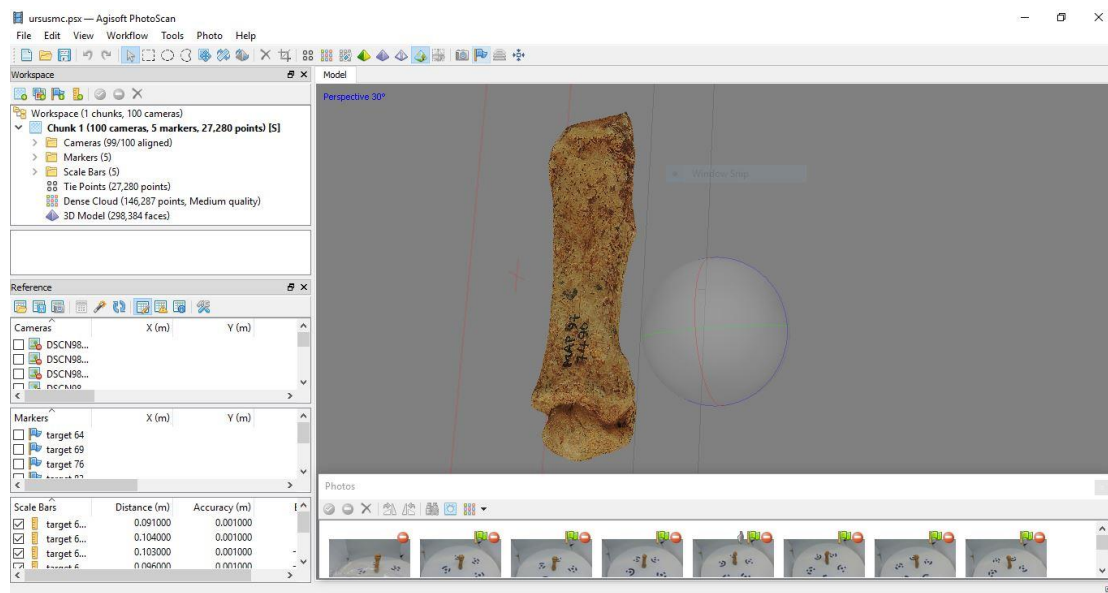
Πτέρνα. Χρησιμοποιήθηκαν 121 φωτογραφίες και 6 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 55.086 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 915.970 κορυφές και 2.002.372 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 138MB (βλ.εικ.68).



Εικ.68: Πτέρνα μεγαλόκερου κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζονται με το πλέγμα.

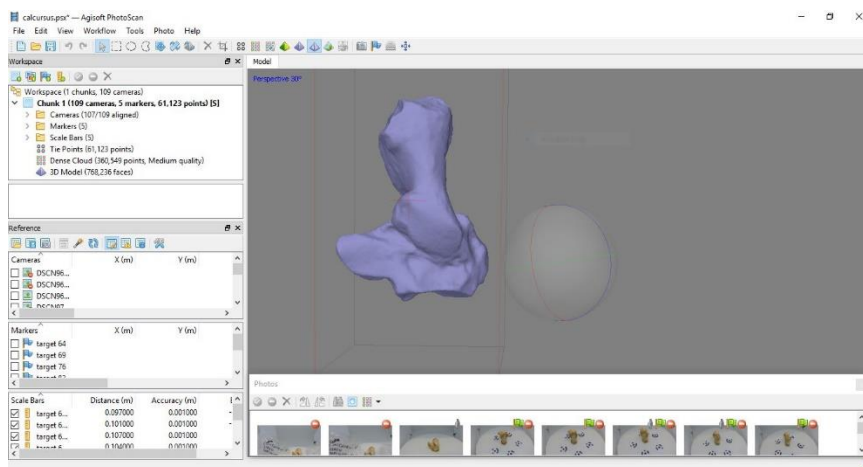
## *Ursus spelaeus*

Μετατάρσιο. Πρόκειται για το δεύτερο από τα πέντε που διαθέτει η άρκτος. Χρησιμοποιήθηκαν 100 φωτογραφίες, από τις οποίες μπόρεσαν να ευθυγραμμιστούν οι 99, και 5 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 27.280 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 146.287 κορυφές και 298.384 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 21MB (βλ.εικ.69).



Εικ.69: Μετατάρσιο άρκτους κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζονται ολοκληρωμένο με την υφή.

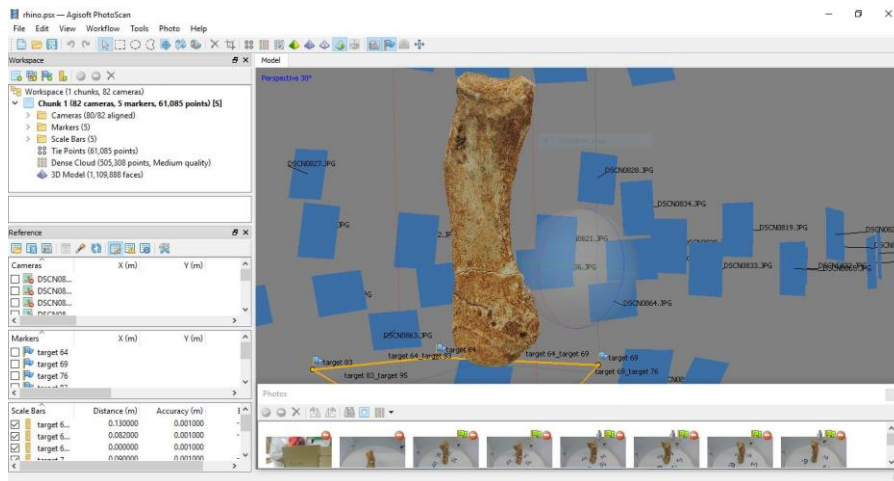
Πτέρνα. Χρησιμοποιήθηκαν 109 φωτογραφίες, από τις οποίες μπόρεσαν να ευθυγραμμιστούν οι 107, και 5 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 61.123 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 360.549 κορυφές και 768.236 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 54MB (βλ.εικ.70).



Εικ.70: Πτέρνα άρκτους κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζονται ολοκληρωμένο με το πλέγμα.

### *Coleodonta antiquitatis*

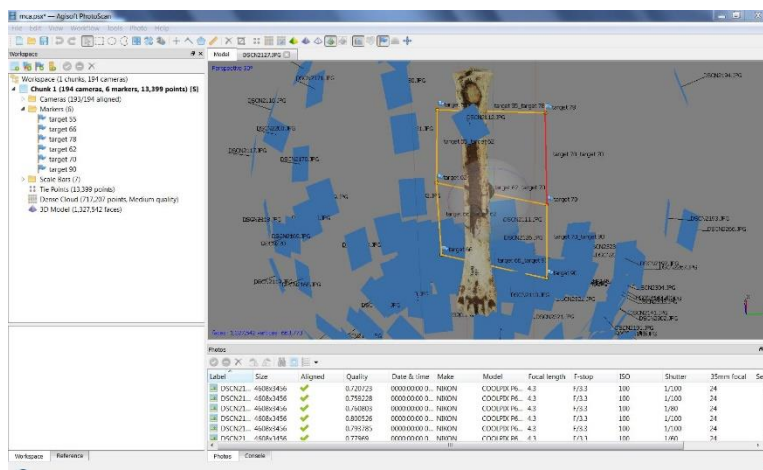
Μεταταρσικό. Πρόκειται για το τέταρτο μεταταρσικό. Χρησιμοποιήθηκαν 82 φωτογραφίες, από τις οποίες μπόρεσαν να ευθυγραμμιστούν οι 80, και 5 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 61.085 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 505.308 κορυφές και 1.109.888 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 79MB (βλ.εικ.71).



Εικ.71: Μετατάρσιο ρινόκερου κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζονται ολοκληρωμένο με την υφή και τις φωτογραφίες.

### *Cervus elaphus*

Μετακαρπικό. Σώζεται ακέραιο. Χρησιμοποιήθηκαν 194 φωτογραφίες, από τις οποίες μπόρεσαν να ευθυγραμμιστούν οι 193, και 6 φωτογραμμετρικοί στόχοι. Το νέφος σημείων έχει 13.399 σημεία και το τριγωνικό πλέγμα 717.207 κορυφές και 1.327.542 έδρες. Το αρχείο obj έχει μέγεθος 92MB (βλ.εικ.72).



Εικ.72: Μετακάρπιο ελαφιού κατά τη δημιουργία του στο Photoscan στο βήμα όπου απεικονίζονται ολοκληρωμένο με την υφή και τις φωτογραφίες.

## 4.4. Συζήτηση

Σε αυτό το υποκεφάλαιο επιχειρείται μια συνολική αποτίμηση της ψηφιοποίησης των 46 αντικειμένων. Στόχος είναι να γίνει αναφορά στο αποτέλεσμα των εργασιών που απαιτήθηκαν, στα θετικά και αρνητικά σημεία της μεθόδου SFM, όπως αυτά φάνηκαν κατά την εφαρμογή της, στη μετέπειτα χρήση των ψηφιοποιημένων αντικειμένων και σε μια σύντομη αξιολόγηση του τελικού αποτελέσματος.

Συνολική εκτίμηση: Πραγματοποιήθηκε λήψη περίπου 9.000 φωτογραφιών από τις οποίες χρησιμοποιήθηκαν οι 5.463 (βλ.πιν.1). Ο μέσος όρος φωτογραφιών ανά αντικείμενο είναι 119. Χρειάστηκαν 8 ημέρες εργασίας στα γραφεία της εφορείας, αρχικά για τον εντοπισμό και την επιλογή των αντικειμένων κι έπειτα για τη λήψη των φωτογραφιών. Η επεξεργασία στο λογισμικό πραγματοποιήθηκε σε προσωπικό χώρο. Όπως φαίνεται από τις αναφορές, που παρέχει το ίδιο το λογισμικό για κάθε ένα αντικείμενο, ο συνολικός χρόνος δημιουργίας των 3Δ μοντέλων είναι 97 ώρες και ο μέσος χρόνος για κάθε αντικείμενο είναι 2 ώρες και 10 λεπτά. Τέλος, το συνολικό μέγεθος των obj αρχείων, αυτών δηλαδή που θα δοθούν στην εφορεία για μελλοντική χρήση, είναι 7.68GB.

### 4.4.α. Θετικά και αρνητικά σημεία κατά την εφαρμογή της SFM

Ένα βασικό δεδομένο είναι ότι η ψηφιοποίηση πραγματοποιήθηκε από έναν αρχαιολόγο χωρίς εξειδικευμένες τεχνικές και φωτογραφικές γνώσεις. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να χρειαστούν αρκετές δοκιμαστικές λήψεις με εναλλαγές των παραμέτρων φωτισμού, χρώματος φόντου και ρυθμίσεων φωτογραφικής μηχανής, ώστε να επιλεγούν οι καταλληλότερες συνθήκες και ρυθμίσεις. Επιπλέον, τουλάχιστον για τα πρώτα αντικείμενα που φωτογραφήθηκαν, χρειάστηκε να γίνουν αρκετές απόπειρες δημιουργίας των 3Δ αντικειμένων στο λογισμικό και σε περιπτώσεις στις οποίες οι φωτογραφίες δεν ήταν ικανοποιητικές να πραγματοποιηθεί εκ νέου φωτογράφιση. Ευτυχώς, δεύτερη φωτογράφιση χρειάστηκε μόνο για τις λήψεις της πρώτης ημέρας. Συνεπώς, είναι χρήσιμο να υπάρχει δυνατότητα επιστροφής στο χώρο όπου φυλάσσονται οι αρχαιότητες. Εξαρχής δηλαδή ο αρχαιολόγος πρέπει να έχει εξασφαλίσει, μέσω των σχετικών αδειών, ικανοποιητικό αριθμό ημερών, ώστε να μπορέσει να επιστρέψει για επιπλέον λήψεις φωτογραφιών. Συνολικά πάντως η SFM είναι μία εύκολη στην εφαρμογή της μέθοδος ψηφιοποίησης, που με λίγες δοκιμές και

νέες προσπάθειες ο καθένας θα μπορούσε να φέρει εις πέρας 3D ψηφιοποιήσεις αντικείμενων.

Κάτι ακόμα που καλό είναι να έχει λάβει υπόψη του κανείς, με δεδομένο κιόλας των εξοπλισμό που απαιτείται, είναι η έκταση του χώρου που θα χρειαστεί για να δουλέψει με άνεση, ώστε να μην δημιουργήσει αναστάτωση τελευταίας στιγμής στους συναδέλφους που εργάζονται σε μόνιμη βάση στην υπηρεσία, αλλά να έχει φροντίσει να ενημερώσει εγκαίρως.

Ένα ακόμη βασικό δεδομένο που έπρεπε να ληφθεί υπόψη στη συγκεκριμένη εργασία είναι η έλλειψη χρηματικών πόρων. Πρόβλημα όμως που είναι συχνό στα αρχαιολογικά έργα. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, στα θετικά σημεία της SFM είναι ότι πρόκειται για μια οικονομική μέθοδο. Μια καλή φωτογραφική μηχανή κι ένας υπολογιστής είναι τα μόνα απαραίτητα εργαλεία για τη δημιουργία των 3D μοντέλων. Στην εργασία αυτή η φωτογραφική μηχανή και ο ένας από τους υπολογιστές ήταν δανεικοί από φιλικά πρόσωπα. Γενικά πάντως και να μην διαθέτει κάποιος υπολογιστή ή/και φωτογραφική μηχανή είναι αντικείμενα που σχετικά εύκολα μπορεί να τα δανειστεί από κάποιον τρίτο ή ακόμη, εάν τα έχει αιτηθεί εγκαίρως, θα μπορούσε να του τα διαθέσει η εφορεία από τον εξοπλισμό της για ορισμένο χρονικό διάστημα.

Μια σημαντική παράμετρος που ισχύει για όλες τις εργασίες που σχετίζονται με αρχαιολογικά έργα είναι οι σχετικές άδειες που δίνονται από το Υπουργείο Πολιτισμού. Το πρώτο πράγμα για το οποίο πρέπει να φροντίσει όποιος θέλει να μελετήσει ή δημοσιεύσει αρχαιολογικό υλικό είναι να υποβάλει αίτηση στην αρμόδια εφορεία αρχαιοτήτων. Για την χορήγηση της άδειας απαιτείται μια αρκετά χρονοβόρα γραφειοκρατική εργασία που πολλές φορές έχει σαν αποτέλεσμα καθυστερήσεις στην πραγματοποίηση της μελέτης. Συνεπώς, είναι σημαντικό και στις εργασίες ψηφιοποίησης να έχει προνοήσει κανείς για όποια καθυστέρηση και να έχει υποβάλει εγκαίρως την αίτηση.

Κάποια μικρότερου μεγέθους θέματα που προέκυψαν κατά τη διάρκεια της συγκεκριμένης μελέτης, αφορούν τις εργασίες που έλαβαν μέρος στην εφορεία. Καταρχάς, η φωτογράφιση πραγματοποιήθηκε στο ημιυπόγειο του κτιρίου σε μια αρκετά σκοτεινή αίθουσα, όπου ήταν απαραίτητο να στηθεί τεχνητός φωτισμός με led λάμπες. Συνθήκη που δεν ήταν γνωστή εξ αρχής με αποτέλεσμα μια μικρή χρονοτριβή μέχρι να αποκτηθεί ο ανάλογος εξοπλισμός. Ένα δεύτερο θέμα ήταν ότι τα οστά και τα αγγεία ήταν χρόνια αποθηκευμένα σε σταθερό σημείο με αποτέλεσμα να έχει συσσωρευτεί σκόνη στην επιφάνεια τους και συνεπώς να χρειάζεται επιπλέον χρόνος



για τον καθαρισμό τους. Ένα τρίτο θέμα ήταν ότι, όπως όλα τα αρχαιολογικά αντικείμενα έτσι κι αυτά που ψηφιοποιήθηκαν στο πλαίσιο της εργασίας αυτής, χρήζουν ειδικής μεταχείρισης για να μην δημιουργηθούν φθορές κατά την διάρκεια της φωτογράφισης. Συνεπώς, υπήρξε επιπλέον χρονοτριβή για τη σωστή και σταθερή τοποθέτηση τους, ώστε να αποφευχθεί πιθανή πτώση κατά την εναλλαγή της επιφάνειας του αντικειμένου που ακουμπούσε σταθερά στον περιστρεφόμενο δίσκο. Τα μικρό-προβλήματα αυτά δείχνουν ότι όσο και να έχει προνοήσει κανείς για όλα τα στάδια της διαδικασίας ψηφιοποίησης πάντα υπάρχει η πιθανότητα να εμφανίζονται αστάθμητοι παράγοντες που θα δημιουργήσουν επιπλέον φόρτο εργασίας και χρονική καθυστέρηση.

Η επεξεργασία των δεδομένων στο λογισμικό για την παραγωγή του μοντέλου ήταν εύκολη και χωρίς απρόοπτα, διότι το Photoscan είναι ένα εξαιρετικό εργαλείο για οποιοδήποτε δεν διαθέτει εξειδικευμένες γνώσεις στους υπολογιστές, άρα και για όποιον αρχαιολόγο θα ήθελε να το χρησιμοποιήσει. Ακολουθώντας πιστά τις οδηγίες που παρέχονται από το ίδιο το λογισμικό κανείς οδηγείται βήμα προς βήμα στο τελικό 3D αντικείμενο. Το μόνο αρνητικό είναι ότι για την δημιουργία κάθε 3D μοντέλου απαιτείται αρκετή ώρα. Συνολικά για τις ψηφιοποιήσεις της εργασίας αυτής χρειάστηκαν 97 ώρες, με μέσο όρο για κάθε αντικείμενο περίπου 2 ώρες. Για να μειωθεί η συνολική διάρκεια χρησιμοποιήθηκαν δύο υπολογιστές που δούλευαν παράλληλα.

Το μοναδικό μικρό πρόβλημα που αντιμετώπισε το λογισμικό ήταν ότι δεν αναγνώριζε πάντα τους φωτογραμμετρικούς στόχους, με αποτέλεσμα να τοποθετηθούν σε αρκετές περιπτώσεις χειροκίνητα και να υπάρξει μικρή καθυστέρηση. Αντιθέτως, πολύ καλή αποδείχθηκε η επιλογή του λευκού φόντου κατά τη φωτογράφιση, γιατί το λογισμικό «καταλάβαινε» εύκολα ποιο είναι το αντικείμενο προς ψηφιοποίηση, οπότε δεν χρειάστηκε περαιτέρω επεξεργασία με τις μάσκες κι εξοικονομήθηκε σημαντικός χρόνος. Τέλος, είναι βέβαιο ότι κανείς πρέπει να έχει λάβει σοβαρά υπόψη του το μεγάλο χρόνο που απαιτείται για κάθε ψηφιοποίηση αντικειμένου στο λογισμικό Photoscan κι επιπλέον να έχει κατά νου την φθορά του υπολογιστή του.

	Αριθμός φωτο	Αριθμός σημείων	Αριθμός κορυφών	Αριθμός εδρών	Μέγεθος Αρχείου (MB)	Χρόνος ετοιμασίας σε ώρες (Photoscan)
<b>Αρχαιολογικά ευρήματα</b>						
Αγγείο 1	177	121.487	3.963.782	7.972.568	578	3
Αγγείο 2	147	101.973	3.839.586	8.345.488	607	5
Αγγείο 3	111	76.250	3.384.514	7.787.924	566	2
Αγγείο 4	233	115.369	3.388.929	11.697.064	855	6
Αγγείο 5	263	15.161	3.888.807	8.545.891	623	4
Αγγείο 6	140	139.445	1.730.207	3.707.682	268	3
Σφονδύλι (αμφικωνικό)	84	26.946	423.822	97.107	67	1
Σφονδύλι (δισκόμορφο)	190	23.205	478.968	1.057.628	73	3
Οστρεο	70	9.934	733.824	1.276.539	88	1
<b><i>Equus caballus</i></b>						
Δόντι άνω γνάθου	93	45.827	384.866	82.455	57	2
Δόντι άνω γνάθου	72	38.250	428.723	965.105	67	1
Δόντι άνω γνάθου	78	42.430	416.337	905.982	63	2
Δόντι άνω γνάθου	55	22.823	291.151	66.424	46	1
Δόντι άνω γνάθου	67	29.609	1.428.324	3.110.045	220	1
Δόντι κάτω γνάθου	77	17.738	204.827	41.339	29	1
Άτλας	130	65.658	1.424.189	2.284.298	158	3
Τμήμα κρανίου και άτλαντα	71	43.430	541.693	1.249.135	87	1
Άξονας	130	66.024	1.307.399	2.867.392	201	3
Αυχενικός σπόνδυλος	168	86.792	1.936.458	4.214.346	303	5
Αυχενικός σπόνδυλος	157	66.407	1.057.615	2.309.514	161	2
Θωρακικός σπόνδυλος	98	51.621	452.578	1.034.810	71	1
Ιερό οστό	134	77.024	1.190.022	2.613.594	183	2
Λεκάνη	203	109.369	2.127.400	4.562.808	328	4
Βραχίονας	199	81.478	1.580.420	3.257.785	231	3
Μηριαίο	108	78.745	1.186.066	2.656.004	187	2
Κνήμη	116	36.016	707.000	1.496.724	103	2
Μετατάρσιο	100	51.881	820.555	1.773.510	122	2
Μετατάρσιο κάτω επίφυση	85	52.018	491.995	1.069.162	75	1
Μετατάρσιο άνω τμήμα	78	55.168	469.779	1.064.511	74	1
Αστράγαλος	170	81.630	692.581	1.478.302	101	4
Πτέρνα	105	56.968	752.706	1.666.356	115	2
Σκαφοειδές	119	36.470	275.880	590.816	41	2
Σφηνοειδές	72	22.288	190.388	200.000	15	1
Ταρσικό	72	21.390	692.794	1.541.396	107	1
Φάλαγγα (1η)	99	65.621	463.513	53.606	6	2
Φάλαγγα (2η)	80	39.371	30.234	657.104	46	1
Φάλαγγα (3η)	94	45.982	296.664	65.319	46	1
φάλαγγα (3η)	78	34.273	264.043	587.338	41	1
Σύμπλεγμα από οστά	134	70.172	2.774.764	4.087.365	292	3

<b><i>Megaloceros giganteus</i></b>						
Ταρσικό	88	48.682	439.997	1.002.026	70	1
Αστράγαλος	118	51.155	666.515	1.447.180	100	2
Πτέρνα	121	55.086	91.597	2.002.372	138	2
<b><i>Ursus spelaeus</i></b>						
Μετατάρσιο	99	27.280	146.287	298.384	21	1
Πτέρνα	107	61.123	360.549	768.236	54	2
<b><i>Coelodonta antiquitatis</i></b>						
Μεταταρσικό	80	61.085	50.5308	1.109.888	79	1
<b><i>Cervus elaphus</i></b>						
Μετακαρπικό	193	13.399	71.7207	1.327.542	92	2
<b>Σύνολο</b>	<b>5.463</b>				<b>7.855</b>	<b>97</b>
					<b>7.68GB</b>	
<b>Μέσος όρος</b>	<b>119</b>	<b>62.400</b>	<b>1.432.957</b>	<b>3.094.781</b>	<b>171</b>	<b>2.11</b>

Πιν.1: Σημειώνονται ανά αντικείμενο ψηφιοποίησης ο αριθμός των φωτογραφιών που έκανε χρήση το λογισμικό, ο αριθμός των σημείων, των κορυφών και των εδρών. Επιπλέον, το μέγεθος των αρχείων obj και η διάρκεια εργασίας που χρειάστηκε το λογισμικό για να δημιουργήσει κάθε μοντέλο.

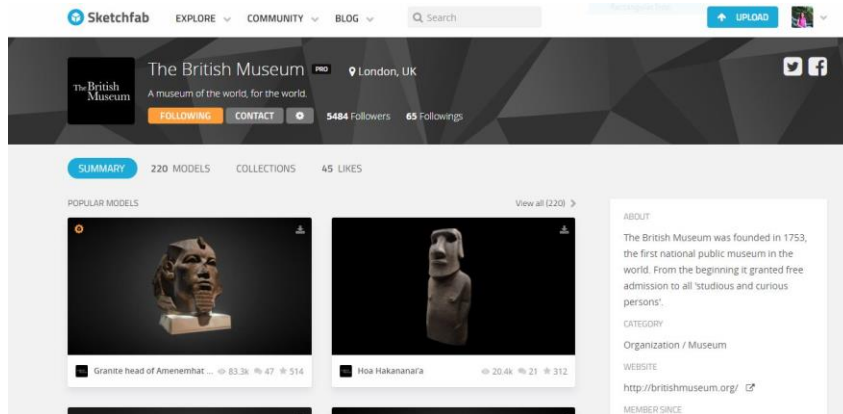
#### 4.3.β. Χρήση ψηφιοποιημένων αντικειμένων

Τα 46 αντικείμενα που ψηφιοποιήθηκαν (αγγεία, οστά ζώων, σφονδύλια και όστρεο) θα χρησιμοποιηθούν ως εξής:

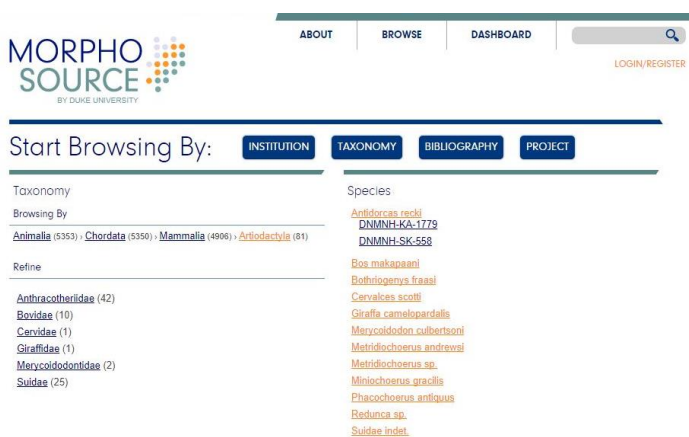
- Καταρχάς θα δοθούν σε ψηφιακή μορφή στην Εφορεία Παλαιοανθρωπολογίας και Σπηλαιολογίας με τη μορφή και το μέγεθος που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο υποκεφάλαιο. Πρόκειται δηλαδή για αρχεία μορφής obj συνολικού μεγέθους 7.68GB. Τα αρχεία αυτά μπορούν να αποθηκευτούν στο server της εφορείας ή ακόμη καλύτερα σε υπηρεσία cloud, ώστε να μην υπάρχει ο κίνδυνος να χαθούν μελλοντικά. Βασικός στόχος είναι τα 3D ψηφιοποιημένα μοντέλα να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανά πάσα στιγμή για περαιτέρω μελέτη, όπως π.χ. για να αντληθούν μετρητικές πληροφορίες ή να γίνει σύγκριση με άλλα παρόμοια ευρήματα.
- Μια άλλη χρήση των 3D ψηφιοποιημένων μοντέλων είναι να συνδυαστούν με την τεχνολογία της τριδιάστατης εκτύπωσης, ώστε να δημιουργηθούν αντίγραφα για οποιαδήποτε χρήση. Συγκεκριμένα, τα αρχεία obj μπορούν να χρησιμοποιηθούν για περαιτέρω επεξεργασία και μετατροπή σε αρχεία .stl, ώστε να μπορούν να δημιουργηθούν τριδιάστατα εκτυπωμένα αντίγραφα. Τα αντίγραφα αυτά είτε μπορούν να τοποθετηθούν σε κάποια πιθανή προσωρινή έκθεση είτε για μεταφορά τους για επιστημονικούς σκοπούς εκτός της εφορείας (π.χ. τα 3D εκτυπωμένα οστά ως συγκριτικό υλικό σε ανασκαφή, τα 3D εκτυπωμένα αγγεία σε συνέδριο).
- Τέλος, η απλοποιημένη και με μικρότερο μέγεθος μορφή των αρχείων πάλι σε obj, θα χρησιμοποιηθεί για τη διάχυση των 3D ψηφιοποιήσεων στο διαδίκτυο. Συγκεκριμένα, για το σύνολο των ευρημάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ιστοσελίδα, που είναι αποκλειστικά για 3D μοντέλα, όπως το γνωστό Sketchfab, στο οποίο πολιτιστικοί οργανισμοί (π.χ. το Βρετανικό Μουσείο) εκθέτουν πολιτιστικά αντικείμενα που έχουν στην κατοχή τους (βλ.εικ.73). Για τα οστά μια λύση αποτελεί η ιστοσελίδα Morphosource (σελ.31), στην οποία μπορεί ένας επιστήμονας ή οργανισμός, αφού πραγματοποιήσει εγγραφή, να ανεβάσει 3D οστά ζώων. Για την εύρεση των οστών υπάρχει κατηγοριοποίηση με βάση το είδος τους (βλ.εικ.74). Επιπλέον, μέρος των αντικειμένων που ψηφιοποιήθηκαν στο πλαίσιο αυτής της εργασίας θα μπορούσε να

χρησιμοποιηθεί για προβολή των ευρημάτων της εφορείας στο διαδίκτυο σε περίπτωση που μελλοντικά δημιουργηθεί αποκλειστική ιστοσελίδα της εφορείας.

Συνοψίζοντας, κάτι που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον προγραμματισμό εργασιών ψηφιοποίησης είναι και το μετέπειτα κόστος συντήρησης και διατήρησης των ψηφιοποιημένων αρχείων. Η αποθήκευση στον server της υπηρεσίας είναι μια λογική και ανέξοδη λύση, αλλά η αποθήκευση σε υπηρεσία cloud είναι πολύ πιο αποτελεσματική, γιατί δεν υπάρχει ο κίνδυνος να χαθούν τα αρχεία. Επίσης, δεν προτιμήθηκε στην εργασία αυτή να δημιουργηθεί ιστοσελίδα αποκλειστικά για την προβολή των συγκεκριμένων αντικειμένων, διότι θα υπήρχε μελλοντικά πρόβλημα στην διατήρησή της, κι έτσι προτιμήθηκαν υπάρχουσες ιστοσελίδες για διάχυση 3Δ αντικειμένων.



Εικ.73: Στιγμιότυπο από το λογαριασμό του Βρετανικού Μουσείου στη ιστοσελίδα Sketchfab.



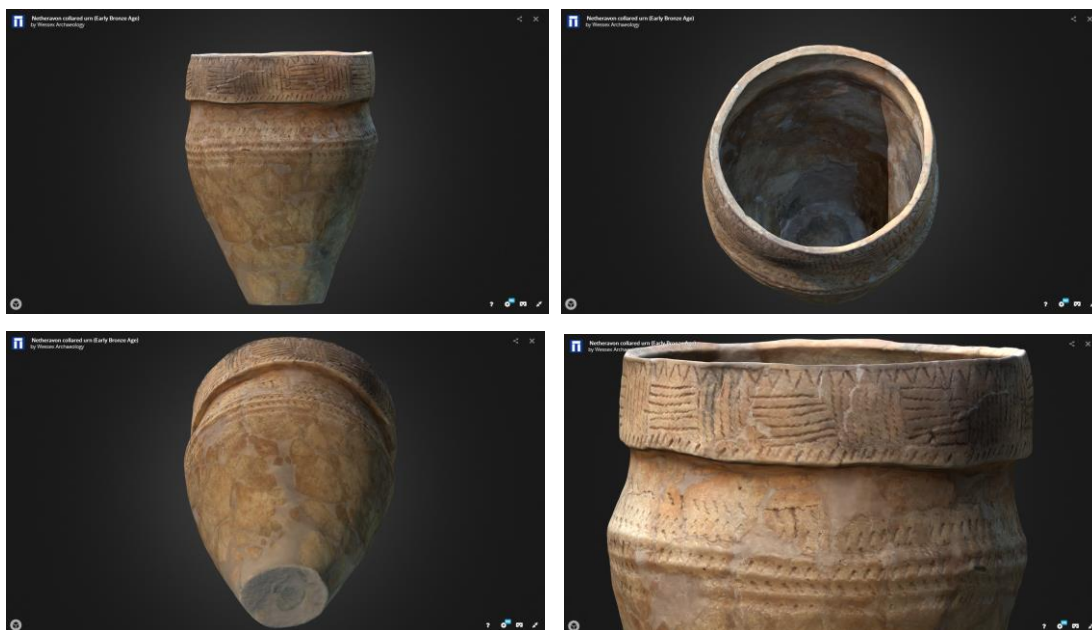
Εικ.74: Στιγμιότυπο από την ιστοσελίδα Morphosource.

#### 4.4.γ. Αξιολόγηση αποτελέσματος 3Δ ψηφιοποίησης

Για μια σύντομη αξιολόγηση των 3Δ ψηφιοποιήσεων που πραγματοποιήθηκαν θα γίνει σύγκριση τους με αντίστοιχες 3Δ ψηφιοποιήσεις που βρίσκονται σε ιστοσελίδες που έχουν ήδη αναφερθεί. Η σύγκριση με παρόμοια ευρήματα, που εκτίθενται στο διαδίκτυο, πραγματοποιείται διότι ο βασικός στόχος των ψηφιοποιήσεων την εργασίας αυτής είναι η διάχυση τους στο διαδίκτυο. Συνεπώς, κρίθηκε σκόπιμο να αξιολογηθούν τα ευρήματα του Αγγίτη σε σχέση με ευρήματα που παρουσιάζονται σε ιστοσελίδες.

Μια αρχική εκτίμηση είναι ότι στο σύνολο των ψηφιοποιήσεων το αποτέλεσμα είναι άκρως ικανοποιητικό αφού αφενός, όσο αφορά στα οστά, διακρίνονται όλες οι απαραίτητες λεπτομέρειες στη μορφολογία τους, ώστε ένας αρχαιοζωολόγος ή παλαιοντολόγος να καταλαβαίνει από ποιο ζώο προέρχεται το οστό και για ποιο ανατομικό τμήμα πρόκειται, αφετέρου, όσο αφορά στην κεραμική οι λεπτομέρειες της υφής του 3Δ μοντέλου και το 3Δ σχήμα του αγγείου δίνουν μια σφαιρική εικόνα στον ειδικό, ώστε να συγκρίνει με άλλα παρεμφερή αγγεία. Ακόμη και ο μη ειδικός κατανοεί το σχήμα και τον όγκο του 3Δ αγγείου με μεγαλύτερη σαφήνεια από ότι σε μια φωτογραφία.

Όσο αφορά στα αγγεία, επιλέχθηκε ένα αγγείο της Πρώιμης Εποχής του Χαλκού από τη Μεγάλη Βρετανία που προβάλλεται στην ιστοσελίδα [Sketchfab](#) και μέσω αυτής στην επίσημη ιστοσελίδα του φορέα [Wessex Archaeology](#). Το 3Δ μοντέλο δημιουργήθηκε με τη μέθοδο SFM, αν και δεν αναφέρεται το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε. Εδώ η σύγκριση γίνεται με το αγγείο 4, που ανήκει κι αυτό στον τύπο του μεγάλου ανοιχτού αγγείου. Σκοπός της σύγκρισης δεν είναι να καταλήξει κανείς αν κάποιο είναι καλύτερο ή χειρότερο, αλλά να φανεί κατά πόσο η 3Δ ψηφιοποίηση του αγγείου 4, όσον αφορά στην συνολική εικόνα, την υφή και τις λεπτομέρειες είναι ανάλογης ποιότητας. Από τις εικόνες 75 και 76, αλλά και από τα ίδια τα μοντέλα είναι φανερό ότι πρόκειται για ψηφιοποιήσεις με αρκετά παρόμοιο τελικό αποτέλεσμα. Εξωτερικά, εσωτερικά και στη βάση των αγγείων η ποιότητα της εικόνας είναι αντίστοιχη.

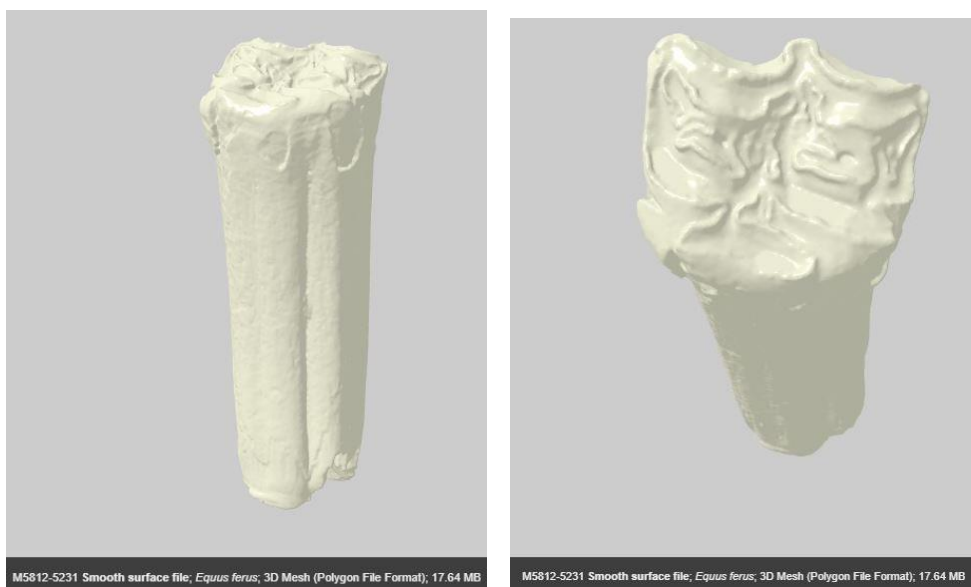


Εικ.75: Στιγμιότυπα 3Δ αγγείου Πρώιμης Εποχής Χαλκού από την ιστοσελίδα Sketchfab.

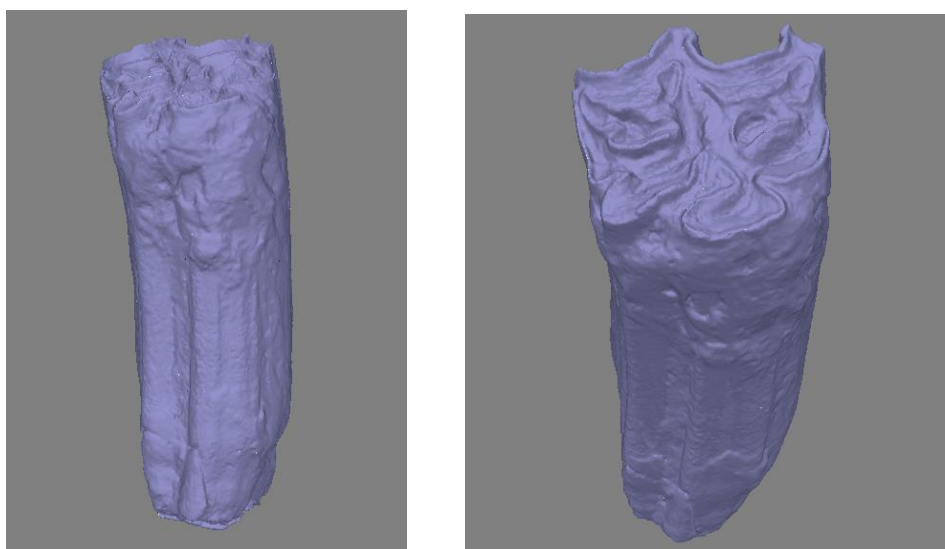


Εικ.76: Στιγμιότυπα 3Δ αγγείου 4 από το σπήλαιο των Πηγών Αγγίτη.

Όσο αφορά στα οστά ζώων, μία σύγκριση έγινε με δόντι του είδους *Equus ferus* από την ιστοσελίδα [Morphosource](#), με αντίστοιχο δόντι από τα ευρήματα του Αγγίτη. Τα δόντια παρουσιάζονται στη μορφή του πλέγματος, χωρίς την υφή, διότι έτσι απεικονίζεται το 3D μοντέλο στην ιστοσελίδα. Από τις εικόνες 77 και 78 είναι εμφανές ότι και στα δύο μοντέλα διακρίνεται με μεγάλη ακρίβεια η μασητική επιφάνεια των δοντιών, συγκεκριμένα είναι ευδιάκριτες οι ομοιότητες και οι διαφορές τους.



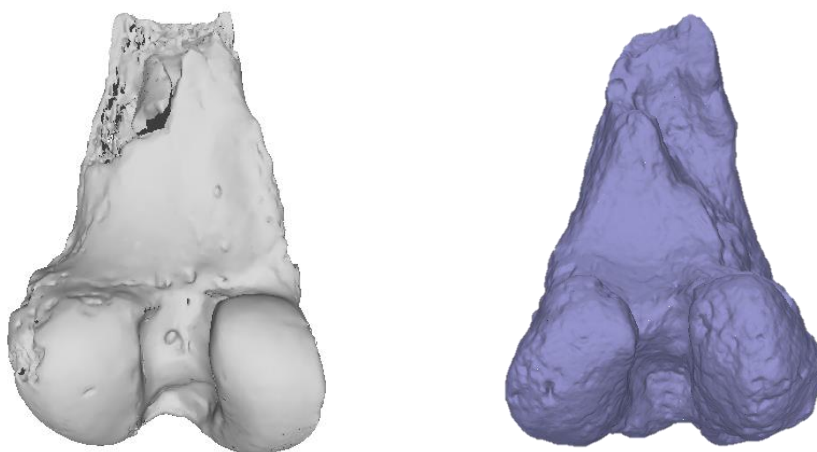
Εικ.77: Στιγμιότυπα 3D ψηφιοποιημένου δοντιού του είδους *Equus ferus* από την ιστοσελίδα Morphosource.



Εικ.78: Στιγμιότυπα 3D ψηφιοποιημένου δοντιού του είδους *Equus caballus* από το σπήλαιο των Πηγών Αγγίτη.



Μια δεύτερη σύγκριση έγινε ανάμεσα στο μηριαίο οστό ιπποειδούς που έζησε στην εποχή του Ηώκαινου και υπάρχει στην ιστοσελίδα [Paleoview3d](#) και στο μηριαίο οστό του είδους *Equus caballus* των Πηγών Αγγίτη. Παρότι πρόκειται για διαφορετικό είδος ζώου, επιλέχθηκε το ίδιο ανατομικό μέρος για να διαπιστωθεί κατά πόσο είναι ορατές και ξεκάθαρες οι μεταξύ τους διαφορές, που οφείλονται στο διαφορετικό είδος. Στην εικόνα 79 απεικονίζονται παράλληλα τα δύο μηριαία οστά (συγκεκριμένα η κάτω επίφυση), οι μικρές διαφορές τους στη μορφολογία τους, που διακρίνονται κυρίως στο κάτω μέρος της επίφυσης, οδηγούν τους ειδικούς στην αναγνώριση του κάθε είδους.



Εικ.79: Αριστερά, μηριαίο οστό από ιπποειδές του Ηωκαίνου, δεξιά μηριαίο οστό του είδους *Equus ferus* από το σπήλαιο Πηγών Αγγίτη.

Συνοψίζοντας, πραγματοποιώντας σύγκριση των ευρημάτων που ψηφιοποιήθηκαν από το σπήλαιο των Πηγών Αγγίτη με παρόμοια ευρήματα από ιστοσελίδες στις οποίες γίνεται διάχυση πολιτιστικού ή/και παλαιοντολογικού υλικού, διαφαίνεται η αξία του 3Δ υλικού της εργασίας αυτής και καταδεικνύεται η επιστημονική και εκπαιδευτική χρησιμότητα των ψηφιοποιημένων μοντέλων μέσω της διάχυσής τους στο διαδίκτυο.

## 5. Συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε μια συνοπτική παρουσίαση της χρήσης της τριδιάστατης ψηφιοποίησης στον τομέα του πολιτισμού. Όσον αφορά στη μέθοδο αποτύπωσης, δόθηκε έμφαση στη τεχνική Σχήμα από Κίνηση. Όσον αφορά στο πολιτιστικό αντικείμενο, αναφέρθηκαν παραδείγματα εφαρμογών κυρίως για την κεραμική και τα οστά ζώων. Παρόλα αυτά έγινε προσπάθεια να δοθεί μια συνολική αποτίμηση των δυνατοτήτων που προσφέρει η 3Δ ψηφιακή αποτύπωση.

Στην εισαγωγή τέθηκε το ερώτημα κατά πόσο η Σχήμα από Κίνηση μπορεί να εφαρμοστεί με την ίδια επιτυχία στην κεραμική και στα οστά ζώων. Από τις βιβλιογραφικές αναφορές και από την εφαρμογή της μεθόδου αυτής στα ευρήματα από το σπήλαιο στον Αγγίτη είναι ξεκάθαρο ότι η SFM δίνει πλέον πολύ καλές ψηφιοποιήσεις τόσο για την κεραμική όσο και για τα οστά. Η SFM επικρατεί σταδιακά έναντι των άλλων μεθόδων χάρη στην ευκολία εφαρμογής και στο χαμηλό κόστος.

Συγκεκριμένα για τα οστά ζώων εφαρμόζεται διστακτικά τα τελευταία χρόνια. Ο λόγος είναι ότι προτιμάται, είτε η χρήση τομογράφων, οι οποίοι δίνουν πληροφορίες και για την εσωτερική δομή του οστού, είτε η χρήση σαρωτών με ακτίνες λέιζερ, που απεικονίζουν άκρως ικανοποιητικά των πολύπλοκη εξωτερική μορφολογία του οστού. Εξαιτίας αυτής της πολύπλοκης μορφολογίας των οστών, στην εφαρμογή της μεθόδου SFM, απαιτούνται περισσότερες φωτογραφίες, από ότι συνηθίζεται σε άλλα αντικείμενα, ώστε να μπορούν να αποδοθούν όλες οι λεπτομέρειες. Αυτή είναι ίσως και η μόνη ιδιαιτερότητα των οστών (γενικά όλων των βιολογικών υλικών) σε σχέση με τα υπόλοιπα αντικείμενα και υλικά. Παρόλες τις επιφυλάξεις για την εφαρμογή της SFM στα βιολογικά υλικά, στην παρούσα εργασία φάνηκε ότι μπορεί να δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα, συγκρίσιμα με αυτά των σαρωτών λέιζερ και των τομογράφων.

Όσον αφορά στο δεύτερο ερώτημα που τέθηκε στην εισαγωγή, δηλαδή στο κατά πόσο η μέθοδος Σχήμα από Κίνηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως η μοναδική μέθοδος για τις ανάγκες ψηφιοποίησης ενός αρχαιολογικού έργου, είδαμε και βιβλιογραφικά κι από την εφαρμογή σε δύο τόσο διαφορετικά υλικά, ότι αυτό θα μπορούσε να ισχύει. Για την εφαρμογή της μεθόδου SFM σε αρχαιολογικούς χώρους έχουν γίνει πάρα πολλές εργασίες ήδη από τα πρώτα χρόνια της εμφάνισής της. Σε αυτό συντελεί -εκτός από το χαμηλό κόστος και την ευχρηστία της- ότι μπορεί να μεταφερθεί πολύ εύκολα στο πεδίο σε αντίθεση με τους σαρωτές λέιζερ. Στα υπόλοιπα

πολιτιστικά αντικείμενα κερδίζει σταθερό έδαφος έναντι των υπολοίπων τεχνικών - πέρα από τους λόγους που ήδη αναφέρθηκαν- εξαιτίας της ανάπτυξης ειδικών αλγορίθμων και τις ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις στις φωτογραφικές μηχανές και στους υπολογιστές. Ένας επιπλέον λόγος, που η SFM γίνεται όλο και περισσότερο εύχρηστη είναι η πληθώρα (εμπορικών και μη) λογισμικών για τη δημιουργία και την επεξεργασία 3D μοντέλων, καθώς και σχετικών ιστοσελίδων για τη διάχυσή τους.

Όσον αφορά στο βασικό στόχο της εργασίας, δηλαδή στην προβολή αρχαιολογικών ευρημάτων στο διαδίκτυο, μια επισήμανση είναι ότι στα προηγούμενα κεφάλαια αναφέρθηκαν αποκλειστικά ιστοσελίδες που δεν ανήκουν σε ελληνικούς φορείς. Αυτό δεν σημαίνει ότι δεν γίνεται καμιά προσπάθεια από το Υπουργείο Πολιτισμού για διάχυση πολιτιστικών αγαθών μέσω του διαδικτύου. Ίσα-ίσα που τα τελευταία χρόνια υπάρχει αντίστοιχη [ιστοσελίδα](#) με ψηφιακή συλλογή κινητών ευρημάτων από ελληνικά μουσεία. Παρόλα αυτά είναι φανερό ότι υπάρχει έλλειψη στην κατεύθυνση της ψηφιοποίησης πολιτιστικών αγαθών και προπαντός στη διαδικτυακή προβολής τους. Ιδανικό θα ήταν να υπάρξει πρόνοια και να δοθεί προτεραιότητα από το υπο και από άλλους πολιτιστικούς φορείς, ώστε η χρηματοδότηση να κατευθυνθεί μελλοντικά σε έργα ψηφιοποιήσεων και διάχυσης τους. Σκοπός είναι η χρήση των σύγχρονων τεχνολογικών εξελίξεων στον τομέα του πολιτισμού να αυξήσει το ενδιαφέρον του ευρύ κοινού (Ελλήνων και ξένων) για την πολιτιστική κληρονομία.

## Βιβλιογραφία

### Κεφάλαιο 2

- Avella, F., Sacco, V., Spatafora, F., Pezzini, E., & Siragusa, D. (2015). Low cost system for visualization and exhibition of pottery finds in archeological museums. *SCIRES-IT-SCIENTIFIC RESEARCH and Information Technology*, 5(2), 111-128.
- Bachi, V., Fresa, A., Pierotti, C., & Prandoni, C. (2014, November). The Digitization Age: Mass Culture Is Quality Culture. Challenges for Cultural Heritage and Society. In *Euro-Mediterranean Conference* (pp. 786-801). Springer, Cham.
- Barreau, J. B., Nicolas, T., Bruniaux, G., Petit, E., Petit, Q., Bernard, Y. & Gouranton, V. (2014). Ceramics fragments digitization by photogrammetry, reconstructions and applications. *arXiv preprint arXiv:1412.1330*.
- Barrile, V., Bilotta, G., D'amore, E. N. Z. O., Marando, R., Meduri, G. M., & Trovato, S. Structural Analysis of Cultural Heritage assisted by 3D Photogrammetry.
- Barrile, V., Bilotta, G., Lamari, D., & Meduri, G. M. (2015). Comparison between techniques for generating 3D models of cultural heritage. *Recent Advances in Mechanics, Mechatronics and Civil, Chemical and Industrial Engineering, Mathematics and Computers in Science and Engineering Series*, 49, 140-145.
- Bechtold, S., Krömker, S., Mara, H., & Kratzmüller, B. (2010, September). Rollouts of fine ware pottery using high resolution 3D meshes. In *Proceedings of the 11th International conference on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage* (pp. 79-86). Eurographics Association.
- Bernardes, P., Magalhães, F., Ribeiro, J., Madeira, J., & Martins, M. (2014). Image-based 3D modelling in archaeology: application and evaluation. In *22nd International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision* (pp. 159-166). Vaclav Skala-Union Agency.
- Bitelli, G., Girelli, V. A., Remondino, F., & Vittuari, L. (2007). The potential of 3d techniques for cultural heritage object documentation. *Videometrics IX*, 6491, 1-8.
- Bourke, P. (2014, December). Automated 3D model reconstruction from photographs. In *Virtual Systems & Multimedia (VSMM), 2014 International Conference on* (pp. 21-24). IEEE.
- Breuckmann, B., Karl, S., & Trinkl, E. (2013). Digitising ancient pottery. Precision in 3D. *Forum archaeologiae. Zeitschrift für klassische Archäologi*, 66(3).
- Brutto, M. L., & Meli, P. (2012). Computer vision tools for 3D modelling in archaeology. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 1(1suppl), 1-6.
- Cantoro, G. (2017). Ground and Aerial Digital Documentation of Cultural Heritage: Providing Tools for 3d Exploitation of Archaeological Data. *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 141-145.

- Cunningham, J. A., Rahman, I. A., Lautenschlager, S., Rayfield, E. J., & Donoghue, P. C. (2014). A virtual world of paleontology. *Trends in ecology & evolution*, 29(6), 347-357.
- De Reu, J., Plets, G., Verhoeven, G., De Smedt, P., Bats, M., Cherretté, B. & Van Meirvenne, M. (2013). Towards a three-dimensional cost-effective registration of the archaeological heritage. *Journal of Archaeological Science*, 40(2), 1108-1121.
- De Reu, J., De Smedt, P., Herremans, D., Van Meirvenne, M., Laloo, P., & De Clercq, W. (2014). On introducing an image-based 3D reconstruction method in archaeological excavation practice. *Journal of Archaeological Science*, 41, 251-262.
- Doneus, M., Verhoeven, G., Fera, M., Briese, C., Kucera, M., & Neubauer, W. (2011). From deposit to point cloud—a study of low-cost computer vision approaches for the straightforward documentation of archaeological excavations. *Geoinformatics FCE CTU*, 6, 81-88.
- Douglass, M., Lin, S., & Chodoronek, M. (2015). The application of 3D photogrammetry for in-field documentation of archaeological features. *Advances in Archaeological Practice*, 3(2), 136-152.
- Crone, R. A. (1992). The history of stereoscopy. *Documenta ophthalmologica*, 81(1), 1-16.
- Ducke, B., Score, D., & Reeves, J. (2011). Multiview 3D reconstruction of the archaeological site at Weymouth from image series. *Computers & Graphics*, 35(2), 375-382.
- Ellis, S. R. (1994). What are virtual environments? *IEEE Computer Graphics and Applications*, 14(1), 17-22.
- Evin, A., Souter, T., Hulme-Beaman, A., Ameen, C., Allen, R., Viacava, P. & Dobney, K. (2016). The use of close-range photogrammetry in zooarchaeology: Creating accurate 3D models of wolf crania to study dog domestication. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 9, 87-93.
- Falkingham, P. L. (2012). Acquisition of high resolution three-dimensional models using free, open-source, photogrammetric software. *Palaeontologia electronica*, 15(1), 15.
- Fassi, F., Fregonese, L., Ackermann, S., & De Troia, V. (2013). Comparison between laser scanning and automated 3D modelling techniques to reconstruct complex and extensive cultural heritage areas. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 5, W1.
- Feldman, T. (1997). *An Introduction to Digital Media*. New York: Routledge.
- Fonstad, M. A., Dietrich, J. T., Courville, B. C., Jensen, J. L., & Carbonneau, P. E. (2013). Topographic structure from motion: a new development in photogrammetric measurement. *Earth Surface Processes and Landforms*, 38(4), 421-430.

- Furukawa, Y., Curless, B., Seitz, S. M., & Szeliski, R. (2010, June). Towards internet-scale multi-view stereo. In *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2010 IEEE Conference on* (pp. 1434-1441). IEEE.
- Gabellone, F., Ferrari, I., & Giuri, F. (2015, October). Digital restoration using Image-Based 3D models. In *1st International Conference on Metrology for Archaeology Benevento, Italy, October* (pp. 22-23).
- Garstki, K. (2016). Virtual representation: the production of 3D digital artifacts. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 1-25.
- Gianolio, S., Mermati, F., & Genovese, G. (2014). Image-based 3D modeling for the knowledge and the representation of archaeological dig and pottery: Sant'Omobono and Sarno project's strategies. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40(5), 243.
- Goldhahn, J., & Sevara, C. (2011). Image-based Modeling of the Present Past: Building 3D Models of Archaeological Environments from Digital Photographs. In *DMACH 2011: Digital Media and its Applications in Cultural Heritage, 13-15 March, 2011 Amman, Jordan* (pp. 251-266). CSAAR Press.
- Green, S., Bevan, A., & Shapland, M. (2014). A comparative assessment of structure from motion methods for archaeological research. *Journal of Archaeological Science*, 46, 173-181.
- Guidi, G., Navarro, P. R., Barsantia, S. G., Micoli, L. L., & Russo, M. (2013, November). Quick textured mesh generation in Cultural Heritage digitization. In *Proceedings of the International Conference on Built Heritage*.
- Howland, M. D., Kuester, F., & Levy, T. E. (2014). Structure from motion: Twenty-first century field recording with 3D technology. *Near Eastern Archaeology (NEA)*, 77(3), 187-191.
- Hughes, L. M. (2004). *Digitizing collections: strategic issues for the information manager* (Vol. 2). Facet Publishing.
- Jurda, M., & Urbanova, P. (2016). Three-dimensional documentation of Dolni Vestonice skeletal remains: can photogrammetry substitute laser scanning. *Anthropologie*, 54(2), 109.
- Kalantari, M., & Kasser, M. (2007). Implementation of a low-cost photogrammetric methodology for 3D modelling of ceramic fragments. In *XXI International CIPA Symposium, 01-06 October, Athens, Greece* (p. FP079).
- Kampel, M., & Sablatnig, R. (2001, September). Automated 3D recording of archaeological pottery. In *ICHIM (1)* (pp. 169-182).
- Kersten, T. P., & Lindstaedt, M. (2012, October). Image-based low-cost systems for automatic 3D recording and modelling of archaeological finds and objects. In *Euro-Mediterranean Conference* (pp. 1-10). Springer Berlin Heidelberg.

- Lanitisa, A., & Stylianoub, G. (2008). Reconstructing 3d Faces In Cultural Heritage Applications.
- Lee, S. D. (2001). *Digital imaging: a practical handbook*. Neal-Schuman.
- Mallison, H. (2011). Digitizing methods for paleontology: applications, benefits and limitations. In *Computational paleontology* (pp. 7-43). Springer Berlin Heidelberg.
- Mara, H. (2009). Pottery plotted by laser–3D acquisition for documentation and analysis of symmetry of ancient ceramics. In *New Technologies for Archaeology*(pp. 379-390). Springer Berlin Heidelberg.
- McCarthy, J. (2014). Multi-image photogrammetry as a practical tool for cultural heritage survey and community engagement. *Journal of Archaeological Science*, 43, 175-185.
- Pavlidis, G., Koutsoudis, A., Arnaoutoglou, F., Tsioukas, V., & Chamzas, C. (2007). Methods for 3D digitization of cultural heritage. *Journal of cultural heritage*, 8(1), 93-98.
- Pavlidis, G., Tsiafakis, D., Koutsoudis, A., Arnaoutoglou, F., Tsioukas, V., & Chamzas, C. (2007b). Preservation of Architectural Heritage through 3D digitization. *International Journal of Architectural Computing*, 5(2), 221-237.
- Pieraccini, M., Guidi, G., & Atzeni, C. (2001). 3D digitizing of cultural heritage. *Journal of Cultural Heritage*, 2(1), 63-70.
- Plets, G., Gheyle, W., Verhoeven, G., De Reu, J., Bourgeois, J., Verhegge, J., & Stichelbaut, B. (2012). Three-dimensional recording of archaeological remains in the Altai Mountains. *Antiquity*, 86(333), 884-897.
- Pollefeys, M., & Gool, L. V. (2002). From images to 3D models. *Communications of the ACM*, 45(7), 50-55.
- Remondino, F., Del Pizzo, S., Kersten, T. P., & Troisi, S. (2012, October). Low-cost and open-source solutions for automated image orientation—A critical overview. In *Euro-Mediterranean Conference* (pp. 40-54). Springer Berlin Heidelberg.
- Scopigno, R., Callieri, M., Cignoni, P., Corsini, M., Dellepiane, M., Ponchio, F., & Ranzuglia, G. (2011). 3D models for cultural heritage: Beyond plain visualization. *Computer*, 44(7), 48-55.
- Sideris, A. (2003). Cultural Heritage and Digitization. *Imeros, An annual journal by FHW for culture and technology*3, ISSN, 1108-8125.
- Sotirova, K., Peneva, J., Ivanov, S., Doneva, R., & Dobрева, M. (2012). Digitization of Cultural Heritage—Standards, Institutions, Initiatives. *Access to Digital Cultural Heritage: Innovative Applications of Automated Metadata Generation*.
- Terras, M. (2012). Digitization and digital resources in the humanities. *Digital humanities in practice*, 47-70.

Terras, M. M. (2015). Cultural Heritage Information: Artefacts and Digitization Technologies. Facet.

Thi Porter, S., Roussel, M., & Soressi, M. (2016). A Simple Photogrammetry Rig for the Reliable Creation of 3D Artifact Models in the Field. *Advances in Archaeological Practice*, 4(1), 71-86.

Tosovic, S., & Sablatnig, R. (2001). 3D modeling of archaeological vessels using shape from silhouette. In *3-D Digital Imaging and Modeling, 2001. Proceedings. Third International Conference on* (pp. 51-58). IEEE.

Van Riel, S.J. (2015). 3D Models in Archaeological Excavations. *Bolgan International Field School. Proceedings*, vol.2, 409-413.

Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. (2012). 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300-314.

Zvietcovich, F., Navarro, L., Saldana, J., Castillo, L. J., & Castaneda, B. (2016). A novel method for estimating the complete 3D shape of pottery with axial symmetry from single potsherds based on principal component analysis. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 3(2), 42-54.

Zubrow, E. B. (2006). Digital archaeology. *Digital Archaeology. Bridging method and theory, London*, 10-31.

Κουτσούδης, Α., Παυλίδης, Γ. (2016). 3D Ψηφιοποίηση Πολιτιστικής Κληρονομιάς. Εκδόσεις Τσότρας.

Παπαδόπουλος, Κ., Κυπαρίσση-Αποστολικά, Ν. και Γ. Χαμηλάκης, (2015). Ψηφιακή σάρωση, φωτογραμμετρία, και ψηφιακές αναπαραστάσεις: Η περίπτωση της Κουτρούλου Μαγούλας, *ΑΕΘΣΕ*, 4 (2012). Τόμος II, 979-988.

Παυλίδης, Γ. Εφαρμογές ΤΠΕ στην αρχαιολογία –από την ψηφιακή ανασκαφή στη μελέτη, εκπαίδευση, διάχυση. *Πανεπιστημιακές Σημειώσεις*.

### **Αναφορές στο διαδίκτυο**

τελευταία επίσκεψη για όλα: Ιούλιος 2017

[http://www.unesco-hellas.gr/gr/3\\_5\\_1.htm](http://www.unesco-hellas.gr/gr/3_5_1.htm)

<http://www.iccrom.org/>

<http://www.unesco.org/new/en/culture/themes/illicit-trafficking-of-cultural-property/unesco-database-of-national-cultural-heritage-laws/frequently-asked-questions/definition-of-the-cultural-heritage/>

<http://www.cidoc-crm.org/>

<http://www.visionnw.com/3d-technology-in-computers.html>

<http://www.research.ibm.com/vgc/3dcapture/3dcapture.html>

<https://graphics.stanford.edu/projects/mich/>



<http://www.wisegeek.com/what-is-3d-imaging.htm>  
<http://sydney.edu.au/museums/exhibitions-events/virtual-empire.shtml>  
<http://content.lib.washington.edu/stereoweb/index.html>  
<http://www.stereoscopy.com/library/wheatstone-paper1838.html>  
<http://www.snapily.com/blog/how-we-got-here-a-brief-history-of-3d-imaging/>  
<http://www.iefimerida.gr/news/286040/aytos-itan-o-thrylikos-efefantas-tis-tiloy-3d-ekthesi-gia-ena-exafanismo-pleon-eidos>  
<https://umorf.ummp.lsa.umich.edu/wp/>  
<http://www.virtualfossils.com/>  
<http://www.megafauna3d.org/en/>  
<http://paleoview3d.marshall.edu/>  
<http://www.paleoteach.org/>  
<http://morphosource.org/>  
<http://digimorph.org/>  
<https://aves3d.org/>  
<http://morphobrowser.biocenter.helsinki.fi/>

### Κεφάλαιο 3

Baca, M., Popović, D., Stefaniak, K., Marciszak, A., Urbanowski, M., Nadachowski, A., & Mackiewicz, P. (2016). Retreat and extinction of the Late Pleistocene cave bear (*Ursus spelaeus sensu lato*). *The Science of Nature*, 103(11-12), 92.

Bocherens, H., Drucker, D. G., Billiou, D., Geneste, J. M., & Van Der Plicht, J. (2006). Bears and humans in Chauvet Cave (Vallon-Pont-d'Arc, Ardeche, France): insights from stable isotopes and radiocarbon dating of bone collagen. *Journal of Human Evolution*, 50(3), 370-376.

Boeskorov, G. G. (2012). Some specific morphological and ecological features of the fossil woolly rhinoceros (*Coelodonta antiquitatis* Blumenbach 1799). *Biology Bulletin*, 39(8), 692-707.

Christiansen, P. (1999). What size were *Arctodus simus* and *Ursus spelaeus* (Carnivora: Ursidae)? In *Annales Zoologici Fennici* (pp. 93-102). Finnish Zoological and Botanical Publishing Board.

Deng, T., Wang, X., Fortelius, M., Li, Q., Wang, Y., Tseng, Z. J. & Xie, G. (2011). Out of Tibet: Pliocene woolly rhino suggests high-plateau origin of Ice Age megaherbivores. *Science*, 333(6047), 1285-1288.

Ensminger, M. E. (1990). *Horses and Horsemanship: Animal Agricultural Series* (Sixth ed.). Danville.

Fortelius, M. (1983). The morphology and paleobiological significance of the horns of *Coelodonta antiquitatis* (Mammalia: Rhinocerotidae). *Journal of Vertebrate Paleontology*, 3(2), 125-135.

Geist, V. (1998). *Deer of the world: their evolution, behaviour, and ecology*. Stackpole books.

Goto, H., Ryder, O. A., Fisher, A. R., Schultz, B., Kosakovsky Pond, S. L., Nekrutenko, A., & Makova, K. D. (2011). A massively parallel sequencing approach uncovers ancient origins and high genetic variability of endangered Przewalski's horses. *Genome Biology and Evolution*, 3, 1096-1106.

Gould, S. J. (1974). The origin and function of "bizarre" structures: antler size and skull size in the "Irish elk," *Megaloceros giganteus*. *Evolution*, 28(2), 191-220.

Koufos, G. D. (1981). A new late Pleistocene (Würmian) mammal locality from the basin of Drama (Northern Greece). *Scientific Annals, Faculty of Physics and Mathematics, University of Thessaloniki*, 21, 129-148.

Lister, A. M. (1994). The evolution of the giant deer, *Megaloceros giganteus* (Blumenbach). *Zoological Journal of the Linnean Society*, 112(1-2), 65-100.

Loreille, O., Orlando, L., Patou-Mathis, M., Philippe, M., Taberlet, P., & Hänni, C. (2001). Ancient DNA analysis reveals divergence of the cave bear, *Ursus spelaeus*, and brown bear, *Ursus arctos*, lineages. *Current Biology*, 11(3), 200-203.

Markova, A. K., Puzachenko, A. Y., Van Kolfschoten, T., Van der Plicht, J., & Ponomarev, D. V. (2013). New data on changes in the European distribution of the mammoth and the woolly rhinoceros during the second half of the Late Pleistocene and the early Holocene. *Quaternary international*, 292, 4-14.

Moen, R. A., Pastor, J., & Cohen, Y. (1999). Antler growth and extinction of Irish elk. *Evolutionary Ecology Research*, 1(2), 235-249.

Orlando, L., Leonard, J. A., Thenot, A., Laudet, V., Guerin, C., & Hänni, C. (2003). Ancient DNA analysis reveals woolly rhino evolutionary relationships. *Molecular phylogenetics and evolution*, 28(3), 485-499.

Orlando, L., Ginolhac, A., Zhang, G., Froese, D., Albrechtsen, A., Stiller, M. & Johnson, P. L. (2013). Recalibrating *Equus* evolution using the genome sequence of an early Middle Pleistocene horse. *Nature*, 499(7456), 74-78.

Pacher, M., & Stuart, A. J. (2009). Extinction chronology and palaeobiology of the cave bear (*Ursus spelaeus*). *Boreas*, 38(2), 189-206.

Richards, M. P., Pacher, M., Stiller, M., Quilès, J., Hofreiter, M., Constantin, S. & Trinkaus, E. (2008). Isotopic evidence for omnivory among European cave bears: Late Pleistocene *Ursus spelaeus* from the Peștera cu Oase, Romania. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(2), 600-604.

Robu, M., Petculescu, A., Panaiotu, C., Doeppes, D., Vlaicu, M., Dragușin, V. & Constantin, S. (2011). New insights on the cave bear population from the Urșilor Cave, Romania. *Quaternaire, Hors-série*, 4, 107-116.

Stiller, M., Baryshnikov, G., Bocherens, H., Grandal d'Anglade, A., Hilpert, B., Münzel, S. C. & Hofreiter, M. (2010). Withering away—25,000 years of genetic decline preceded cave bear extinction. *Molecular biology and evolution*, 27(5), 975-978.

Stuart, A. J. (1996). Vertebrate faunas from the early Middle Pleistocene of East Anglia. *The Early Middle Pleistocene in Europe. Balkema, Rotterdam*, 9-24.

Stuart, A. J., Kosintsev, P. A., Higham, T. F. G., & Lister, A. M. (2004). Pleistocene to Holocene extinction dynamics in giant deer and woolly mammoth. *Nature*, 431(7009), 684-689.

Stuart, A. J., & Lister, A. M. (2012). Extinction chronology of the woolly rhinoceros *Coelodonta antiquitatis* in the context of late Quaternary megafaunal extinctions in northern Eurasia. *Quaternary Science Reviews*, 51, 1-17.

Trantalidou, K., Skaraki, V., & Kara, I. M. Ntinou 2007a. Στρατηγικές επιβίωσης κατά την 4η χιλιετία: στοιχεία από την εγκατάσταση στην ανατολική όχθη του Αγγίτη. *To Archaïologiko Ergo sti Makedonia kai Thraki*, 19, 45-80.

Trantalidou, K., Skaraki, V., & Kara, I. (2007b). Πηγές του Αγγίτη στη Λεκάνη της Δράμας. Τα Κεραμικά Σύνολα από το Εσωτερικό του Σπηλαίου. *AAA*, 39, 107-138.

Vislobokova, I. A. (2012). The history of giant deer (*Megacerini*, Cervidae, Artiodactyla). *Transactions of Paleontological Institute*, 293, 1-102.

Μαρίνος, Π., Ξειδάκης, Γ. Σ., Δημάδης, Α., & Γούναρης, Θ. (1989). Το σπήλαιο πηγή Μασαρά Δράμας. *Πανελλήνια και Διεθνή Γεωγραφικά Συνέδρια, Συλλογή Πρακτικών*, 217-230.

Ντάρλας, Α. (1995). Η λιθοτεχνία του σπηλαίου Μασαρά. *Έρευνες στα σπήλαια του Νομού Δράμας, 1992, ΑΕΜΘ*, 6, 596-603.

Τρανταλίδου. (2004). Η ιστορία ενός σπηλαίου στις Πηγές του Αγγίτη. Δήμος Προσοτσάνης-ΥΠΠΟ, Αθήνα.

Τρανταλίδου, Κ. (2013). On the banks of the river Angitis. Η Δράμα και η περιοχή της, Ιστορία και Πολιτισμός, *Πρακτικά Ε΄ Επιστημονικής Συνάντησης, Δράμα* 18-21/05/2006, 41-156.

### **Αναφορές στο διαδίκτυο**

Τελευταία επίσκεψη για όλα: Ιούλιος του 2017

[http://www.kokkinogia.gr/index.php?option=com\\_content&task=view&id=575&Itemid=54](http://www.kokkinogia.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=575&Itemid=54)

<http://eol.org/pages/328648/overview>

<http://rhinos.org/species/extinct-woolly-rhino/>

<http://www.ucmp.berkeley.edu/mammal/artio/irishelk.html>

[http://www.wildlifeonline.me.uk/red\\_deer.html](http://www.wildlifeonline.me.uk/red_deer.html)

<https://web.archive.org/web/20070630120404/http://www.iucnredlist.org/search/details.php/4259/all>

<http://www.iucnredlist.org/details/55997072/0>

#### Κεφάλαιο 4

AgiSoft, L. L. C., & St Petersburg, R. (2014). Agisoft photostan. *Professional Edition*.

Guidi, G., Barsanti, S. G., Micoli, L. L., & Russo, M. (2015). Massive 3D digitization of museum contents. In *Built Heritage: Monitoring Conservation Management* (pp. 335-346). Springer International Publishing.

Mallison, H., & Wings, O. (2014). Photogrammetry in paleontology—a practical guide. *Journal of Paleontological Techniques*.

Falkingham, P. L. (2012). Acquisition of high resolution three-dimensional models using free, open-source, photogrammetric software. *Palaeontologia electronica*, 15(1), 15.

Pattee, A. (2016). Photogrammetric Procedure for Modeling Castles and Ceramics.

Κουτσούδης, Α., Παυλίδης, Γ. (2016). 3Δ Ψηφιοποίηση Πολιτιστικής Κληρονομιάς. Εκδόσεις Τσότρα.

#### **Αναφορές στο διαδίκτυο**

Τελευταία επίσκεψη για όλα: Ιούλιος του 2017

<http://www.meshlab.net/>

<https://sketchfab.com/>

<http://www.wessexarch.co.uk/blogs/news/2016/10/03/recording-netheravon-cremation-urn>

#### Πηγές εικόνων

<http://www.technodabbler.com/analog-music-in-a-digital-world/>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Stereoscope>

<http://blogs.lib.unc.edu/ncm/index.php/2013/10/21/artifact-of-the-month-holmes-stereoscope/>

<http://wearcam.org/ar/>

<http://www.techradar.com/reviews/gaming/gaming-accessories/oculus-rift-1123963/review>

<http://www.agisoft.com/forum/index.php?topic=2242.0>

<http://magicdrama.weebly.com/mualphaupsilonrhoomicronlambdaepsilon973kappaeta-deltarho940mualphasigmaf.html>

<http://7gym-laris.lar.sch.gr/ergasies/spilaio%20mara.htm>