



Πανεπιστήμιο Δυτική Αττικής
Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών και Πολιτισμού
Τμήμα Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Ανάπτυξη μεθοδολογίας εκτύπωσης αντιγράφων
εγκιβωτισμένων απολιθωμάτων σε γεωλογικό υλικό**

Φοιτήτρια: Κουβέλη Κωνσταντίνα

A.M. 52017046

Επιβλέπων καθηγητής: Παναγιάρχης Γεώργιος

Αθήνα, Ιούλιος 2022



University of West Attica
School of Applied Arts and Culture
Department of Conservation of Antiquities and Works of Art

Diploma Thesis

**Development of a methodology in printing copies of
boxed fossils in geological material**

Student: Kouveli Konstantina

R.N. 52017046

Supervisor: Panayaris Georgios

Athens, July 2022



Πανεπιστήμιο Δυτική Αττικής
Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών και Πολιτισμού
Τμήμα Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης

Ανάπτυξη μεθοδολογίας εκτύπωσης αντιγράφων εγκιβωτισμένων απολιθωμάτων σε γεωλογικό υλικό

Η πτυχιακή εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική
Επιτροπή:

A/A	ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	Παναγιάρης Γεώργιος	Καθηγητής	
2	Τζανουλίνος Πραξιτέλης	Λέκτορας	
3	Μακρής Δημήτριος	Επίκουρος Καθηγητής	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Κουβέλη Κωνσταντίνα του Κωνσταντίνου, με αριθμό μητρώου 52017046 φοιτητήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Εφαρμοσμένων Τεχνών και Πολιτισμού του Τμήματος Συντήρησης Αρχαιοτήτων, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η Δηλούσα



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη εργασίας.....	Σελ. 3
Εισαγωγή	Σελ. 4
Απολιθώματα: η δημιουργία	Σελ.4
Συλλογή και δειγματοληψία	Σελ.7
Διαγνωστική ακτινολογία	Σελ.9
Αξονική Τομογραφία	Σελ.9
Μαγνητική Τομογραφία	Σελ.9
XRD	Σελ.10
Αντίγραφο με 3D printing	Σελ.10
Τεχνικές συντήρησης	Σελ.12
Συνθήκες αποθήκευσης – Προληπτική συντήρηση	Σελ.14
Ο ρόλος της συντήρησης ανά τα χρόνια στον κλάδο της παλαιοντολογίας ...	Σελ.10
Μεταφορά και Έκθεση ευρημάτων	Σελ.19
Ψηφικοποίηση και Οπτικοποίηση απολιθωμάτων	Σελ.19
Σκοπός	Σελ.21
Υλικά και Μέθοδοι	Σελ.21
Αποτελέσματα	Σελ. 32
Διαγνωστική ακτινολογία	Σελ.32
Αξονική Τομογραφία	Σελ.32
Μαγνητική Τομογραφία.....	Σελ.32

XRD	Σελ.33
Καθαρισμός και συγκόλληση Αντικειμένου	Σελ.33
Αντίγραφο με λάστιχο σιλικόνης	Σελ.35
Αντίγραφο με 3Dprinting	Σελ.37
Συζήτηση	Σελ 39
Συμπεράσματα	Σελ.43
Βιβλιογραφία	Σελ.44

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Καθώς η διαδικασία μηχανικού καθαρισμού, δηλαδή αφαίρεσης του γεωλογικού υλικού από τα απολιθώματα, αποδεικνύεται συχνά αναποτελεσματική λόγω της τεχνικής δυσκολίας της απομάκρυνσης των σκληρών επικαθήσεων έως και καταστρεπτική προς το ίδιο το αντικείμενο, όλο και περισσότερο γίνεται επιτακτική η ανάγκη εύρεσης μιας εναλλακτικής μεθοδολογίας κατά την οποία το συντηρημένο απολίθωμα δεν θα έχει υποστεί αλλοιώσεις. Αντιθέτως, ζητούμενο είναι να προσεγγίζει την πρωτότυπη μορφή του.

Με αυτήν την πτυχιακή δοκιμάσαμε να δούμε πώς θα ήταν το αντικείμενο απαλλαγμένο από το γεωλογικό υλικό του, με την απεικονιστική βοήθεια μιας αξονικής τομογραφίας και με την τρισδιάστατη εκτύπωση των δεδομένων αυτών. Η προσέγγιση αυτή δεν πέτυχε, οπότε αλλάξαμε ερευνητική στόχευση θέλοντας να συγκρίνουμε ποια μέθοδος παραγωγής αντιγράφων είναι η καλύτερη. Στη συνέχεια, προκειμένου να συγκριθούν οι διαφορετικές μεθοδολογίες, καθαρίστηκε μηχανικά το αντικείμενο και δημιουργήσαμε δύο αντίγραφα με καλούπι και κατόπιν ένα αντίγραφο με τρισδιάστατη εκτύπωση. Η εμπειριστατωμένη σύγκριση των διαφορετικών μεθόδων δημιουργίας των τριών αυτών αντιγράφων αποτέλεσε τη βάση των συμπερασμάτων αυτής της πτυχιακής.

ABSTRACT

Very often a mechanical cleaning process, such as the separation of the geological material away from the fossils, is proved to be insufficient due to the technical difficulty that presents the removal of all hard deposits and can even be destructive for the object itself. This is why the need to find an alternative methodology in which the conserved fossil will not suffer alterations is becoming more and more urgent. Even more, what is mostly appreciated is for the object to approach its original form.

Through this diploma research we tried to see what the object would look like if discharged from its geological material, with the imaging help of a computed tomography scan and with the three dimensional printing of those data. This approach was not successful and our research goal was converted into a comparative process between the different methods of producing copies as to find out which one had the best results. In order to compare the different methods, the object was mechanically cleaned and two copies with a mold were created. Next, a third copy was created via three dimensional (3D) printing. The detailed comparison of the variable methods that were used in order to create those three copies was the base for the conclusions of this research.

Λέξεις κλειδιά: απολίθωμα, συντήρηση, αντίγραφο, τρισδιάστατη εκτύπωση.

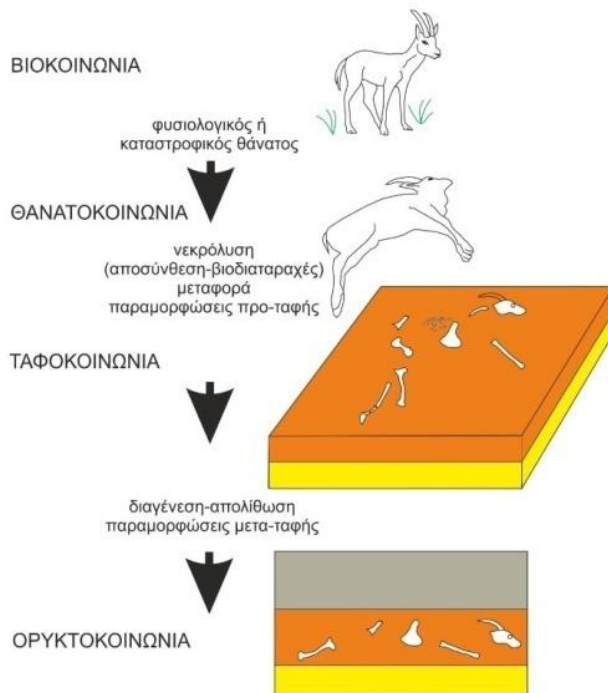
Keywords: fossil, conservation, copy, 3D printing.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΑΠΟΛΙΘΩΜΑΤΑ: η δημιουργία.

Τα υπολείμματα ή τα ίχνη που αφήνουν οι οργανισμοί κατά τη διάρκεια των χρόνων και τα οποία διατηρούνται μέσα σε γεωλογικούς σχηματισμούς, ονομάζονται απολιθώματα. Ένα απολίθωμα είναι αναπόσπαστο κομμάτι του γεωλογικού περιβάλλοντος όπου αυτό βρίσκεται και μαρτυρά την ύπαρξη ενός οργανισμού που έζησε σε παρελθοντικό χρόνο και τόπο. Η μετατροπή ενός νεκρού οργανισμού ή μέρος του σε απολίθωμα γίνεται με τη διαδικασία της απολίθωσης. Η διαδικασία αυτή είναι σπάνια, καθώς το πιο πιθανό είναι σε ένα νεκρό οργανισμό να αποσυντεθούν όλα τα οργανικά του μέρη χωρίς να απομείνει καμία απόδειξη ότι υπήρξε ποτέ. Τα απολιθωμένα είδη που έχουν βρεθεί δεν είναι περισσότερα από 250.000, πρόκειται δηλαδή για το 5% του σύγχρονου δυναμικού. Τα απολιθώματα χρονολογούνται από τη δημιουργία της Γης (τα πρώτα σπονδυλωτά ζώα εμφανίζονται 380 εκ. έτη πριν) έως και το τέλος του Πλειστοκαίνου (11.700 χρόνια πριν). Τα μετέπειτα δείγματα θεωρούνται υποαπολιθώματα, ενώ τέλος υπάρχουν και τα ψευδοαπολιθώματα τα οποία είναι φυσικά μορφώματα ανόργανης προέλευσης που απλώς μοιάζουν με υπολείμματα οργανισμών. Τα απολιθώματα βρίσκονται συνήθως σε ιζηματογενή πετρώματα και αποθέσεις, λιγότερο συχνά σε ηφαιστειακά και πολύ πιο σπάνια σε μεταμορφωσιγενή πετρώματα χαμηλού βαθμού.

Οι διεργασίες μέσω των οποίων ένα οργανικό τμήμα μετατρέπεται σε απολίθωμα αποτελούν το αντικείμενο της διαγένεσης.



Εικ. 1 Η μετάβαση των οργανισμών από τη βιοκοινωνία στην ορυκτοκοινωνία και οι βασικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα (βασισμένο σε δεδομένα της Shирman, 1993).

Τα απολιθώματα χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες που με τη σειρά τους διακρίνονται σε υποκατηγορίες:

α) στα σωματικά απολιθώματα που διατηρούν σωματικό ιστό, συνήθως σκληρά εξωσκελετικά ή εσωσκελετικά μέρη και πιο σπάνια και μαλακά μέρη του οργανισμού.



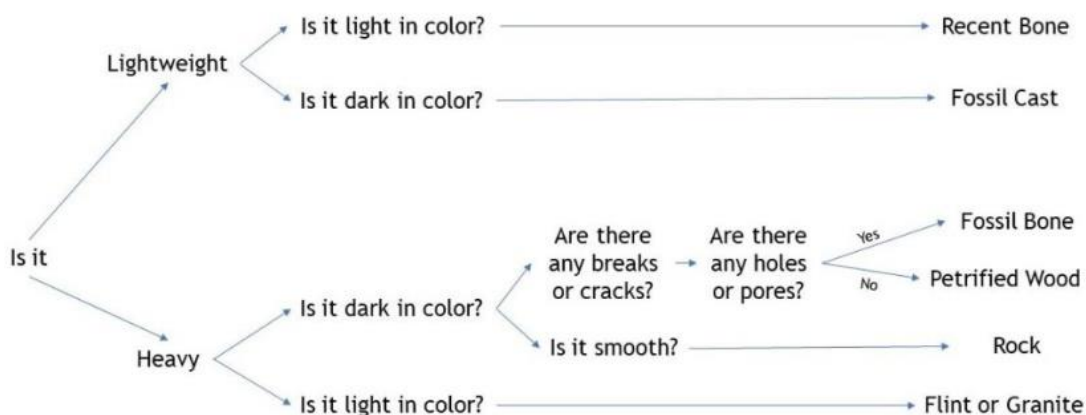
Εικ. 2 Σωματικό απολίθωμα με μοριακή αντικατάσταση (αλλοιωμένη διατήρηση): πλήρης σκελετός του είδους *Alligator prenasalis* (δείγμα AMNH4994, American Museum National History, New York) από το Ολιγόκαινο της Νότιας Ντακότα, ΗΠΑ [η φωτογραφία από Ghedoghedo στη Wikimedia Commons με άδεια CCBY-SA3.0]

β) στα ιχνοαπολιθώματα, που μαρτυρούν την παρουσία και δράση ενός οργανισμού που δεν έχει διατηρηθεί.



Εικ. 3 Συμπιεστικό αποτύπωμα βάδισης πιθανόν διμετρόδοντα από το Πέρμιο, στο Prehistoric Trackways National Monument, Νέο Μεξικό, ΗΠΑ [η φωτογραφία από Medtrails στη Wikimedia Commons με άδεια CCBY-SA3.0]

Η Ακαδημία Φυσικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Ντρέξελ στα πλαίσια ενός φεστιβάλ παλαιοζωολογίας έφτιαξε το παρακάτω σχεδιάγραμμα για να βοηθήσει τους συμμετέχοντες να αναγνωρίσουν ένα απολίθωμα.



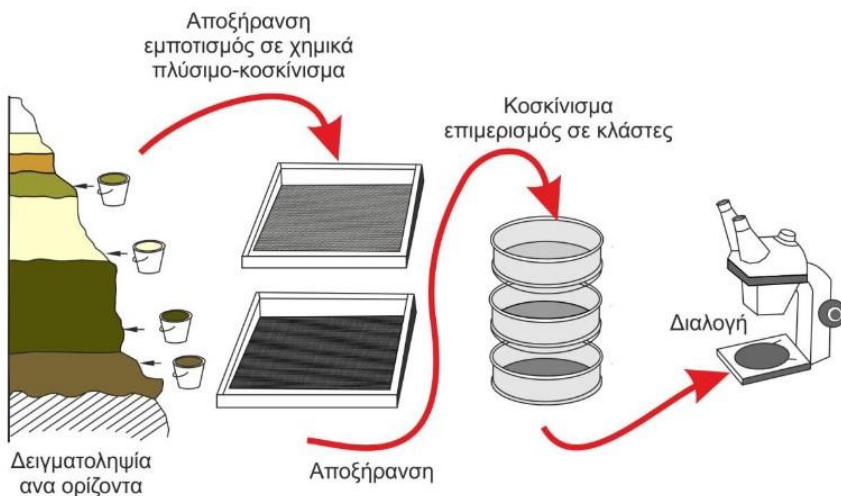
Είναι ενδιαφέρον ότι το πρώτο πράγμα που ελέγχουν οι παλαιοντολόγοι είναι το βάρος του δείγματος αφού ένα απολιθωμένο οστό, ένα οστό που έχει δηλαδή ορυκτοποιηθεί, είναι βαρύτερο από ένα κανονικό οστό. Το επόμενο που ελέγχουν είναι το χρώμα. Εάν ένα αντικείμενο είναι βαρύ και έχει ανοιχτό χρώμα συνήθως δεν είναι απολίθωμα, εκτός αν αποτελεί ένα ιχνοαπολίθωμα (π.χ. τα ορυκτά κελύφη σε ασβεστόλιθο). Στις περισσότερες περιπτώσεις όμως πρόκειται για πετρώματα όπως πυριτόλιθοι. Στη συνέχεια οι παλαιοντολόγοι εξετάζουν την επιφάνεια των πιθανών απολιθωμάτων. Εάν η επιφάνεια είναι λεία και δεν έχει πραγματική υφή πρόκειται για λίθους, ακόμα και αν έχουν σχήμα οστού. Τέλος, ο τελευταίος έλεγχος αφορά το πορώδες των δειγμάτων. Στα απολιθωμένα οστά οι

πόροι είναι προφανείς και ορατοί μακροσκοπικά, εκτός από τις περιπτώσεις των πυκνότερων οστών που είναι πιο δύσκολο να εντοπιστούν χωρίς μικροσκόπιο. Εάν δεν εντοπίζουμε πόρους είναι πιθανό να έχουμε απολιθωμένο ξύλο, δηλαδή τα ορυκτά υπολείμματα του σκληρότερου μέρους ενός δέντρου.

ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ.

Η δειγματοληψία και η συλλογή των απολιθωμάτων απαιτεί σε πρώτο χρόνο τον εντοπισμό ενός απολιθωματοφόρου κοιτάσματος. Η εύρεση των κοιτασμάτων αυτών γίνεται από τους στρωματογράφους γεωλόγους, τους ιζηματολόγους και τους παλαιοντολόγους με τη βοήθεια των συστημάτων GPS/GIS και ταφονομικών πληροφοριών.

Στην περίπτωση που εντοπιστούν μικροαπολιθώματα δεν ακολουθείται η κλασική ανασκαφή αλλά δειγματοληπτική συλλογή του ιζήματος. Το δείγμα πρέπει αρχικά να καθαριστεί από φερτά υλικά, να διαχωριστεί το ίζημα από το απολίθωμα¹ και ύστερα να αποξηρανθεί με φυσικό ή τεχνητό τρόπο. Αφού αποξηρανθεί το δείγμα «πλένεται» με απιονισμένο νερό μέσα σε κόσκινα που έχουν μικρότερη διάμετρο από αυτή του δείγματος. Συχνά για να αποκολληθούν τα λεπτομερέστερα συστατικά του ιζήματος (πχ η άργιλος) το δείγμα εμποτίζεται σε χημικά διαλύματα. Τέλος, πριν γίνει η διαλογή των απολιθωμάτων, κάθε υποσύνολο εξετάζεται στο στερεοσκόπιο. (Εικ. 4)



Εικ. 4 Δειγματοληψία και επεξεργασία μικροαπολιθωμάτων στο εργαστήριο.

Στην περίπτωση που εντοπιστούν μεγάλοι σπονδυλωτοί οργανισμοί, οι τεχνικές ανασκαφής καθορίζονται από:

¹ Πρέπει να είναι γνωστό το ελάχιστο μέγεθος των απολιθωμάτων. Αυτό μπορεί να είναι γνωστό είτε βιβλιογραφικά, είτε με δοκιμές, ανάλογα με την ταξινομική ομάδα που μελετάται.

α) τη τοπογραφία του ευρύτερου χώρου

β) το πάχος και τη φύση των ιζημάτων

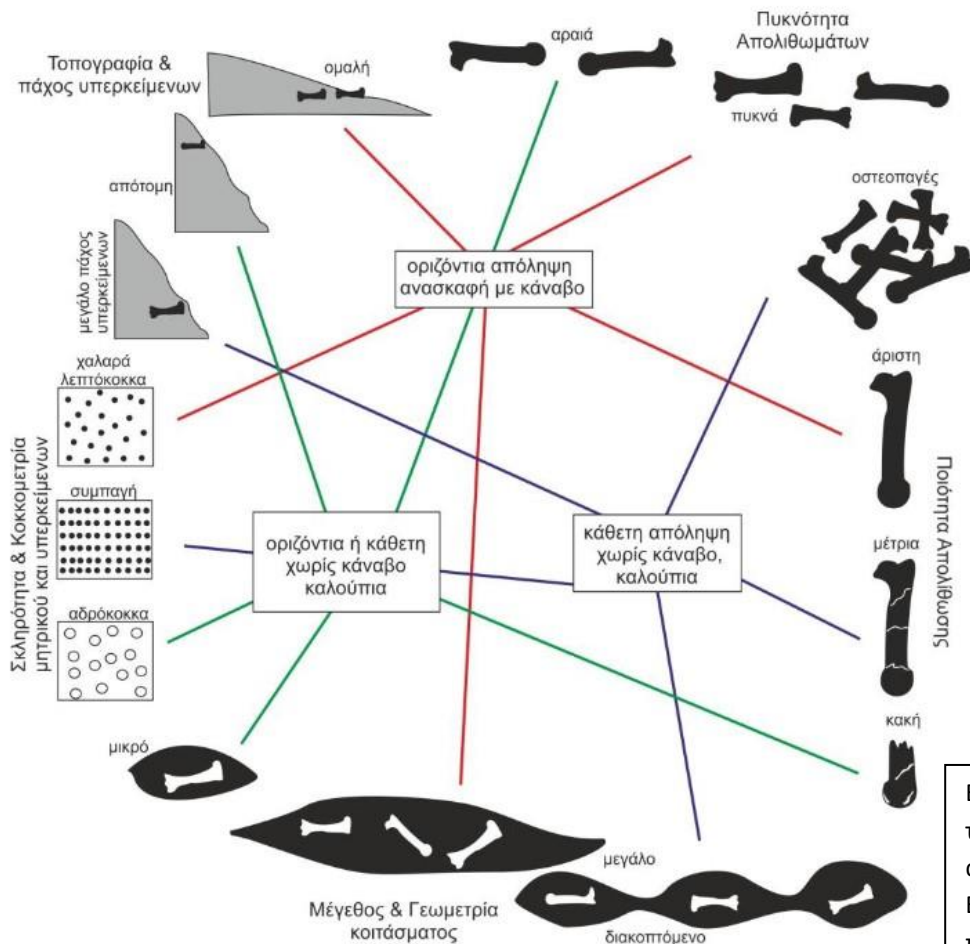
γ) τις φυσικές ιδιότητες του μητρικού ιζήματος που φιλοξενεί τα απολιθώματα

δ) το μέγεθος και τη γεωμετρία του απολιθωματοφόρου κοιτάσματος

ε) την πυκνότητα και την ποιότητα των απολιθωμάτων

στ) την κατανομή των ευρημάτων στην κατακόρυφη και οριζόντια έννοια.

(Κωστόπουλος 2015)



Εικ. 5 Οι παράγοντες που καθορίζουν το είδος της παλαιοντολογικής ανασκαφής που θα ακολουθήσει. Εντός των πλαισίων είναι τρία παραδείγματα.

ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΛΟΓΙΑ

Μία από τις πιο γνωστές μεθόδους για τη λήψη τρισδιάστατων δεδομένων σε ένα απολιθώμα είναι η τομογραφία. Οι τομογράφοι μιας τομογραφίας μπορούν είτε να μελετηθούν απευθείας είτε να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία τρισδιάστατων απεικονίσεων του απολιθώματος. (Mallison H., 2011)

ΑΞΟΝΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

Η αξονική τομογραφία είναι μια τεχνική στη διαγνωστική ακτινολογία που έχει ως αρχή ότι «εάν κάποιος μπορεί να κοιτάξει μέσα από ένα αντικείμενο από αρκετές γωνίες και να αποθηκεύσει αυτές τις πληροφορίες, τότε μπορεί να λάβει μια τρισδιάστατη εικόνα των πληροφοριών αυτών.»². Ωστόσο τα απολιθώματα μπορούν να έχουν πυκνότητα μεγαλύτερη από 3.0 gm cm^{-3} και λόγω αυτού πολλές φορές είναι εκτός εύρους των δυνατοτήτων των περισσότερων μηχανημάτων. Αν η τιμή της πυκνότητας είναι τόσο υψηλή, στο τελικό αποτέλεσμα το αντικείμενο παρουσιάζεται ως αντικείμενο σταθερής και υψηλής πυκνότητας και χάνονται όλες οι πληροφορίες σχετικά με την εσωτερική δομή του απολιθώματος. (Judith R. et al, 1982)

ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

Η αρχή χρήσης του μαγνητικού τομογράφου βασίζεται στον ηλεκτρομαγνητισμό και για να λειτουργήσει αυτό χρησιμοποιείται ένα πηνίο που όταν το διαπεράσει ρεύμα δημιουργεί ένα πολύ ισχυρό μαγνητικό πεδίο. Το πεδίο αυτό μπορεί να είναι έως και 100.000 φορές πιο ισχυρό από το φυσικό μαγνητικό πεδίο της Γης. Αυτή είναι και η αιτία που απαγορεύεται να υπάρχουν μεταλλικά αντικείμενα κοντά στο μαγνητικό πεδίο του τομογράφου όταν βρίσκεται σε λειτουργία. (Γεωργακόπουλος Τ., 2015)

²Οι «προβολές» αυτές στους τομογράφους του εμπορίου μπορεί να είναι από 100.000 έως 400.000 και η καθεμία αντιπροσωπεύει μια μέτρηση της απορρόφησης ακτίνων Χ κατά μήκος μιας γραμμής πλάτους 1mm και πάχους 2mm. Το αντικείμενο παρατηρείται από 300-600 διαφορετικές κατευθύνσεις.

XRD

Η XRD (X – ray Diffraction) ή αλλιώς Ανάλυση με περίθλαση ακτίνων X δίνει πληροφορίες για την τρισδιάστατη (3D) διάταξη των μορίων ή των ατόμων σε ένα κρυσταλλικό υλικό. Με τη μέθοδο αυτή μπορεί να προκύψει η κρυσταλλική δομή των υλικών καθώς και η στοιχειακή ανάλυση για την ταυτοποίηση μιας ουσίας. Η ανάλυση με περίθλαση ακτίνων X βασίζεται στο φαινόμενο της περίθλασης μονοχρωματικής ακτινοβολίας ακτίνων X , γνωστού μήκους κύματος λ , επάνω στα επίπεδα του κρυσταλλικού πλέγματος των εξεταζόμενων ενώσεων και στον προσδιορισμό των διαστημάτων d των κρυσταλλικών επιπέδων, μέσω του προσδιορισμού της περιθλώμενης γωνίας θ της ακτινοβολίας X, σύμφωνα με το νόμο του Bragg. Η ποιοτική ανάλυση της εξεταζόμενης ουσίας γίνεται μέσω του προσδιορισμού των κρυσταλλικών επιπέδων d που είναι χαρακτηριστικά για κάθε κρυσταλλική ένωση και η ποσοτική ανάλυση γίνεται από τη μέτρηση της έντασης της περιθλώμενης ακτινοβολίας σε μια επιλεγμένη γωνία θ . Η XRD χρησιμοποιείται ευρέως σε ερευνητικούς και βιομηχανικούς τομείς για τη διαπίστωση των διαφόρων κρυσταλλικών φάσεων ενός υλικού, καθώς και για άλλους λόγους π.χ. για τη μετατροπή υλικών σε διάφορες θερμοκρασίες κατά την παραγωγική διαδικασία. (Οξενκιούν-Πετροπούλου, 2012)

ΑΝΤΙΓΡΑΦΟ ΜΕ 3DPRINTING

Η ψηφιακή ανθρωπολογία είναι ένα διεπιστημονικό πεδίο έρευνας που αναπτύχθηκε στις αρχές του 21αι. με σκοπό τη μελέτη αναπαραστάσεων ανατομικών δεδομένων σε τρισδιάστατη μορφή. Η διαδικασία λήψης εικονικών δειγμάτων είναι μη επεμβατική και αυτό είναι και ένα από τα κύρια οφέλη του κλάδου αυτού. Υπάρχουν πολλές διαφορετικές τεχνικές και διαδικασίες που επιτρέπουν την επίτευξη ακριβών και αξιόπιστων τρισδιάστατων μοντέλων ανθρωπολογικών μοντέλων. (LussuP., MariniE., 2020)

ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Ο όρος προσθετική κατασκευή (Additive Manufacturing) αναφέρεται σε αυτό που τα προηγούμενα χρόνια αποκαλούσαμε «ταχεία πρωτοτυπία» (Rapid Prototyping –RP) και είναι γνωστός στο ευρύ κοινό ως τρισδιάστατη εκτύπωση (3D printing). Συνοψίζοντας, οι διεργασίες που περιλαμβάνονται στην προσθετική κατασκευή χωρίζονται σε οχτώ βασικά βήματα.

1.CAD

Αρχικά δημιουργούμε ένα ψηφιακό μοντέλο όπου περιγράφουμε την εξωτερική γεωμετρία του αντικειμένου. Μπορούμε να επιλέξουμε σχεδόν οποιοδήποτε επαγγελματικό λογισμικό CAD στερεάς μοντελοποίησης που έχει ως τελικό αποτέλεσμα μια 3D στερεά ή επιφανειακή αναπαράσταση.

2. Μετατροπή σε αρχείο STL

Εξάγουμε τα δεδομένα από το σύστημα CAD σε μορφή αρχείου STL το οποίο περιγράφει την κλειστή εξωτερική επιφάνεια του αρχικού μοντέλου και αποτελεί τη βάση για τον υπολογισμό των στρώσεων.

3. Μεταφορά στη μηχανή AM και επεξεργασία του αρχείου STL

Καθώς μεταφέρουμε το αρχείο θα πρέπει να το επεξεργαστούμε έτσι ώστε να έχει το κατάλληλο μέγεθος, θέση και προσανατολισμό για την κατασκευή του.

4. Προετοιμασία της μηχανής

Προτού ξεκινήσει η διαδικασία κατασκευής πρέπει να σιγουρευτούμε ότι οι κατασκευαστικές παράμετροι είναι σωστές, όπως για παράδειγμα ότι έχουμε λάβει υπ' όψιν μας τους περιορισμούς που συνδέονται με το υλικό κατασκευής, τη συγκεκριμένη πηγή ενέργειας, το πάχος της στρώσης, τις διάφορες επιλογές χρονισμού κ.λπ.

5. Κατασκευή

Η κατασκευή είναι μια αυτοματοποιημένη διαδικασία που μπορεί να εκτελεστεί με μια στοιχειώδη επιτήρηση ώστε να είμαστε βέβαιοι ότι δεν θα συμβεί κάποιο λάθος, π.χ. να έχει εξαντληθεί το υλικό κατασκευής.

6. Απομάκρυνση

Όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία το αντικείμενο απομακρύνεται με προσοχή από τη μηχανή καθώς εκείνη μπορεί να διαθέτει ασφαλιστικές δικλίδες/μηχανισμούς που π.χ. εξασφαλίζουν ότι δεν βρίσκονται σε κίνηση κάποια μέρη της κ.α.

7. Μετεπεξεργασία

Όταν ολοκληρωθεί η απομάκρυνση του αντικειμένου από τη μηχανή μπορεί τα κομμάτια να μην είναι κατάλληλα να χρησιμοποιηθούν αμέσως και να χρειάζονται κάποιο επιπλέον καθάρισμα, καθώς και να έχουν στηρίγματα που πρέπει να αφαιρεθούν κ.λ.π. Το στάδιο αυτό ολοκληρώνεται με χειρωνακτική εργασία από έμπειρο προσωπικό.

8. Εφαρμογή

Μετά την μετεπεξεργασία το αντικείμενο είναι έτοιμο. Ίσως χρειαστεί μια μικροεπεξεργασία όπως αστάρωμα ή βαφή ώστε να υπάρχει μια αποδεκτή επιφανειακή υφή και φινίρισμα. (GibsonL., 2017)

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Η επιστήμη της παλαιοντολογίας εξαρτάται σε πολλές περιπτώσεις από τη μελέτη των απολιθωμάτων που έχουν διατηρηθεί με τις κατάλληλες τεχνικές συντήρησης. Στόχος της συντήρησης είναι η μακροπρόθεσμη διατήρηση των αρχαιολογικών και παλαιοντολογικών καταλοίπων που σε άλλη περίπτωση θα είχαν καταστραφεί αφού είναι πολύ εύθραυστα, καλυμμένα με ιζήματα ή σπασμένα σε κομμάτια, αλλά και η ανάκτηση πληροφοριών και η διευκόλυνση της έρευνας. (López-Políneta, 2008)

Οι τεχνικές συντήρησης μπορούν να βοηθήσουν επίσης στη διατήρηση ασταθών υπολειμμάτων όπως εκείνων που είναι ευαίσθητα σε περιβαλλοντικές αλλαγές. Ωστόσο, όπως μας προειδοποιούν αρκετές επιστημονικές μελέτες, ορισμένα υλικά καθώς και τεχνικές συντήρησης αλλοιώνουν τις μεταγενέστερες μελέτες. Για αυτόν το λόγο πάντα προτείνεται οι συντηρητές να επεμβαίνουν όσο λιγότερο χρειάζεται και πάντα να αφήνουν δείγμα που δεν έχει καθόλου επεξεργαστεί.

Ο καθαρισμός των σπονδυλωτών απολιθωμάτων μπορεί να είναι μηχανικός, χημικός, είτε με απιονισμένο νερό, οργανικούς διαλύτες και τέλος με ξύστρο υπερήχων ή λέιζερ. Ο μηχανικός καθαρισμός μπορεί να γίνει είτε με μικρά μεταλλικά εργαλεία όπως βούρτσες, νυστέρια, βελόνες κ.α., είτε με πιο ισχυρά όπως σμίλη, καλέμι, είτε τέλος με αυτοματοποιημένα εργαλεία όπως είναι η αμμοβολή κ.α. Ο μηχανικός καθαρισμός είναι πολύ χρήσιμος αφού δεν εισάγει καθόλου υγρά στο δείγμα και έτσι δεν αφήνει τοξικά ή μη υπολείμματα. Δυστυχώς σε κάποιες περιπτώσεις λειτουργεί αρνητικά, αφού οι δονήσεις ή τα χτυπήματα μπορούν να αποσπάσουν θραύσματα ή και να προκαλέσουν ρωγμές και κατάγματα στα δείγματα. Ο χημικός καθαρισμός των απολιθωμένων οστών πραγματοποιείται για να απομακρύνει ασβεστολιθικά υπολείμματα. Συνήθως χρησιμοποιούνται όξινα υδατικά διαλύματα όπως το οξικό και το μυρμηγκικό οξύ που προκαλούν μικρή ζημιά στα οστά. Ο χημικός καθαρισμός καθαρίζει εκεί που τα εργαλεία του μηχανικού καθαρισμού δεν φτάνουν και δεν προκαλεί καμιά δόνηση στα δείγματα, ωστόσο τα οξέα μπορεί να βλάψουν το φωσφορικό και ανθρακικό ασβέστιο που περιέχουν τα οστά, για αυτό και απαιτείται μετά τη διαδικασία τα δείγματα να πλυθούν ώστε να απομακρυνθούν όλα τα ίχνη οξέος ή αλάτων που παράγονται κατά τη διάρκεια του χημικού καθαρισμού. Ο καθαρισμός με απιονισμένο νερό χρησιμοποιείται σε οστά που είναι ανθεκτικά στην αποσύνθεση με εμβάπτιση και δεν θα

σπάσουν κατά τη ξήρανση τους. Το απιονισμένο νερό έχει χαμηλό κόστος, είναι εύκολα διαθέσιμο και δεν είναι τοξικό για το δείγμα. Το νερό της βρύσης δεν προτιμάται αφού μπορεί να περιέχει διαφορετικά διαλυτά άλατα και άλλους μολυσματικούς παράγοντες. Οι διαλύτες όπως πχ η ακετόνη κ.α. χρησιμοποιούνται για διάφορες περιπτώσεις όπως είναι η απομάκρυνση σταθεροποιητικών ή άλλων οργανικών ουσιών. Μια άλλη τεχνική καθαρισμού είναι τα λουτρά υπερήχων που γίνονται με κάποιο υγρό (συνήθως νερό). Πιο σύγχρονη τεχνική είναι ο καθαρισμός με λέιζερ, που είναι ένας συνδυασμός εξάχνωσης και εξάτμισης των συστατικών μέσω φωτοθερμικών και φωτοχημικών διεργασιών. Πολλές φορές ο καθαρισμός ενός δείγματος χρήζει ένα συνδυασμό δύο ή και περισσότερων τεχνικών. Ο συνδυασμός αυτός μπορεί να είναι είτε διαδοχικός είτε ταυτόχρονος π.χ. μηχανικός καθαρισμός μαζί με καθαρισμό με νερό. (Cook J. & Ward C., 2008)

Η στερέωση και η συγκόλληση του δείγματος έχουν σαν στόχο την ενίσχυση των εύθραυστων αυτών υλικών. Τα στερεωτικά και οι κόλλες που χρησιμοποιούνταν για τα οστά μέχρι και το πρώτο μισό του 20ου αι. περιείχαν φυσικά προϊόντα π.χ. κόλλες ζώων ενώ από το δεύτερο μισό και μετά αποτελούνται κυρίως από ακριλικές ρητίνες. Τα υλικά αυτά διαλύονται μέσα σε νερό ή συνήθως σε έναν οργανικό διαλύτη όπως π.χ. η ακετόνη. Ορισμένα υλικά δεν μπορούν να ανεχθούν το νερό και χρειάζονται έναν πιο πτητικό διαλύτη. Ο κάθε διαλύτης προκαλεί διαφορετικές επιφανειακές κατανομές ή βαθμούς διείσδυσης των προϊόντων. Η χρήση διαλυτών αντί για νερό αυξάνει τη τοξικότητα της διαδικασίας και εκθέτει και τους ίδιους τους συντηρητές σε επιβλαβή προϊόντα. Όταν τα στερεωτικά εισάγονται στο δείγμα γεμίζουν τις μικροσκοπικές ρωγμές και δυναμώνουν την αντοχή του δείγματος καθώς προσκολλάνε τα εύθραυστα κομμάτια μεταξύ τους. Βασικοί παράγοντες για την επιλογή του υλικού συγκόλλησης και στερέωσης είναι η σταθερότητα, η αναστρεψιμότητα της συγκόλλησης βάσει του πορώδους του δείγματος και, στην περίπτωση που χρειαστεί να αφαιρεθεί, η ιδιότητά του να φθείρει όσο το δυνατόν λιγότερο το αντικείμενο. Παράλληλα μας απασχολεί ο χρόνος γήρανσης του, η συμβατότητα του με το δείγμα καθώς και η αποτελεσματικότητά του. Τα οφέλη της συντήρησης του δείγματος όμως είναι αναμφισβήτητα. Ο καθαρισμός π.χ. μπορεί να καταστήσει δυνατή από τη μακροσκοπική μελέτη του αντικείμενου έως και μικροσκοπικές εξετάσεις που σε άλλη περίπτωση δεν θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν. (López-Polín 2012)

Πολλές από τις τεχνικές συντήρησης ωστόσο μπορούν και να επηρεάσουν αρνητικά μεταγενέστερες μελέτες, για αυτό και οι συντηρητές πρέπει να είναι πολύ προσεκτικοί και να λαμβάνουν υπόψη τις ακριβείς απαιτήσεις των μελετών αυτών. Είναι σημαντικό να καταγράφονται όλα τα υλικά και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διαδικασία της συντήρησης, αλλά και οι πληροφορίες αυτές να μεταδίδονται στους ερευνητές που μελετούν το δείγμα. Τα αρχεία της συντήρησης και της τεκμηρίωσης, είτε χειρόγραφα είτε ηλεκτρονικά, πρέπει να φυλάσσονται για κάθε δείγμα. Πρέπει επίσης να καταγράφονται δεδομένα όπως ο

αριθμός καταγραφής, πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση διατήρησης του δείγματος καθώς και επιστημονικές δειγματοληψίες που ίσως έχουν γίνει.

ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ – ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

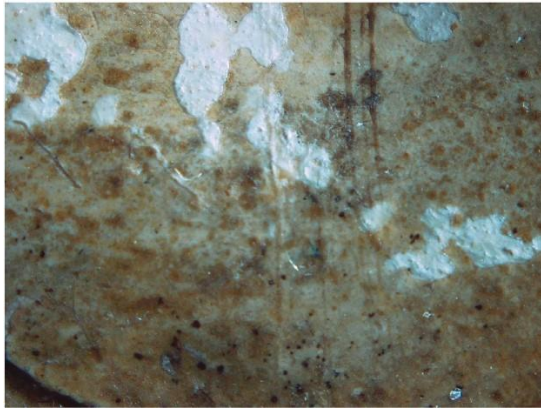
Τα δείγματα πρέπει να αποθηκεύονται σε υποστηρικτικά αδρανή υλικά, σε κατάλληλες περιβαλλοντικές συνθήκες και πάντα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι προηγούμενες συνθήκες αποθήκευσης. Για τα δείγματα απολιθωμένων οστών που δεν έχουν βρεθεί σε πολύ ξηρές συνθήκες, προβλέπεται να βρίσκονται σε 40-55% σχετική υγρασία με $\pm 5\%$ και θερμοκρασία που μπορεί να κυμανθεί στους 16-20° C με ημερήσιες διακυμάνσεις μικρότερες από $\pm 2^\circ$ C. Οι περιβαλλοντικές συνθήκες πρέπει να παρακολουθούνται συνεχώς και να ελέγχεται ότι παραμένουν σταθερές. (Cooketal, 2008)

Η ανακατασκευή των δειγμάτων, η δειγματοληψία των δειγμάτων για χρονολόγηση, αναλύσεις DNA ή ισotόπων καθώς και όλες οι τεχνικές πρέπει πάντα να γίνονται σε συνεργασία με επαγγελματίες συντηρητές και άλλους ειδικούς επιστήμονες. Είναι σημαντικό για τις τεχνικές αυτές να χρησιμοποιείται ο κατάλληλος εξοπλισμός όπως η ηλεκτρονική αξονική τομογραφία (CAT), η μαγνητική τομογραφία (MRI), η τρισδιάστατη σάρωση λέιζερ (3D) και οι ηλεκτρονικές εικόνες υψηλής ανάλυσης ώστε να μειωθεί η ανάγκη για άμεση πρόσβαση στα απολιθώματα. Αυτές οι τεχνικές θα μπορούσαν να βελτιώσουν τις τεχνικές έρευνας, να διασφαλίσουν τη διατήρηση των απολιθωμάτων αλλά και να αυξήσουν τη πρόσβαση των πληροφοριών σε περισσότερους ανθρώπους. (Lopez-Polin, 2012)

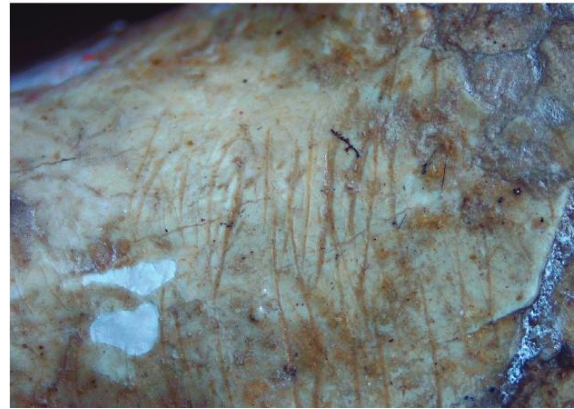
Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΝΑ ΤΑ ΧΡΟΝΙΑ ΣΤΟΝ ΚΛΑΔΟ ΤΗΣ ΠΑΛΑΙΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ

Ένα παράδειγμα για το πόσο σημαντικός είναι ο σωστός χειρισμός κατά τη διάρκεια των επιστημονικών ερευνών, η σωστή συντήρηση των απολιθωμάτων αλλά και η καταγραφή της διαδικασίας είναι η έρευνα που έγινε το 2007 στο μεγαλύτερο γνωστό δείγμα ανθρώπινων λειψάνων Νεότερηταλ από το σπήλαιο Κραπίνα στην Κροατία. Η συλλογή χρονολογείται από 120.000 έως και 60.000 χρόνων πριν και αποτελείται από περίπου 830 οστά ή θραύσματα οστών. Στην έρευνα αυτή εξετάστηκε κάθε οστό και κάθε θραύσμα με εξαίρεση τις φάλαγγες και τα μεμονωμένα δόντια που σε αυτά οι ειδικοί πήραν το 10% τους ως αντιπροσωπευτικό δείγμα για να εκτιμηθεί η κατάσταση τους και η συντήρηση που θα χρειαζόνταν. Αφού τα δείγματα ταυτοποιήθηκαν, ελέγχθηκαν για τυχόν αλλαγές στην κατάσταση διατήρησής τους τα τελευταία 20 χρόνια. Η τεκμηρίωση περιελάμβανε μακροσκοπική και μικροσκοπική εξέταση, λήψη φωτογραφιών, καταγραφή των φθορών και των αλλοιώσεων, τεστ διαλυτότητας στις κόλλες και στις ρητίνες που είχαν χρησιμοποιηθεί τον προηγούμενο αιώνα προκειμένου να προσδιοριστεί η σύνθεση τους, η κατάσταση αποικοδόμησης τους και η πιθανή ευκολία απομάκρυνσής τους. Μετά την τεκμηρίωση τα δείγματα κατηγοριοποιήθηκαν σε τέσσερις ομάδες ανάλογα με την ανάγκη τους για άμεση ή όχι συντήρηση. Το ένα τρίτο της συλλογής αποφασίστηκε ότι είχε υψηλή ή μεσαία προτεραιότητα για άμεση συντήρηση ενώ τα υπόλοιπα δείγματα θα χρειαζόντουσαν στο άμεσο μέλλον.

Το μεγαλύτερο μέρος των δειγμάτων ήταν θραύσματα οστών που είχαν συγκολληθεί από τη περίοδο της ανασκαφής (1809-1906) ή χρόνια αργότερα. Οι συγκολλήσεις είχαν γίνει με διαφορετικά υλικά και τεχνικές, χωρίς δυστυχώς να έχει γίνει κάποια καταγραφή τους. Παρατηρήθηκε ότι σχεδόν όλα τα δείγματα (είτε θραύσματα, είτε πλήρη οστά) είχαν καλυφθεί με ένα παχύ στρώμα ρητίνης που φαίνεται να είχε περαστεί λίγο καιρό μετά την ανασκαφή και σε πολλές περιπτώσεις και πάνω από τα ιζήματα. Η επίστρωση αυτή των ρητινών, πλέον αποχρωματισμένη, είχε καταστροφική επίδραση στα οστά (εικ. 6-7) .



Εικ. 6 Φωτομικρογραφία στο Κραπίνα κρανίο ν.6. Παρατηρείται η διαβρωμένη επίστρωση ρητίνης.

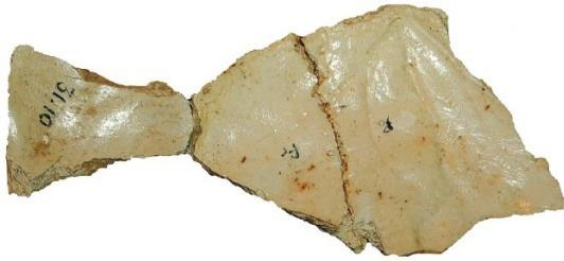


Εικ. 7 Φωτομικρογραφία στη κάτω γνάθο της Κραπίνα 56. Παρατηρείται η αποφλοιωμένη επίστρωση της ρητίνης.

Η σκληρή εξωτερική επιφάνεια σε σχέση με την εύθραυστη εσωτερική δομή των οστών δημιούργησε τάσεις που μπορούσαν να οδηγήσουν σε απώλεια της επιφάνειας. Αυτό συνέβη ήδη σε πολλά θραύσματα, ιδιαίτερα σε αυτά που χρησιμοποιήθηκαν σε εκμαγεία. Μετά από εργαστηριακή ανάλυση των ρητινών αποκαλύφθηκε ότι αυτές περιείχαν οξικό πολυβινύλιο, νιτρικό κυτταρίνης, πρωτεϊνούχο υλικό και συστατικά που προήλθαν από ρητίνη κωνοφόρων. Η ρητίνη αυτή όπως και η κόλλα που χρησιμοποιήθηκε οδήγησαν σε περαιτέρω θραύση και απώλεια του οστού. Σε πολλά δείγματα υπήρχε μια μικρή ξύλινη ράβδος που προοριζόταν για να υποστηρίξει και να ενισχύσει τις συνδέσεις των θραυσμάτων. Σε πολλές περιπτώσεις τα ξύλινα αυτά στηρίγματα αποκολλήθηκαν, αφαιρώντας μαζί και επιφάνεια του οστού και παραμορφώνοντας το σχήμα του κρανίου. Όλα αυτά πολλές φορές οδήγησαν σε παραπλανητικές μετρήσεις και λάθος συγκρίσεις όσο αφορά τη σύγκριση των οστών (εικ.8).



Εικ. 8 Το εσωτερικό του κρανίου του Κραπίνα 1. Παρατηρείται ότι οι παλιές συγκολλήσεις και τα ξύλινα στηρίγματα είναι ασταθή. Η ρητίνη που έχει επιστρωθεί σε όλο το δείγμα έχει διαβρωθεί και αποχρωματιστεί.



Εικ.9 Συγκολλημένα θραύσματα κρανίων του Κραπίνα 31.10 και του Κραπίνα 33.32. Παρατηρούνται ανακριβείς και ασταθείς συνδέσεις.



Εικ. 10 Θραύσμα μηρού από το δείγμα Κραπίνα 257.4. Παρατηρείται η παχιά επίστρωση της ρητίνης στο καρκινικό οστό που κρύβει την επιφάνεια του ιστού.

Τα δόντια που συντηρήθηκαν ήταν σε καλή κατάσταση και δεν έφεραν επίστρωση με ρητίνη όπως τα υπόλοιπα δείγματα. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια του τελευταίου αιώνα τα δόντια και τα οστά του σπηλαίου Κραπίνα έχουν χυτευτεί εκτενώς για την παραγωγή εκμαγείων. Οι επιφάνειες και οι ενώσεις των δειγμάτων φέρουν ίχνη και υπολείμματα αυτής της διαδικασίας (κερί, καουτσούκ, γύψο κ.α.). Η ζημιά και η παραμόρφωση είναι εμφανής (εικ. 11).



Εικ.11 Συγκολλημένα θραύσματα του αριστερού βρεγματικού λοβού του Κραπίνα 16. Παρατηρούνται υπολείμματα χύτευσης.

Η χρήση πλαστελίνης ή Bluetack που χρησιμοποιήθηκε πριν τις συγκολλήσεις είτε για υποστήριξη των δειγμάτων κατά τη διάρκεια της φωτογράφισης, έχει επίσης προκαλέσει μεγάλη φθορά στα δείγματα. Τα υλικά αυτά αφαιρούνται δύσκολα από το πορώδες της

επιφάνειας και προκαλούν λιπαρούς λεκέδες (εικ 12). Φθορές επίσης προκάλεσαν οι μαύρες ίνες από τα υφάσματα που χρησιμοποιήθηκαν ως προστατευτικά καλύμματα κατά την έκθεση τους.



Εικ. 12 Συγκολλημένα θραύσματα βρεγματικού λοβού του Κραπίνα 32.2. Παρατηρείται μια αποχρωματισμένη επίστρωση ρητίνης και Bluetack που έχει χρησιμοποιηθεί ως κόλλα, με αποτέλεσμα οι συγκολλήσεις να είναι ανακριβείς.



Εικ. 13 Αρχείο φωτογραφίας των απολιθωμάτων Κραπίνα που εκθέτονται σε ένα μαύρο ύφασμα.

Τέλος, οι επιφάνειες των δειγμάτων είχαν ρύπους, χαράξεις, γρατζουνιές και εσοχές που προέκυψαν από την ανασκαφή και κατά τη διαδικασία μηχανικού καθαρισμού τους. Επιπροσθέτως, πολλά δείγματα είχαν σημάδια μολυβιού και αριθμούς με μελάνι που είχαν γίνει από τους παλαιότερους ερευνητές.

Η εξέταση της συλλογής της Κραπίνα μας δείχνει ότι μεγάλο μέρος των φθορών οφείλεται στον λάθος χειρισμό, στην εσφαλμένη επιλογή και εφαρμογή ρητινών και κολλών αλλά και στη χρήση των δειγμάτων για χύτευση. Η εκτίμηση των συντηρητών το 2007 ήταν ότι θα ήταν δυνατή η αφαίρεση της ρητίνης από τις επιφάνειες των οστών, η απομάκρυνση των παλιών συγκολλήσεων και η επανένωση των θραυσμάτων πλέον με Paraloid B48 διαλυμένο σε ακετόνη, αλλά χρησιμοποιώντας και άλλα κατάλληλα υλικά και τεχνικές.

ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΚΑΙ ΕΚΘΕΣΗ ΕΥΡΗΜΑΤΩΝ

Το 2005 η κυβέρνηση της Αιθιοπίας «δάνεισε» το σκελετό ενός Αυστραλοπιθήκου Αφαρένσις, γνωστό ως Lucy, σε μουσείου των Ηνωμένων Πολιτειών. Το συμβούλιο της Διεθνούς Ένωσης για τη Μελέτη της Ανθρώπινης Παλαιοντολογίας ενέκρινε ένα ψήφισμα που απαγόρευσε την μεταφορά ανθρώπινων απολιθωμάτων για σκοπούς έκθεσης καθώς φοβόντουσαν ότι οι κίνδυνοι αποθήκευσης, μεταφοράς και έκθεσης ήταν πολύ μεγάλοι σε σχέση με τη τεράστια αξία των δειγμάτων στην ιστορία της ανθρωπότητας. Η Ένωση περιόρισε την πρόσβαση μόνο σε επιστήμονες και η μεταφορά δειγμάτων στα εργαστήρια τους μπορεί πλέον να γίνει μόνο για επιστημονικούς λόγους. Όπως μας υπενθυμίζει η έρευνα για τα απολιθώματα της Κραπίνα η φθορά αυτή δεν πρόκειται για μεμονωμένες περιπτώσεις. (Cook J. & Ward C., 2008)



Εικ. 14 Λούσι,
Αυστραλοπίθηκος Αφαρένσις,
National Science Foundation
(2010).

ΨΗΦΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΛΙΘΩΜΑΤΩΝ

Από το 1980 κιόλας οι παλαιοντολόγοι άρχισαν να χρησιμοποιούν την τεχνολογία και ανέπτυξαν τεχνικές προσομοίωσης στις μελέτες τους για να οπτικοποιήσουν τη μορφολογία της επιφάνειας και την εσωτερική δομή των δειγμάτων τους. Σήμερα χάρη σε πολλές ανακαλύψεις στους τομείς της μηχανικής και της μη καταστροφικής απεικόνισης υπάρχουν πολλές τεχνικές μη καταστρεπτικές όπως η αξονική τομογραφία και το σκανάρισμα με λέιζερ που σκοπεύουν στη κατασκευή τρισδιάστατων αντιγράφων που δεν θα φθείρουν τα πρωτότυπα απολιθώματα. Με τη διαδικασία αυτή τα απολιθώματα προστατεύονται ενώ μπορούν να μελετηθούν από πολλούς επιστήμονες ταυτόχρονα και παντού στον κόσμο, να χρησιμοποιηθούν εκπαιδευτικά, να διατεθούν ως πόρος για τη διερεύνηση της μορφολογίας τους από ανθρώπους που έχουν προβλήματα όρασης, να εκτεθούν στην περίπτωση που τα

πρωτότυπα είναι πολύ ευαίσθητα και προτιμάται να μείνουν αποθηκευμένα και μόνο να εμφανίζονται σε μια έκθεση σε φωτογραφίες . Επιπλέον, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για μια μορφή διαδραστικής διδασκαλίας για ενήλικες ή παιδιά με θέμα την εξέλιξη, είτε στην ιστορία των έμβιων οργανισμών και των απολιθωμάτων.λπ.

Στην Ελλάδα η τρισδιάστατη αυτή οπτικοποίηση με τη βοήθεια της τεχνολογίας άρχισε να εφαρμόζεται τα τελευταία χρόνια. Ένα από τα πρώτα αντίγραφα που πραγματοποιήθηκαν είναι το αντίγραφο που έγινε για τα σκελετικά υπολείμματα του νησιωτικού νάνου ελέφαντα *Palaeoarchon tiliensis* από το νησί της Τήλου, στα Δωδεκάνησα. Για τη μελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκε η αξονική τομογραφία και το 3D σκανάρισμα για να εκτιμηθούν και να μοντελοποιηθούν οι διαστάσεις των αντικειμένων. Η επιλογή των απολιθωμάτων έγινε με βάση την πληρότητα των σκελετικών στοιχείων, τη διατήρηση των διαγνωστικών χαρακτηριστικών και την έλλειψη πρόσθετων υλικών (γύψος, κερί, μέταλλο) που μπορεί να έχουν χρησιμοποιηθεί κατά την προετοιμασία και συντήρηση των απολιθωμάτων. Μετά το σκανάρισμα και την αξονική χρησιμοποιήθηκαν στατιστικές και αλλομετρικές αναλύσεις του υλικού για να εκτιμηθούν οι διαστάσεις των ενήλικων σκελετικών στοιχείων. Για να εντοπιστούν οι σωστές αναλογίες οι επιστήμονες πήρανε δεδομένα από ταφωνομικές παρατηρήσεις. Τα τρισδιάστατα μοντέλα που εκτυπώθηκαν προσαρμόστηκαν στις διαστάσεις που προέκυψαν από την παραπάνω διαδικασία.

Υπάρχουν πολλές διαθέσιμες τεχνικές ψηφιοποίησης που χρησιμοποιούνται ανάλογα με τις ιδιότητες του υλικού, το μέγεθος του κτλ. Αυτές μπορεί να είναι η σάρωση με λέιζερ, η φωτογραμμετρία, η ακτινογραφία, η σειριακή τομογραφία λείανσης, η μικροτομογραφία, η μαγνητική τομογραφία, η τομογραφία νετρονίων κτλ. Οι τεχνικές αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε όλες τις κατηγορίες απολιθωμάτων (σπονδυλωτά, ασπόνδυλα, φυτά, μικροαπολιθώματα, ίχνη απολιθωμάτων) με σκοπό να ψηφιοποιηθούν και να αναλυθούν με τεχνικές ανάλογες με τους σκοπούς του κάθε επιστήμονα. Οι περισσότερες από αυτές τις τεχνικές επιτρέπουν την τρισδιάστατη απεικόνιση των δειγμάτων παρέχοντας δεδομένα σε επιστήμονες σε όλο τον κόσμο.

Ακόμη μια εφαρμογή της οπτικοποίησης αυτής είναι η μελέτη που πραγματοποίησε ο Φίσερ κ.α. και αφορά την ανάλυση προβοσκιδών. Με τη χρήση αξονικών τομογραφιών, φωτογραμμετρίας και ψηφιοποιητή σημείων δημιούργησαν ένα τρισδιάστατο μοντέλο ενός ενήλικου αρθρωτού σκελετού του αμερικανού μαστόδοντα και δημιούργησαν μια γραφική αναπαράσταση προκειμένου να δημιουργηθεί μια ψηφιακή βιβλιοθήκη με όλα τα στοιχεία του ζώου αυτού. (Mitsoroulouetal, 2015)

ΣΚΟΠΟΣ

Η εργασία αυτή αποσκοπεί στη συγκριτική μελέτη τριών διαφορετικών μεθόδων δημιουργίας αντιγράφων, με στόχο την άντληση συμπερασμάτων σχετικά με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της κάθε μεθόδου με βάση το κόστος, τις φθορές των απολιθωμάτων, την πιστότητα των αντιγράφων, τη διαχρονικότητα των συλλεχθέντων πληροφοριών και, τέλος, τον κόπο και τον χρόνο που απαιτούν από τον συντηρητή.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ

Το αντικείμενο που χρησιμοποιήθηκε για την εργασία δόθηκε μετά από άδεια από το γεωλογικό τμήμα του ΕΚΠΑ και προέρχεται από ανασκαφή στο Πικέρμι. Σύμφωνα και με τις χρονολογήσεις των υπόλοιπων δειγμάτων της ανασκαφής, το αντικείμενο του ενδιαφέροντος μας χρονολογείται στα 7.000.000 χρόνια πριν.

Το απολίθωμα βρίσκεται μέσα σε σκληρό γεωλογικό υλικό όπως βλέπουμε και παρακάτω.



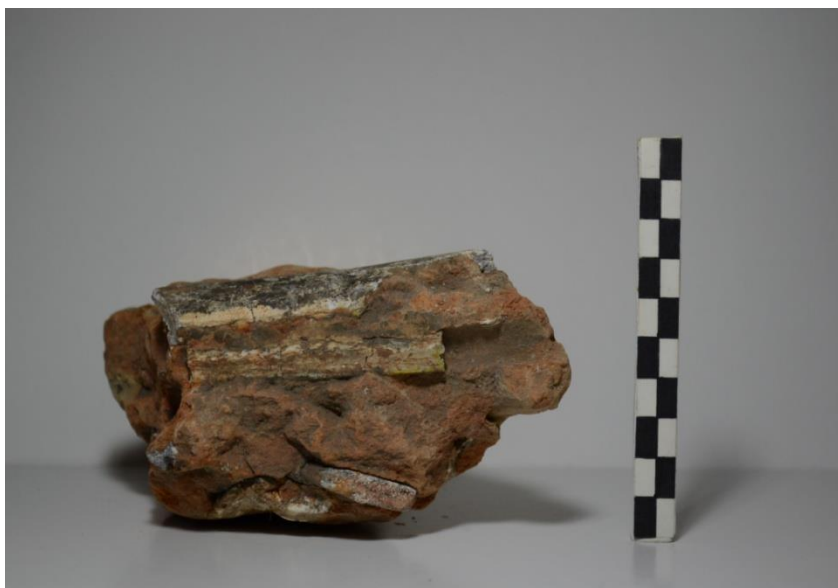
Εικ. 14 Το απολίθωμα μέσα στο γεωλογικό υλικό, αρχική μορφή, κάτοψη. Μπορούμε να παρατηρήσουμε τα διαφορετικά είδη των επικαθήσεων, (2022) Κουβέλη Κωνσταντίνα.



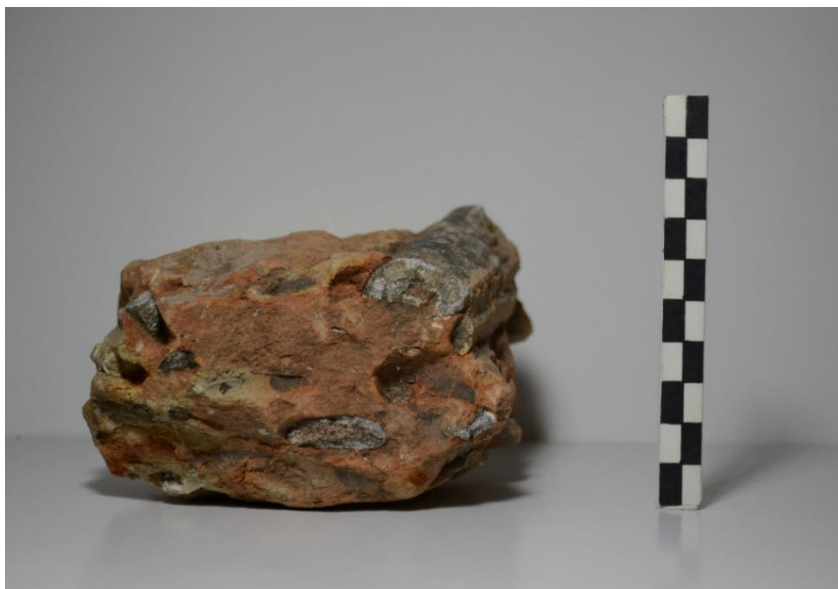
Εικ. 15 Το απολίθωμα μέσα στο γεωλογικό υλικό, αρχική μορφή, άνοψη, παρατηρούμε και άλλα οστά μέσα στο ίζημα, (2022) Κουβέλη Κωνσταντίνα.



Εικ. 16 Το απολίθωμα μέσα στο γεωλογικό υλικό, αρχική μορφή, πρόσοψη. Στην όψη αυτή διακρίνονται τα θραύσματα από διαφορετική οπτική γωνία., (2022) Κουβέλη Κωνσταντίνα.



Εικ. 17 Το απολίθωμα μέσα στο γεωλογικό υλικό, αρχική μορφή, πλαϊνή όψη 1, παρατηρούμε το ίζημα και τα απολιθώματα, (2022) Κουβέλη Κωνσταντίνα.



Εικ. 18 Το απολίθωμα μέσα στο γεωλογικό υλικό, αρχική μορφή, πίσω όψη, βλέπουμε διάσπαρτα θραύσματα οστών, (2022) Κουβέλη Κωνσταντίνα.



Εικ. 19 Το απολίθωμα μέσα στο γεωλογικό υλικό, αρχική μορφή, πλαϊνή όψη 2, παρατηρούμε ότι τα απολιθώματα βρίσκονται σε διαφορετικά επίπεδα μέσα στο ίζημα, (2022) Κουβέλη Κωνσταντίνα.

Το αντικείμενο αφού φωτογραφήθηκε, το μετέφερα στο νοσοκομείο Ρέα για να πραγματοποιηθεί η αξονική τομογραφία του. Σε συνεννόηση με τον ακτινολόγο αποφασίστηκε η αξονική τομογραφία του ναεμπεριέχει τεχνικές σαν να επρόκειτο να εξεταστεί ανθρώπινο οστό, πνευμόνια και μαλακά μόρια. Ύστερα σε σχέση με τα αποτελέσματα της αξονικής πάρθηκε η απόφαση το αντικείμενο να εξεταστεί και με μια μαγνητική τομογραφία προκειμένου να έχουμε μια καλύτερη εικόνα,αφού αυτή η διαγνωστική απεικονιστική μέθοδος μπορεί να δώσει καθαρές εικόνες ακόμα και για σημεία που περιβάλλονται από συμπαγή οστά. Τέλος αποφασίστηκε να γίνει μια εξέταση XRD για να δούμε ακριβώς τα στοιχεία που περιείχε το γεωλογικό υλικό.

Μετά τα αποτελέσματα της διαγνωστικής ακτινολογίας αποφασίστηκε να προχωρήσουμε στο επόμενο βήμα, αυτό της διαδικασίας του καθαρισμού. Το γεωλογικό υλικό που περιείχε εγκιβωτισμένο το απολίθωμα ήταν μέτριας σκληρότητας, οπότε η διαδικασία του καθαρισμού ολοκληρώθηκε μόνο με μηχανικές μεθόδους (νυστέρια και μικροεργαλεία) και με τη χρήση νερού και ακετόνης.



Εικ. 21 Το αντικείμενο κατά τη διαδικασία του μηχανικού καθαρισμού. Παρατηρούμε το γεωλογικό υλικό να απομακρύνεται με το νυστέρι και ένα θραύσμα οστού, (2022), Κουβέλη Κωνσταντίνα.

Όταν οι επικαθήσεις αφαιρέθηκαν ανακαλύψαμε ότι δεν επρόκειτο μόνο για ένα απολίθωμα, αλλά για πολλά μικρά απολιθωμένα θραύσματα πιθανόν ζωικών οστών. Μετά τον καθαρισμό τα δείγματα στερεώθηκαν με διάλυμα 10% paraloidB72 διαλυμένο σε ακετόνη.



Εικ. 22 Τα θραύσματα που ήταν μέσα στο γεωλογικό υλικό, (2022), Κουβέλη Κωνσταντίνια.

Επειδή τα αντικείμενα ήταν αρκετά εύθραυστα, κατά τον μηχανικό καθαρισμό ρωγματώθηκαν με αποτέλεσμα να χρειάζονται συγκόλληση. Για την συγκόλληση χρησιμοποιήθηκε UHUhart.

Αφού τα θραύσματα καθαρίστηκαν έπρεπε να στερεωθούν πολύ καλά (στη περίπτωση μας με paraloid 10% σε ακετόνη) για να αποφευχθεί η απόσπαση κάποιου τμήματος τους.



Εικ. 23 Τα θραύσματα μετά τη συγκόλληση και στερέωση, (2022), Κουβέλη Κωνσταντίνια.

Όταν ολοκληρώθηκε η συντήρηση ακολούθησε η εξέταση του αντικειμένου για να μελετηθεί ο τρόπος που θα γίνει η κατασκευή του αρνητικού καλουπιού. Μετά από εξέταση επιλέχθηκε η κατασκευή του αρνητικού καλουπιού με λάστιχο σιλικόνης τύπου RTV³ και εξωτερικό περίβλημα (εσάρπα) από γύψο, κατασκευασμένο από δυο τμήματα για τους παρακάτω λόγους:

- Λόγω της γεωμετρίας του οστού
- Λόγω του ότι το αντικείμενο είναι ευαίσθητο
- Το αρνητικό καλούπι με λάστιχο σιλικόνης είναι πολύ υψηλής ακρίβειας
- Το συγκεκριμένο είδος καλουπιού μας δίνει τη δυνατότητα να παραχθούν θετικά αντίγραφα από μεγάλη ποικιλία υλικών (π.χ. γύψος καλλιτέχνη ή σκληρός, εποξικές ρητίνες, ακρυλικές ρητίνες, πολυεστέρα κ.τ.λ.)

Στην περίπτωση μας επιλέχθηκε να γίνει ένα αντίγραφο με σκληρό γύψο και ένα με ακρυλικές ρητίνες.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΛΟΥΠΙΟΥ

1. Τοποθέτηση του αντικειμένου πάνω σε πλαστελίνη και διαμόρφωση της πλαστελίνης για την οριοθέτηση του τμήματος που πρόκειται να κατασκευαστεί πρώτο.
2. Εν συνεχεία η εφαρμογή του λάστιχου σιλικόνης στο αντικείμενο.
3. Η διαμόρφωση του λάστιχου σιλικόνης σε σχέση με το σχήμα που επιθυμούμε για το αρνητικό καλούπι.
4. Μετά την πλήρη σταθεροποίηση του λάστιχου (περίπου μετά από 24 ώρες) ακολουθεί η κατασκευή του εξωτερικού σκληρού κελύφους από σκληρό λευκό γύψο.
5. Μετά τη σταθεροποίηση του γύψου ακολουθεί η αφαίρεση της πλαστελίνης που είχε τοποθετηθεί για την οριοθέτηση.
6. Ακολουθεί η μόνωση του λάστιχου σιλικόνης του πρώτου κομματιού με βαζελίνη προκειμένου να αποφευχθεί να κολλήσει το λάστιχο σιλικόνης του δεύτερου κομματιού με αυτό του πρώτου.
7. Ακολουθεί η εφαρμογή του λάστιχου σιλικόνης του δεύτερου τμήματος του αρνητικού καλουπιού.

³Η σιλικόνη RTV εφευρέθηκε το 1950 και είναι ένα από τα πιο σημαντικά υλικά που χρησιμοποιείται για την κατασκευή εύκαμπτων αρνητικών καλουπιών. Τα αντίγραφα που κατασκευάζονται με αυτό το υλικό είναι πολύ πιστά στο πρωτότυπο. Λόγω της εύκολης επεξεργασίας τους, της βραχυπρόθεσμης αντοχής σε θερμοκρασίες άνω των 350 °C και τις μικρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σχέση με άλλα υλικά, το λάστιχο σιλικόνης RTV έχει καθιερωθεί ως το κορυφαίο υλικό για την κατασκευή εύκαμπτων αρνητικών καλουπιών.

8. Μετά από 24 ώρες κατασκευάζουμε την εσάρπα.
9. Στο τέλος ανοίγεται το καλούπι, αφαιρείται το αντικείμενο και χυτεύεται το αντίγραφο.
10. Στο αντίγραφο της ακρυλικής ρητίνης βάλουμε τοπικά στο καλούπι χρώμα καθώς και ένα γενικό χρώμα στο υλικό. Οι χρωστικές είναι ανόργανες (σκόνη αιογραφίας). Το τελικό στάδιο χρωματισμού γίνεται όταν το αντίγραφο είναι έτοιμο με ακρυλικά χρώματα.



Εικ. 26 Βλέπουμε το πρώτο στάδιο κατασκευής όπου περιμετρικά του απολιθώματος παρατηρείται η πλαστελίνη, (2022), Κουβέλη Κωνσταντίνα.



Εικ. 27 Τα αρνητικά καλούπια σε δύο τμήματα. Αριστερά βλέπουμε το καλούπι της πίσω όψης με το πρωτότυπο αντικείμενο και δεξιά το καλούπι για την εμπρόσθια όψη. (2022), Κουβέλη Κωνσταντίνα.



Εικ. 28 Βλέπουμε το στάδιο μετά τη χύτευση του δεύτερου κομματιού της σιλικόνης και προτού χυτευθεί η δεύτερη εσάρπα (2022), Κουβέλη Κωνσταντίνα.

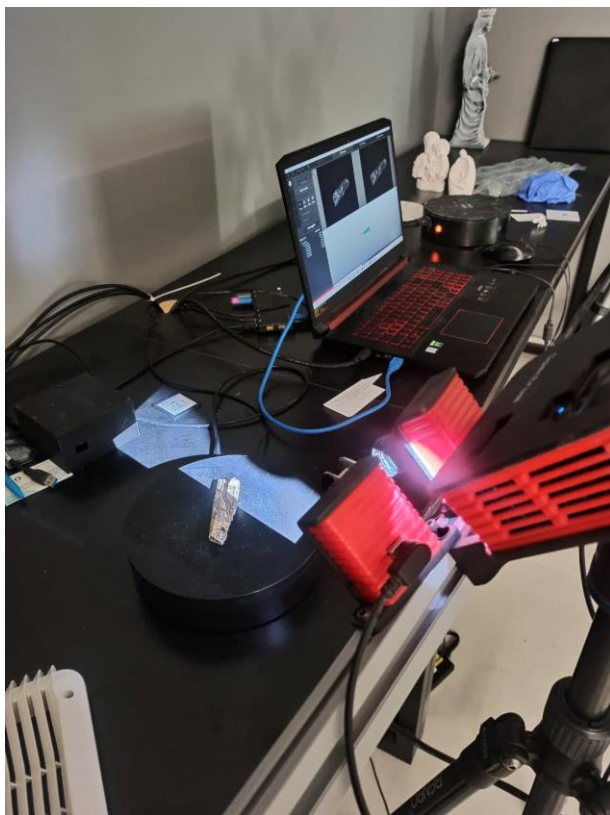


Εικ. 29 Παρατηρούμε τα δυο αρνητικά καλούπια με την εσάρπα μόνο του ενός. Έχουν τοποθετηθεί στηρίγματα (plexiglas και ξύλο κόντρα πλακέ) για να χυτευτεί και η δεύτερη εσάρπα (2022), Κουβέλη Κωνσταντίνα.



Εικ. 30 Τα αρνητικά καλούπια σε δύο τμήματα. Αριστερά βλέπουμε το καλούπι της πίσω όψης και δεξιά το καλούπι για την εμπρόσθια όψη. Παρατηρούμε και την εσάρπα του γύψου (2022), Κουβέλη Κωνσταντίνα.

Μετά την παραγωγή των δυο αντιγράφων (με ακρυλική ρητίνη και σκληρό γύψο) αποφασίστηκε να προχωρήσουμε στο αντίγραφο με τη τρισδιάστατη εκτύπωση. Το πρώτο στάδιο ψηφιοποίησης του αντικειμένου έγινε με το Range Vision Spectrum 3D Scanner. Η επιλογή αυτού του πολυμορφικού μηχανήματος έγινε γιατί μπορεί να καλύψει μικρά και μεγάλα αντικείμενα με πολύ μεγάλη ακρίβεια και λεπτομέρεια. Παρακάτω βλέπουμε εικόνες από τη διαδικασία.



Εικ. 35 Παρατηρούμε τη διαδικασία ψηφιοποίησης του απολιθώματος, (2022), Κουβέλη Κωνσταντίνα.



Εικ. 36 Το 3D scanner που χρησιμοποιήθηκε, (2022), Κουβέλη Κωνσταντίνα.

Η εκτύπωση του αντιγράφου έγινε με εκτυπωτή Phrozen Sonic 4K. Πρόκειται για έναν εκτυπωτή υψηλή ανάλυσης LCDSLA3D που χρησιμοποιεί τη μέθοδο της στερεολιθογραφίας.

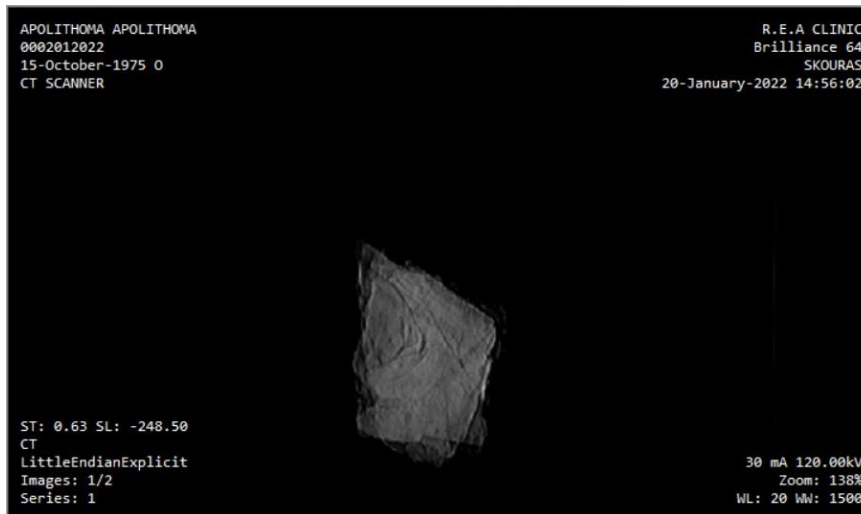
Η ρητίνη που χρησιμοποιήθηκε είναι η 4K Aqua-Grey της Phrozen καθώς έχει πολλά θετικά χαρακτηριστικά όπως το ομαλό φινίρισμα, την καλή συγκράτηση λεπτομερειών, χαμηλή συρρίκνωση, μεγάλη ακρίβεια και εύκολη επεξεργασία.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΛΟΓΙΑ

ΑΞΟΝΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

Η εξέταση έδειξε ότι και το απολιθωμένο οστό αλλά και το γεωλογικό υλικό στο οποίο εσωκλειόταν είχαν πολύ υψηλή πυκνότητα με αποτέλεσμα να μην είναι εφικτός ο διαχωρισμός τους αλλά ούτε και η τρισδιάστατη εικόνα του οστού. Το γεωλογικό υλικό δηλαδή στο οποίο βρισκόταν το απολίθωμα θα μπορούσε να ταυτιστεί με συμπαγές οστό σε σχέση με την υψηλή πυκνότητα του. Παρακάτω βλέπουμε την αξονική τομογραφία και βίντεο από τις εικόνες της στο σύνδεσμο: <https://screenrec.com/share/s8ygn4TUgJ>



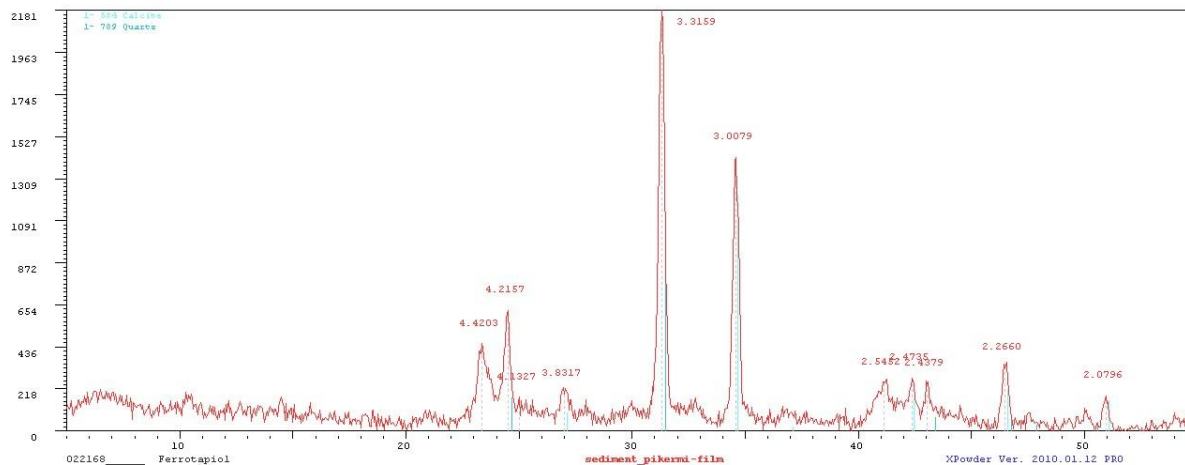
Εικ. 20 Αξονική του απολιθώματος, (2022), Κλινική ΡΕΑ.

ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

Κατά την εξέταση του αντικειμένου στον τομογράφο, δεν επιτράπηκε η έναρξη της διαδικασίας από τον ακτινολόγο, λόγω του ότι το απολίθωμα και κυρίως το γεωλογικό υλικό που το περιέβαλλε είχαν πολλά μεταλλικά στοιχεία και συγκεκριμένα σίδηρο. Αποφασίστηκε να γίνει μια εξέταση XRD για να δούμε τι στοιχεία περιείχε το γεωλογικό υλικό

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ XRD

Το xrd έδειξε ότι τα δυο κύρια ορυκτά στο ίζημα ήταν ο ασβεστίτης και ο χαλαζίας. Παρακάτω βλέπουμε και το διάγραμμα. Δεν φάνηκε κάποιο μεταλλικό στοιχείο.



ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ

Μετά το μηχανικό καθαρισμό και τη συγκόλληση των θραυσμάτων τα απολιθώματα που υπήρχαν μέσα στο γεωλογικό υλικό είναι τα παρακάτω.



Εικ.23 Τα απολιθωμένα θραύσματα μετά τη συγκόλληση τους, (2022), Κουβέλη Κωνσταντίνα.

Το αντικείμενο που επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή αντιγράφων είναι το παρακάτω.



Εικ. 24 Το απολίθωμα που θα χρησιμοποιηθεί για τη παραγωγή αντιγράφων μετά τον μηχανικό καθαρισμό, εμπρόσθια όψη (2022), Κουβέλη Κωνσταντίνα.



Εικ. 25 Το απολίθωμα που θα χρησιμοποιηθεί για τη παραγωγή αντιγράφων μετά τον μηχανικό καθαρισμό, πίσω όψη (2022), Κουβέλη Κωνσταντίνα.

ΑΝΤΙΓΡΑΦΟ ΜΕ ΛΑΣΤΙΧΟ ΣΙΛΙΚΟΝΗΣ

Μετά τη διαδικασία που περιγράφηκε στο κεφάλαιο «ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ» ολοκληρώθηκαν τα δυο αντίγραφα που έγιναν με καλούπι. Το επάνω είναι αυτό με το σκληρό γύψο και το κάτω πραγματοποιήθηκε με ακρυλική ρητίνη. Στις εικόνες μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι πιο πιστό σε λεπτομέρειες σε σχέση με το πρωτότυπο είναι το αντίγραφο με τη ρητίνη.



Εικ. 31 Παρατηρούμε τα δυο αντίγραφα στην εμπρόσθια τους όψη. Το πάνω είναι με σκληρό γύψο και το κάτω με ακρυλική ρητίνη, (2022), Κουβέλη Κωνσταντίνα.



Εικ. 32 Παρατηρούμε τα δυο αντίγραφα στην πίσω τους όψη. Ομοίως με πριν το πάνω είναι με σκληρό γύψο και το κάτω με ακρυλική ρητίνη, (2022), Κουβέλη Κωνσταντίνα.



Εικ. 33 Παρατηρούμε τα δυο αντίγραφα στην πρώτη πλάγια όψη. Πάλι το πάνω είναι με σκληρό γύψο και το κάτω με ακρυλική ρητίνη, (2022), Κουβέλη Κωνσταντίνια.



Εικ. 34 Παρατηρούμε τα δυο αντίγραφα στην δεύτερη πλάγια όψη. Πάντοτε το πάνω είναι με σκληρό γύψο και το κάτω με ακρυλική ρητίνη, (2022), Κουβέλη Κωνσταντίνια.

ΑΝΤΙΓΡΑΦΟ ΜΕ 3DPRINTING

Εδώ παρατηρούμε τις όψεις του αντιγράφου που πραγματοποιήθηκε με 3D printing. Μπορούμε να καταλήξουμε στο ότι το αντίγραφο είναι πολύ πιστό στο πρωτότυπο. Κατά την εκτύπωση οι ρωγμές, οι ακμές, και το σχήμα του αντικειμένου είναι στο απολίθωμα σε ικανοποιητικό βαθμό.



Εικ. 37 Παρατηρούμε το 3D αντίγραφο με ρητίνη. Εμπρόσθια όψη, (2022), Κουβέλη Κωνσταντίνα.



Εικ. 38 Παρατηρούμε το 3D αντίγραφο με ρητίνη. Πίσω όψη, (2022), Κουβέλη Κωνσταντίνα.



Εικ. 39 Παρατηρούμε το 3D αντίγραφο με ρητίνη. Πρώτη πλάγια όψη, (2022), Κουβέλη Κωνσταντίνα.



Εικ. 40 Παρατηρούμε το 3D αντίγραφο με ρητίνη. Δεύτερη πλάγια όψη, (2022), Κουβέλη Κωνσταντίνα.

	Αντίγραφο με τρισδιάστατη εκτύπωση	Αντίγραφο με λάστιχο σιλικόνης	Αντίγραφο με γύψο
Κόστος	Αυξημένο	Οικονομικό	Οικονομικό
Φθορές των απολιθωμάτων	Όχι	Ναι	Ναι
Φθορές / χρόνος ζωής των αντιγράφων	Μεγαλύτερος χρόνος ζωής	Μικρότερος χρόνος ζωής	Μικρότερος χρόνος ζωής
Κόπος	Λίγος	Πολύς	Πολύς
Χρόνος	Ναι	Ναι	Ναι
Πιστότητα των αντιγράφων	Λιγότερο ακριβής	Περισσότερο ακριβής	Λιγότερο ακριβής

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ο σκοπός που έχουν δημιουργηθεί τα αντίγραφα.

Στην περίπτωση που ο σκοπός είναι ερευνητικός – επιστημονικός, τα αντίγραφα θα χρησιμοποιηθούν από επιστήμονες για ερευνητική μελέτη, από φοιτητές για εκπαιδευτικούς λόγους και ούτω καθεξής. Είναι σκόπιμο λοιπόν τα αντίγραφα να είναι πολύ ακριβή και πιστά στο πρωτότυπο, αφού η μελέτη των επιστημόνων βασίζεται πολύ στη λεπτομέρεια και είναι σημαντικό οι μετρήσεις και οι συγκρίσεις των δειγμάτων να μην είναι παραπλανητικές. Τα αντίγραφα προτιμάται να είναι οικονομικά σε κόστος επειδή με τη συχνή ανθρώπινη επαφή, όσο προσεκτικά κι αν γίνεται, είναι βέβαιο ότι θα επέλθει η φθορά τους.

Εφόσον λοιπόν θέλουμε να παράξουμε αντίγραφα για ερευνητικούς ή επιστημονικούς λόγους και λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι ο γύψος υπόκειται πιο εύκολα σε φθορές, η καλύτερη επιλογή είναι η παραγωγή με καλούπι και συγκεκριμένα με καλούπι από ρητίνη.

Οι λόγοι είναι ότι τα αντίγραφα αυτά είναι πιο κοντά στο πρωτότυπο, ότι παράγονται με σχετικά χαμηλό κόστος και ότι από ένα καλούπι μπορούν εύκολα και γρήγορα να

παραχθούν πολλά αντίγραφα. Το βασικό μειονέκτημα της παραγωγής αντιγράφων με καλούπι είναι ότι κάθε καλούπι έχει έναν μικρό χρόνο ζωής σχετικά με τα αντίστοιχα «καλούπια» του 3D printing που εν προκειμένω είναι το αρχείο του σκαναρίσματος το οποίο είναι ηλεκτρονικό, δεν φθείρεται και, σημαντικότερο όλων, δεν φθείρει το αντικείμενο κάθε φορά που δημιουργείται. Ένα ακόμη μειονέκτημα είναι ότι η διαδικασία της παραγωγής καλουπιών είναι χρονοβόρα και κοπιώδης για τον συντηρητή.

Στην περίπτωση που ο σκοπός δημιουργίας του αντιγράφου είναι η έκθεση του σε μουσειακό περιβάλλον ή για αρχειακούς λόγους, οι στόχοι που θέλουμε να επιτεύξουμε αλλάζουν. Αυτό που μας ενδιαφέρει είναι το αντίγραφο να είναι πιστό στο πρωτότυπο αλλά όχι στον ίδιο βαθμό με προηγούμενους. Οι επισκέπτες πρόκειται να παρατηρούν το έκθεμα από κάποια απόσταση (συνήθως περίπου στο ένα μέτρο) οπότε δεν τους ενδιαφέρουν οι λεπτομέρειες που παρατηρούνται μόνο από μερικά εκατοστά μακριά. Μας ενδιαφέρει το χρώμα του αντικειμένου να είναι ρεαλιστικό και το υλικό να μην φθείρεται γρήγορα. Σ' αυτήν την περίπτωση, η πιο καλή επιλογή είναι η δημιουργία αντιγράφου με 3D printing. Με τη μέθοδο αυτήν το πρωτότυπο απολιθωμά δεν υποβάλλεται σε φθορές και δεν κινδυνεύει να μείνουν υπολείμματα των υλικών που χρησιμοποιηθούν για τη χύτευση του. Οποιαδήποτε στιγμή μπορεί να παραχθεί καινούργιο αντίγραφο (ακόμα και μετά από χρόνια, κάτι που είναι αδύνατον με τη τεχνική του καλουπιού). Η τεχνική αυτή είναι πιο ακριβή⁴ αν πρόκειται να αγοραστεί ο εξοπλισμός (σαρωτές, εκτυπωτές κ.λπ.) από το μουσείο ή τον χώρο του εργαστηρίου με σκοπό να παραχθούν μαζικά αντίγραφα, αλλά για την περίπτωση που θέλουμε μόνο ένα αντίγραφο υπάρχει η δυνατότητα ανάθεσης της παραγωγής του αντιγράφου σε εξειδικευμένη εταιρεία που έχει όλο τον υλικοτεχνικό εξοπλισμό και το κόστος είναι πιο κοντά στο κόστος της άλλης μεθόδου. Επίσης, με τη διαδικασία 3D printing ο συντηρητής δεν υποβάλλεται σε κόπο και αναλώνει πολύτιμο χρόνο από άλλες ασχολίες. Άρα η τρισδιάστατη εκτύπωση αποδεικνύεται επικουρική στη δημιουργία αντιγράφων με στόχο την αρχειακή-μουσειακή έκθεση, φτάνει κανείς να μπορεί να αντιπαρέρθει το κόστος της.

Όσον αφορά όμως την απεικόνιση με αξονική και μαγνητική τομογραφία, αντικειμενικά δεν απέφερε τις παρατηρήσεις που χρειαζόταν προκειμένου να δούμε το σχήμα του αντικειμένου και να το εκτυπώσουμε χωρίς να χρειαστεί να καθαρίσουμε με μηχανικό τρόπο το γεωλογικό υλικό. Επίσης ήταν αδύνατο να συμπεράνει κανείς ότι υπήρχε πλήθος μικρότερων απολιθωμάτων μέσα στο ίδιο αντικείμενο, κάτι που μόνο μετά τη μηχανική

4

Ο εκτυπωτής Sonic 4Κτης Phrozen κοστίζει 1.799,00 ευρώ. Ο σαρωτής Range Vision Spectrum κοστίζει από 5.749,00 έως και 6.749,00 ευρώ. Και τέλος η ρητίνη 4KAqua-Grayτης Phrozen κοστίζει 69,90 ευρώ το κιλό. Η ακρυλική ρητίνη για το αντίγραφο με το καλούπι κοστίζει περίπου 3,00 ευρώ και συνολικά όλα τα υλικά δεν κοστίζουν παραπάνω από 50,00 ευρώ.

απομάκρυνση των γεωλογικών καταλοίπων τελικά αποκαλύφθηκε. Άρα ο καθαρισμός των απολιθωμάτων με τις τεχνικές συντήρησης δεν μπορεί ακόμη να αντικατασταθεί από

μηχανήματα με τους περιορισμούς της τεχνολογίας του σήμερα.



Εικ. 41 Παρατηρούμε το αντίγραφο με ακρυλική ρητίνη από καλούπι καθώς και το 3D αντίγραφο με ρητίνη. Εμπρός όψη, (2022), Κουβέλη Κωνσταντίνα.



Εικ. 42 Παρατηρούμε το αντίγραφο με ακρυλική ρητίνη από καλούπι καθώς και το 3D αντίγραφο με ρητίνη. Πίσω όψη, (2022), Κουβέλη Κωνσταντίνα.



Εικ. 43 Παρατηρούμε το αντίγραφο με ακρυλική ρητίνη από καλούπι καθώς και το 3D αντίγραφο με ρητίνη. Πρώτη πλάγια όψη, (2022), Κουβέλη Κωνσταντίνια.



Εικ. 44 Παρατηρούμε το αντίγραφο με ακρυλική ρητίνη από καλούπι καθώς και το 3D αντίγραφο με ρητίνη. Δεύτερη πλάγια όψη, (2022), Κουβέλη Κωνσταντίνια.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Ο πρωταρχικός σκοπός της ερευνητικής αυτής πτυχιακής άλλαξε εφόσον δεν μπορέσαμε να έχουμε ξεκάθαρη εικόνα από το απολίθωμα που ήταν εγκιβωτισμένο στο γεωλογικό του υλικό κατά την αξονική του. Αυτό ευθυνόταν στην υψηλή πυκνότητα που διακατείχε το απολίθωμα καθώς και το ίζημα του με αποτέλεσμα να μην είναι εφικτός ο διαχωρισμός τους αλλά ούτε και η τρισδιάστατη εικόνα του οστού. Λόγω λάθος εκτίμηση του ακτινολόγου ότι το αντικείμενο είχε μεταλλικά στοιχεία, δεν επιτράπηκε η είσοδος στο μαγνητικό τομογράφο. Αποφασίστηκε να αλλάξει ο ερευνητική στόχευση στην εργασία προτού γίνει το χrdκαι διαγνώσουμε ότι το αντικείμενο αποτελείται μόνο από ορυκτά. Ο νέος σκοπός ήταν η εμπειριστατωμένη σύγκριση των διαφορετικών μεθόδων δημιουργίας των τριών αντιγράφων (αντίγραφο με τρισδιάστατη εκτύπωση, αντίγραφο με λάστιχο σιλικόνης και αντίγραφο με γύψο). Βασίσαμε την έρευνα πάνω στους πιο σημαντικούς παράγοντες ώστε να έχουμε τη πιο ξεκάθαρη εικόνα για το ποια μέθοδο θα χρησιμοποιήσουμε (κόστος, φθορές των απολιθωμάτων κατά τη διαδικασία αντιγραφής, φθορές των ίδιων των αντιγράφων και χρόνος ζωής, κόπος για τη παραγωγή τους, κόστος καθώς και πιστότητα) ανάλογα σε τη περίπτωση που θα τα χρειαστούμε. Για τη περίπτωση χρειάζεται να παράξουμε αντίγραφα για ερευνητικούς ή επιστημονικούς λόγους η καλύτερη επιλογή είναι η παραγωγή με καλούπι και συγκεκριμένα με καλούπι από ρητίνη. Στην περίπτωση που ο σκοπός δημιουργίας του αντιγράφου είναι η έκθεση του σε μουσειακό περιβάλλον ή για αρχειακούς λόγους η πιο σωστή επιλογή είναι η δημιουργία αντιγράφου με τρισδιάστατη εκτύπωση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γεωργακόπουλος Τ. (2015), Κανόνες υγιεινής και ασφάλειας στους χώρους μαγνητικού τομογράφου, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Σχολή Επιστημών Υγείας, Τμήμα Ιατρικής. Διαθέσιμος στο:https://repo.lib.duth.gr/jspui/bitstream/123456789/12084/1/GeorgakopoulosT_2015.pdf
2. Γιωτάκος Ι. Παναγιώτης (2014), ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗ ΝΕΥΡΟΕΠΙΣΤΗΜΗ ΜΙΑΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Παιδαγωγικό τμήμα δημοτικής εκπαίδευσης.
3. Εικονικό Ακαδημαϊκό Φεστιβάλ παλαιοζωολογίας (2020), Ακαδημία Φυσικών Επιστημών Πανεπιστήμιο Ντρέξελ. Διαθέσιμο στο:
<https://ansp.org/~media/Files/ans/programs/paleopalooza-2020/How%20to%20identify%20if%20you%20have%20a%20fossil.ashx?la=en>
4. Κωστόπουλος Δ., Κουφός, Γ.(2015), Η εξέλιξη του έμβριου κόσμου: χορδωτά. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, Κεφ. 1, σελ.1-29. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net>
5. Όξενκιουν – Πετροπούλου Μ. (2012), Φυσικές Μέθοδοι Ανάλυσης-Φασματομετρικές Μέθοδοι, Εκδόσεις Συμμετρία.
6. Cook J., Ward C. (2008), Conservation assessment of the Neanderthal human remains from Krapina, Croatia and its implications for the debate on the display and loan of human fossils, *THE BRITISH MUSEUM Technical Research Bulletin*, Vol.2, P.39-44
7. Gibson L., Rosen D., Stucker B. (2017), Τεχνολογίες προσθετικής κατασκευής – Τρισδιάστατη εκτύπωση, ταχεία πρωτοτυποποίηση και άμεση ψηφιακή κατασκευή, εκδόσεις Κριτική, Αθήνα.
8. Judith R. Tate, Christopher E. Cann (1982), High-resolution computed tomography for the comparative study of fossil and extant bone, *American Journal of Physical Anthropology*, Vol. 58, I.1, P. 67-70.
9. Kollmann G.(2000), The Fine Art of Molding: Flexible Molds of RTV-2 Silicone Rubber, chapter 113, WILEY-VCH Verlag GmbH.
10. López-Polín L., Ollé A., Cáceres I., Carbonell E., Bermúdez de Castro J. (2008), Pleistocene human remains and conservation treatments: the case of a mandible from Atapuerca (Spain), *Journal of Human Evolution*, Vol. 54, I.5, P. 539-545. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2007.07.011>
11. López-Polín L. (2012), Possible interferences of some conservation treatments with subsequent studies on fossil bones: A conservator's overview, *Quaternary International*, Vol. 275, I.10, P. 120-127. Διαθέσιμο στο:
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.07.039>
12. Mallison H. (2011), *Computational Paleontology*, Ch. 2, P.7-44, Springer

13. Mitsopoulou V., Michailidis D., Theodorou E., et al. (2015), Digitizing, modelling and 3D printing of skeletal digital models of *Palaeoloxodon tiliensis* (Tilos, Dodecanese, Greece, Elsevier Ltd and INQU).
14. Lussu P., Marini E. (2020), Ultraclose-rangedigitalphotogrammetryinskeletalanthropology:A systematic review, University of Cagliari, Italy