



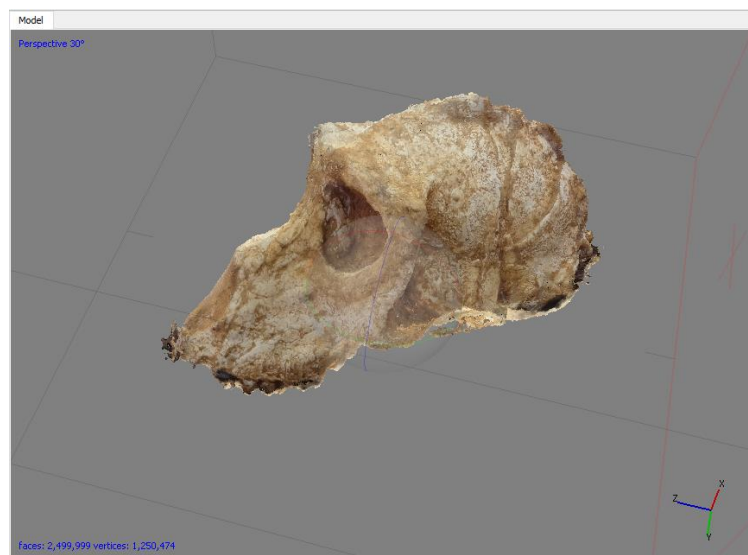
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΑΛΑΙΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ Μ. ΤΣΑΤΣΑΛΗΣ

ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ, ΨΗΦΙΑΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΚΡΑΝΙΟΥ
DFN3 - 150 ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ AGISOFT PHOTOSCAN

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2020





ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ Μ. ΤΣΑΤΣΑΛΗΣ
Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ : 5479

ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ, ΨΗΦΙΑΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΚΡΑΝΙΟΥ DFN3 - 150
ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ AGISOFT
PHOTOSCAN

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας,
Εργαστήριο Γεωλογίας και Παλαιοντολογίας

Επιβλέπων

Κωστόπουλος Δημήτριος



© Ευάγγελος Μ. Τσατσαλής, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Γεωλογίας και Παλαιοντολογίας, 2020
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ, ΨΗΦΙΑΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΚΡΑΝΙΟΥ DFN3 - 150
ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ AGISOFT
PHOTOSCAN - *Διπλωματική εργασία*

© Evangelos M. Tsatsalis, School of Geology, Dept. of Geology and Paleontology,
2020
All rights reserved.

THREE - DIMENSIONAL, DIGITAL RECONSTRUCTION OF THE DFN3 - 150
SKULL USING THE PHOTOGRAMMETRY PROGRAM AGISOFT PHOTOSCAN
- *Bachelor Thesis*

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Προλογικό σημείωμα	6
--------------------	---

Κεφάλαιο 1^ο : Βασικές γνώσεις και σημαντικά χαρακτηριστικά

1.1 Εισαγωγή	7
1.2 Υπεροικογένεια Κερκοπιθηκοειδών (Cercopithecoidea): Φυλογένεση, ανατομία και αρχείο απολιθωμάτων	7
1.3 Η τοπογραφία και στρωματογραφία της περιοχής του Δαφνερού	10
1.4 Κρανίο DFN3 - 150	12

Κεφάλαιο 2^ο : Υπολογιστική παλαιοντολογία - φωτογραμμετρία

2.1 Εισαγωγή	14
2.2 Μέθοδοι υπολογιστικής παλαιοντολογίας	15
2.3 Οφέλη υπολογιστικής παλαιοντολογίας	17

Κεφάλαιο 3^ο : Τρισδιάστατη αναπαράσταση του δείγματος DFN3 - 150 μέσω του Agisoft Photoscan

3.1 Εισαγωγή	20
3.2 Στάδιο 1 ^ο : Φωτογραφίζοντας το δείγμα	20
3.3 Στάδιο 2 ^ο : Πίνακες και ευθυγράμμιση (Alignment)	22
3.4 Στάδιο 3 ^ο : Δημιουργία σύννεφου πυκνότητας σημείων (Dense point cloud)	25
3.5 Στάδιο 4 ^ο : Τελική εικόνα 3D μοντέλου (Mesh) και συνδυασμός πινάκων (Merge chunks)	27
3.6 Στάδιο 5 ^ο : Κλίμακα και μετρήσεις (Scaling the model)	29
3.7 Στάδιο 6 ^ο : Build Texture και εξαγωγή του αρχείου	32

Συμπεράσματα	35
--------------	----

Περίληψη	36
----------	----

Abstract	37
----------	----

Βιβλιογραφία	39
--------------	----



ΠΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

Ο κύριος σκοπός αυτής της διπλωματικής ήταν, όπως αναφέρει και ο τίτλος, η δημιουργία ενός ψηφιακού 3D μοντέλου του δείγματος DFN3 - 150 μέσω ενός προγράμματος φωτογραμμετρίας, του Agisoft Photoscan. Επιπλέον και με την προϋπόθεση της επιτυχούς ολοκλήρωσης αυτού, διερευνήθηκε το κατά πόσο ήταν αξιόπιστο το πρόγραμμα στο να παράγει έμπιστες μετρήσεις αποστάσεων στη κλίμακα του δείγματος. Πραγματοποιήθηκαν διάφορες δοκιμές όπου παρέχονταν στο πρόγραμμα σταδιακά όλο και περισσότερες μετρήσεις ως δεδομένες και τέλος του ζητήθηκε να παράγει δύο άγνωστες μετρήσεις, μία για την οποία υπάρχουν πραγματικά στοιχεία για σύγκριση και μία για την οποία δεν υπάρχουν. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον είχε τόσο η εκμάθηση της διαδικασίας δημιουργίας του τρισδιάστατου αρχείου, όσο και η εκτίμηση της αξίας του σε ερευνητικό επίπεδο.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία προσπάθεια εισαγωγής στον κόσμο των Κερκοπιθηκοειδών και της περίπλοκης φυλογένεσής τους, καθώς επίσης και της γεωγραφικής τους εξάπλωσης από το Μειόκαινο κι έπειτα. Στη συνέχεια ακολουθεί η ανάλυση τόσο των χαρακτηριστικών της περιοχής του Δαφνερού, όσο και αυτών του κρανίου DFN3 - 150. Ενδιαφέρον εδώ παρουσιάζουν οι ιδιαιτερότητες των θέσεων ανασκαφών και η αξία τους, καθώς επίσης και η μοναδικότητα του ευρήματος και η επίδραση που αυτό έχει, εν δυνάμει, στην κατανόηση της εξέλιξης της οικογένειας στην Ευρασία. Περνώντας στο δεύτερο κεφάλαιο, παρουσιάζονται οι σημαντικότερες μέθοδοι υπολογιστικής παλαιοντολογίας και αυτές που συναντώνται περισσότερο στη διεθνή βιβλιογραφία, ενώ παράλληλα γίνεται και μία σύγκριση των μεταξύ τους πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων. Το κεφάλαιο κλείνει με τα οφέλη που έχει αυτή η ψηφιακή επανάσταση στο χώρο της παλαιοντολογίας.

Το τρίτο και τελευταίο κεφάλαιο είναι το κύριο σώμα αυτής της διπλωματικής εργασίας και περιλαμβάνει τη διαδικασία, βήμα - βήμα, της δημιουργίας του τρισδιάστατου μοντέλου του δείγματος DFN3 - 150. Γίνεται μία άκρως λεπτομερής ανάλυση της μεθόδου και των πιθανών λαθών και προβλημάτων που ίσως αντιμετωπίσει όποιος επιλέξει να χρησιμοποιήσει γι' αυτό το σκοπό το πρόγραμμα, ενώ τέλος παρουσιάζονται τα πορίσματα των δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν στο περιβάλλον του προγράμματος. Σε όλη την έκταση του κεφαλαίου τονίζεται η αναγκαιότητα του να παρέχει ο χρήστης δεδομένα καλής ποιότητας στο πρόγραμμα, καθώς αυτό παίζει και το μεγαλύτερο ρόλο στην ποιότητα των τελικών αποτελεσμάτων.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον Δημήτρη Κωστόπουλο, καθηγητή του τμήματος Γεωλογίας, ο οποίος όχι μόνο μου έδωσε την ευκαιρία να καταπιαστώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα, σεβόμενος τους στόχους και τις φιλοδοξίες μου, αλλά και χάρη σε αυτόν ήρθα πρώτη φορά σε επαφή με πραγματική παλαιοντολογική ανασκαφή. Τον ευχαριστώ για τις πολύτιμες συμβουλές και την καθοδήγησή του. Επιπλέον θέλω να ευχαριστήσω την καθηγήτρια του τμήματος Γεωλογίας Ευαγγελία Τσουκαλά, η οποία μου έδωσε πολλές ευκαιρίες να ασχοληθώ περεταίρω με την παλαιοντολογία καθόλη τη διάρκεια των προπτυχιακών μου σπουδών, ανταμείβοντας το ενδιαφέρον που έδειχνα για τον κλάδο. Κλείνοντας, ευχαριστώ ιδιαίτερω την φίλη μου και συμφοιτήτρια Ιωάννα Τσιουρλίνη για την ανιδιοτέλειά της και το ακούραστο πνεύμα της.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

ΒΑΣΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ ΚΑΙ

1.1 Εισαγωγή

Οι απολιθωματοφόρες θέσεις του Δαφνερού βρίσκονται κοντά στο ομώνυμο χωριό της Κοζάνης στη βόρεια Ελλάδα και σε απόσταση 128 χιλιομέτρων από τη Θεσσαλονίκη προς τα νοτιοδυτικά. Η πρώτη θέση (DFN1) ανακαλύφθηκε το 1990, ενώ οι εργασίες ανασκαφής κράτησαν μέχρι το 1994, φέρνοντας στο φως πολυάριθμα απολιθώματα του Κάτω Πλειστοκαίνου όπως: άλογα, βοοειδή, ελαφίδες, αρκούδες, ύαινες και καμηλοπαρδάλεις (Koufos et al. 1991). Το 2010 η συνεργασία μεταξύ του Εργαστηρίου Γεωλογίας και Παλαιοντολογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και του Laboratoire Paléontologie Evolution Paléoécosystèmes Paléoprimatologie Université de Poitiers France οδήγησε σε ένα νέο κύκλο ανασκαφών, κατά τις οποίες ανακαλύφθηκαν δύο ακόμα θέσεις (DFN2 και DFN3). Η τρίτη είναι εξαιρετικά υποσχόμενη και σε αυτή ανακαλύφθηκε το καλοκαίρι του 2014 το κρανίο της οικογένειας Κερκοπιθηκοειδών DFN3 - 150, το οποίο αποτελεί και το αντικείμενο αυτής της εργασίας.

1.2 Υπεροικογένεια Κερκοπιθηκοειδών (Cercopithecoidea): Φυλογένεση, ανατομία και αρχείο απολιθωμάτων

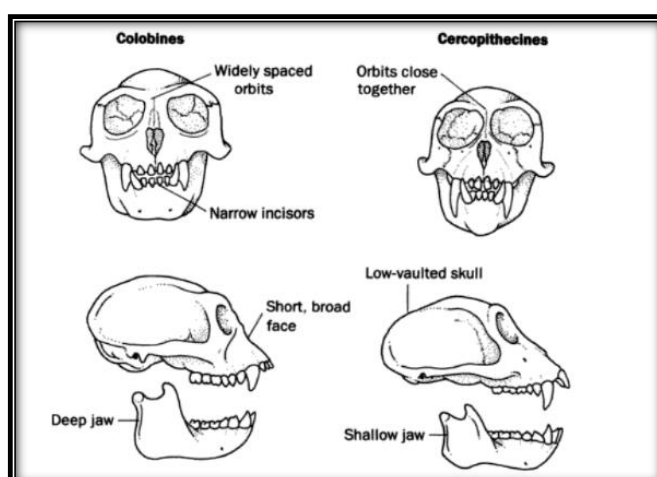
Η οικογένεια Κερκοπιθηκίδες (Cercopithecidae), στην οποία ανήκει το κρανίο DFN3 - 150 και τα μέλη της οποίας ονομάζονται και μαϊμούδες του Παλαιού Κόσμου (Old World Monkeys), είναι μία ομάδα πρωτεύοντων που ταξινομούνται στην υπεριοικογένεια των Κερκοπιθηκοειδών και στην οποία υπάγονται 133 είδη, κάνοντάς την έτσι τη μεγαλύτερη οικογένεια στα πρωτεύοντα (<https://animaldiversity.org/>). Οι μαϊμούδες του Παλαιού Κόσμου προέκυψαν από τους κατάρρινους της Αφρικής και αποκόπηκαν από αυτούς περίπου στα 25 - 35 Ma, ενώ φυλογενετικά είναι πιο κοντά στους Πιθήκους (Apes), παρά στις πλατύρρινες μαϊμούδες του Νέου Κόσμου (New World Monkeys). Στην οικογένεια ανήκουν είδη με ποικίλα χαρακτηριστικά, όπως για παράδειγμα, μερικά έχουν μακρόστενο ρύγχος, ενώ σε άλλα η μουσούδα είναι πιο επίπεδη. Επιπλέον τα περισσότερα διαθέτουν ουρά, η οποία όμως συνήθως δεν είναι συλληπτήρια. Τέλος, χωρίζονται σε δύο υποοικογένειες με ελάχιστες μεταξύ τους ανατομικές διαφορές, τις Κερκοπιθηκίνες (Cercopithecinae) και τις Κολομπίνες (Colobinae) και ενδεικτικά, μερικά γένη τα οποία υπάγονται σε αυτή την οικογένεια είναι : οι μακάκοι (*Macaca*), οι μπαμπούνοι (*Papio*), οι κερκοπίθηκοι (*Cercopithecus*) και οι μεσοπίθηκοι (*Mesopithecus*). (Frost 2017).

Παρόλο που τα Κερκοπιθηκοειδή (Οικογένεια Cercopithecidae) απουσιάζουν από τις σύγχρονες πανίδες θηλαστικών της Ευρώπης, ήταν εξαιρετικά διαδεδομένα στην ευρύτερη περιοχή κατά το Μειόκαινο - Πλειστόκαινο και έχουν αφήσει πλούσιο αρχείο απολιθωμάτων. Ειδικά κατά το Πλειόκαινο - Πλειστόκαινο, όποτε και στην Ευρώπη το κλίμα ήταν υγρό και ζεστό με πυκνά δάση, παρατηρείται μία αύξηση του πληθυσμού των μελών της οικογένειας, με παράλληλες και συνεχείς μεταναστεύσεις από την αφρικανική ήπειρο προς την Ευρασία (Davies & Oates 1994, Frost 2017). Αναφορικά, το γένος *Mesopithecus* της υποοικογένειας των Κολομπίνων είναι μοναδικό καθ' όλη τη διάρκεια του Τουρόλιου (8.7 - 5.3 Ma), αλλά στα χρόνια που ακολούθησαν συναντώνται πολλά περισσότερα γένη Cercopithecidae όπως οι

Dolichopithecus από τους Colobinae και οι *Macaca* και *Paradolichopithecus* από τους Cercopithecinae (Frost 2017). Μέχρι το τέλος του Πλειστοκαίνου παρ' όλα αυτά, το μοναδικό γένος που παρέμεινε ήταν αυτό των *Macaca*, αφού από τα 4Ma και για 2.5 εκατομμύρια χρόνια η βλάστηση λιγότενυε εξαιτίας της πτώσης της θερμοκρασίας σε παγκόσμιο επίπεδο. Γίνεται εύκολα αντιληπτό λοιπόν, ότι το εύρημα του κρανίου στο Δαφνερό είναι κλειδί στην κατανόηση της εξελικτικής πορείας της οικογένειας εκτός της Αφρικής. (Delson 1994, Kostopoulos et al. 2018). Όσο αφορά τώρα τις κρανιακές και οδοντικές διαφορές των δύο υποοικογενειών (Κολομπίνες - Κερκοπιθηκίνες), αυτές συνοψίζονται χοντρικά στον Πίν. 1 και το Σχ. 1 :

Πίνακας 1. : Συγκριτικά κρανιακά και οδοντικά χαρακτηριστικά των Κολομπίνων και των Κερκοπιθηκίνων. (δεδομένα από Κωστόπουλος & Κουφός 2015, Davies & Oates 1994).

	<i>Κολομπίνες</i>	<i>Κερκοπιθηκίνες</i>
Κρανιακά χαρακτηριστικά	Μεγαλύτερη οφθαλμική απόσταση και μικρό ρύγχος.	Μικρότερη οφθαλμική απόσταση και μεγάλο ρύγχος.
Μορφολογία δοντιών	Ψηλά και μυτερά φύματα γομφίων που ενώνονται με ψηλές κορυφές και χωρίζονται με βαθιές πλευρικές εγκοπές. Οι κοπτήρες είναι πιο στενοί από Κερκοπιθηκίνες παρομοίου μεγέθους και οι κάτω κοπτήρες είναι εντελώς επενδυμένοι από αδαμαντίνη.	Χαμηλά και στρογγυλά φύματα γομφίων. Οι κάτω κοπτήρες δεν είναι επενδυμένοι από αδαμαντίνη, κάτι που βοηθά στο τεμάχισμα και άνοιγμα των φρούτων.



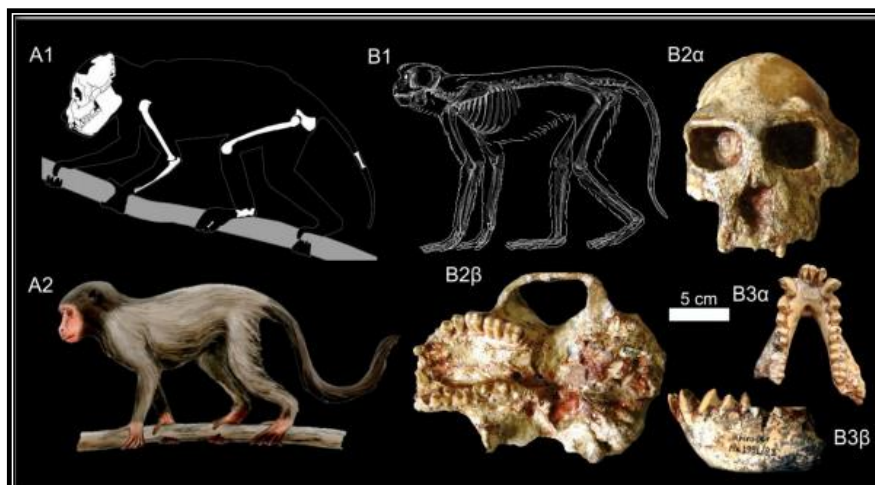
Σχήμα 1. : Σχηματική αναπαράσταση και σύγκριση των ανατομικών χαρακτηριστικών του κρανίου των Colobinae (αριστερά) και Cercopithecinae (δεξιά). (Davies & Oates. 1994).

Το παλαιότερο γνωστό απολίθωμα είναι από την Κένυα και χρονολογείται περίπου στα 12.5 Ma. Με βάση τα μέχρι τώρα δεδομένα οι Cercopithecidae βρίσκονταν

αποκλειστικά στην Αφρική μέχρι τα 9 Ma, ενώ περίπου στα 7 - 8 Ma αυξάνεται όχι μόνο ο αριθμός των μελών της οικογένειας, αλλά και η ποικιλομορφία αυτής (Frost 2017). Είναι επίσης η πρώτη φορά που η υποοικογένεια Cercopithecinae απαντάται στην ανατολική και βόρεια Αφρική, αντικαθιστώντας σταδιακά τους πιθήκους, ως το κυριότερο ανθρωπόμορφο πρωτεύον. Αξίζει να αναφερθεί ότι κατά το Πλειό - Πλειστόκαινο, οι Colobinae αντιπροσωπεύονταν από 5 γένη τα οποία πλέον έχουν εκλείψει, ενώ πρωτόγονες μορφές *Parapario* που έμοιαζαν με μπαμπούνους είναι γνωστές από το Πλειόκαινο της δυτικής Αφρικής ενώ στη συνέχεια και αυτές θα αντικατασταθούν από το σύγχρονο γένος *Pario* και θα κυριαρχήσουν στην περιοχή (Frost 2017).

Το πρώτο απολιθώμα μαϊμούς Παλαιού Κόσμου που ανακαλύφθηκε αυτή τη φορά εκτός Αφρικής είναι ο Κολομπίνας *Mesopithecus* (Σχ. 2) και φυσικά δεν ήταν το τελευταίο. Απολιθώματά του έχουν βρεθεί σε Ευρώπη και Ασία και χρονολογούνται από 9 μέχρι και 3.4 Ma. Αναφορικά, ο ευρωπαϊκός *Dolichopithecus* έφτανε στα αρσενικά τα 25 και στα θηλυκά τα 15 kg, ενώ περνούσε περισσότερο χρόνο στο έδαφος συγκριτικά με τον δενδρόβιο *Mesopithecus* και τους υπόλοιπους Κολομπίνες της εποχής (Frost 2017). Αυτό το χαρακτηριστικό το μοιραζόταν επίσης και με μερικούς από τους ήδη εξαφανισμένους Κολομπίνες της Αφρικής, ενώ επιπλέον παρατηρούνται μορφολογικές ομοιότητες αυτού, με τους μεγάλους Κολομπίνες της Ρωσίας, Μογγολίας και Ιαπωνίας (Frost 2017, Delson 1994).

Οι Cercopithecinae μετανάστευσαν εκτός Αφρικής μεταγενέστερα από τους Colobinae και απολιθώματά τους υπάρχουν σε Ιταλία και Ισπανία, ενώ χρονολογούνται περί τα 6 - 5 Ma. Φαίνεται να είναι μέλη του γένους *Macaca* και συγγενής του *Macaca sylvanus* που ζει σήμερα στη βόρεια Αφρική. Η πρώτη εμφάνιση Cercopithecinae στην Ασία έγινε κάπως αργότερα, με δείγματα στη Κίνα να χρονολογούνται στα 5 Ma και μερικά νεότερης ηλικίας ευρήματα στην Ινδία (Frost 2017). Απολιθώματα μακάκων του Πλειστοκαίνου βρίσκονται σε όλη την Ευρώπη, Β. Αφρική και Ασία. Οι τελευταίοι έζησαν στην Ευρώπη μέχρι περίπου τα 13.000 χρόνια πριν (Frost 2017). Τέλος, δύο μεγάλες σε μέγεθος Κερκοπιθηκίνες είναι επίσης γνωστές : Ο χερσαίος *Paradolichopithecus*, που είχε μέγεθος παρόμοιο με αυτό των μπαμπούνων και των μακάκων και απολιθώματά του βρέθηκαν σε Γαλλία, Ρουμανία και φυσικά Ελλάδα και χρονολογείται στα 2.1 - 1.8 Ma, και ο *Procynocephalus* που ήταν παρόμοιος σε μέγεθος και ηλικία, αλλά είναι γνωστός μόνο από απολιθώματα της Ασίας (Frost 2017, Delson 1994).



Σχήμα 2 : Σχέδιο σκελετού Κερκοπιθηκοειδούς (A1) και αναπαράσταση του ζώου εν ζωή (A2). Σκελετός του *Mesopithecus* (B1) και χαρακτηριστικά ευρήματα του γένους του Άνω Μειοκαίνου (B2α, B2β, B3α, B3β). (αναπαραγωγή από Κωστόπουλο & Κουφό 2015).

1.3 Η τοπογραφία και στρωματογραφία της περιοχής του Λαφνερού

Οι απολιθωματοφόρες θέσεις του Λαφνερού βρίσκονται 1km νοτιοδυτικά από το ομώνυμο χωρίο και νότια της Σιάτιστας Κοζάνης, στη βόρεια Ελλάδα (40° 10' 15.98N, 21° 33' 35.19E). Το ανάγλυφο της περιοχής είναι ορεινό με ένα σύμπλεγμα από ρέματα τα οποία καταλήγουν στον ποταμό Αλιάκμονα, ο οποίος ρέει με διεύθυνση από τα ΒΔ προς τα ΝΑ, όπως φαίνεται και στο Σχ. 3. Η ποτάμιας προέλευσης λιθοστρωματογραφική ενότητα που αποτελείται από κροκαλοπαγή, αμμοχάλικα και λεπτόκοκκες άμμους και στην οποία εντάσσεται ο απολιθωματοφόρος ορίζοντας, έχει πάχος 60m και καλύπτει ασύμφωνα τα μολασσικά ιζήματα του σχηματισμού Τσοτυλίου της Μεσοελληνικής Αύλακας. Οι θέσεις DFN1 και DFN3 (Σχ. 4) ανήκουν στον ίδιο απολιθωματοφόρο ορίζοντα, ο οποίος εκτίθεται στις πλαγιές ενός λόφου και αποτελείται από ιλυώδης άμμους στο χρώμα της ώχρας (Kostopoulos et al. 2018).



Σχήμα 3 : Στιγμιότυπο δορυφορικής εικόνας του Google Map Customizer, που παρουσιάζει τη γεωλογική εμφάνιση των απολιθωματοφόρων στρωμάτων, καθώς και τη γενική γεωλογία της περιοχής.



Σχήμα 4 : Φωτογραφία από την ανασκαφή του Δαφνερού, όπου φαίνονται οι λεπτόκοκκες άμμοι και το στρώμα των κροκαλοπαγών, Αύγουστος - Σεπτέμβριος 2019.

Τα απολιθώματα της θέσης DFN3, στην οποία ανήκει και το κρανίο DFN3 - 150, αποκαλύπτονται σε οχτώ διαδοχικούς φακούς. Οι παραμορφώσεις και καταπονήσεις των απολιθωμάτων, όπως σπασίματα ή χαλάρωση της συνοχής εξαιτίας της διαγένεσης, είναι συνταφικές ή μεταταφικές, κάτι που καθιστά την διατήρηση και συλλογή τους μια διαδικασία που απαιτεί χρόνο και ιδιαίτερη προσοχή. Το ίζημα είναι εξαιρετικά μαλακό, με αποχρώσεις του κίτρινου χρώματος και ξεχωρίζει με δυσκολία από τα απολιθώματα. Συχνά μάλιστα οι συναθροίσεις των απολιθωμάτων είναι τόσο πυκνές, που δυσκολεύουν την εκταφή τους από το φέρον ίζημα, όπως φαίνεται στο Σχ. 5, ενώ εάν η διαδικασία αυτή δεν πραγματοποιηθεί με προσεκτικά μελετημένες κινήσεις, κινδυνεύουν να διαλυθούν. Ακόμα, οι θέσεις εμφανίσεων των απολιθωματοφόρων φακών παρουσιάζουν δυσκολίες στην προσέγγισή, καθώς η πλαγιά είναι απότομη και στενή. Παρόλα τα προβλήματα των θέσεων όμως, παραμένει ένα εξαιρετικά πλούσιο και πολλά υποσχόμενο μέρος ανασκαφών, μοναδικού παλαιοντολογικού ενδιαφέροντος, κάτι που επιβεβαιώνεται από τα ίδια τα ευρήματα.



Σχήμα 5 : Φωτογραφία της θέσης DFN3 κατά την ανασκαφή Αυγούστου - Σεπτεμβρίου 2019, όπου φαίνονται μία πυκνή συνάθροιση απολιθωμάτων και το χρώμα του ιζήματος.

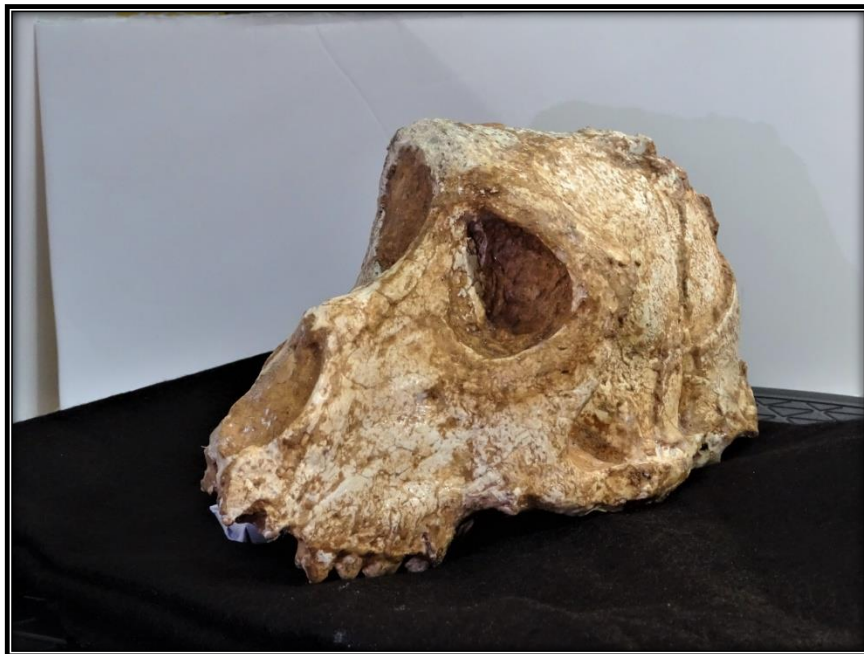
Η ηλικία των αποθέσεων προέκυψε από τα βιοχρονολογικά δεδομένα των απολιθωμάτων της θέσης DFN1, τα οποία συμπεριλαμβάνουν τόσο σαρκοφάγα (*Nyctereutes megamastoides*, *Chasmaporthetes lunensis* κ.ά) όσο και φυτοφάγα θηλαστικά (*Equus stenonis*, *Palaeotragus inexpectatus* κ.ά). Τα αρχικά ευρήματα της θέσης, φάνηκαν να έχουν πολλές ομοιότητες με άλλες πανίδες (Saint - Vallier, La Puebla, Olivola, Volax) κι έτσι έγινε μία πρώτη προσπάθεια χρονολόγησης της θέσης. Στη συνέχεια η χρονολόγηση αυτή έγινε πιο συγκεκριμένη από μερικά χαρακτηριστικά απολιθώματα όπως το *N. megamastoides*, το οποίο είναι ένα γνωστό μέλος της οικογένειας των κυνίδων που ζούσε στο Βιλαφράγκιο, αλλά και των ιππιδών που επίσης ήταν σχετικά εύκολο να χαρακτηριστούν. Καθώς οι ανασκαφές συνεχίστηκαν και καινούργιες θέσεις (DFN2, DFN3) με νέα ευρήματα ήρθαν στο φως, τα δεδομένα που παρείχαν υποδεικνύουν ως καταληκτική ηλικία τα 2.5 - 2 Ma. (Koufos et al. 1991, Kostopoulos et al. 2018).

1.4 Κρανίο DFN3 - 150

Το κρανίο DFN3 - 150 (Σχ. 6), αν και με εμφανή στοιχεία παραμόρφωσης, έχει μελετηθεί και περιγραφεί αναλυτικά από ερευνητές και τα πορίσματα παρουσιάζονται λεπτομερώς στην εργασία των Kostopoulos et al. (2018). Βασικά μορφολογικά χαρακτηριστικά τα οποία και συνέβαλαν στην ταξινόμηση του, είναι το στενόμακρο

πρόσωπο, τα στραμμένα προς τα έσω ζυγωματικά, η χαμηλή θέση του inion, η συγκριτικά μικρή χωρητικότητα του κρανιακού θόλου και τα μακρόστενα ρινικά οστά. Επιπλέον, τα οδοντικά χαρακτηριστικά έπαιξαν καθοριστικό ρόλο. Παρόλο που όλοι οι κοπτήρες και οι κυνόδοντες απουσιάζουν, οι προγόμφιοι και οι γομφίοι έδωσαν αρκετά στοιχεία για την κατάταξη του ζώου στην υποοικογένεια Cercopithecinae. Η μορφολογία μάλιστα των γομφίων (υψοδοντικοί) και των προγόμφιων (μεγάλος πρωτόκονος στον P3) είναι χαρακτηριστική της φυλής των Papionini. Επίσης, βασισμένοι στη μορφολογία του M3, το κρανίο φαίνεται να ανήκει σε άτομο προς την ενηλικίωση (περίπου 7 ετών), ενώ από το οδοντικό φατνίο του κυνόδοντα συμπεραίνεται ότι το DFN3 - 150 ανήκει σε άτομο θηλυκού γένους, ενώ σε συνδυασμό με άλλα στοιχεία, το βάρος του υπολογίστηκε περίπου στα 19.5 kg. (Kostopoulos et al. 2018)

Μέσω των στοιχείων που παρέχει γενικότερα τόσο η ανασκαφή όσο και το κρανίο αλλά και συγκρίσεις με άλλα δείγματα, οι ερευνητές κατατάσσουν το κρανίο με βεβαιότητα στα Κατωπλειστοκαινικά μέλη της φυλής των Papionini και πιο συγκεκριμένα στα γένη *Paradolichopithecus* ή *Procynocephalus*. Το κρανίο μοιάζει να παρουσιάζει περισσότερη εγγύτητα με το είδος *Paradolichopithecus arvernensis* λόγω τόσο του μεγέθους του, όσο και εξαιτίας της θέσης του inion αλλά και της απουσίας μεγάλων ρινικών ιγμόρειων άντρων. Τέλος, είναι αναγκαίο να αναφερθεί ότι λόγω της διαφορετικής γεωγραφικής εξάπλωσης των δύο γεννών (Ευρασιατικό και καθαρά Ασιατικό αντίστοιχα), αλλά κυρίως της σπανιότητας ευρημάτων και ανεπάρκειας του αρχείου απολιθωμάτων, το κρανίο DFN3 - 150 αποτελεί ένα μοναδικό και σημαντικό εύρημα, τόσο για την κατανόηση της γεωγραφικής εξάπλωσης των κερκοπιθηκοειδών, όσο και για την επιβεβαίωση ή αμφισβήτηση της πιθανής συνωνυμίας των δύο γενών (*Paradolichopithecus*, *Procynocephalus*).



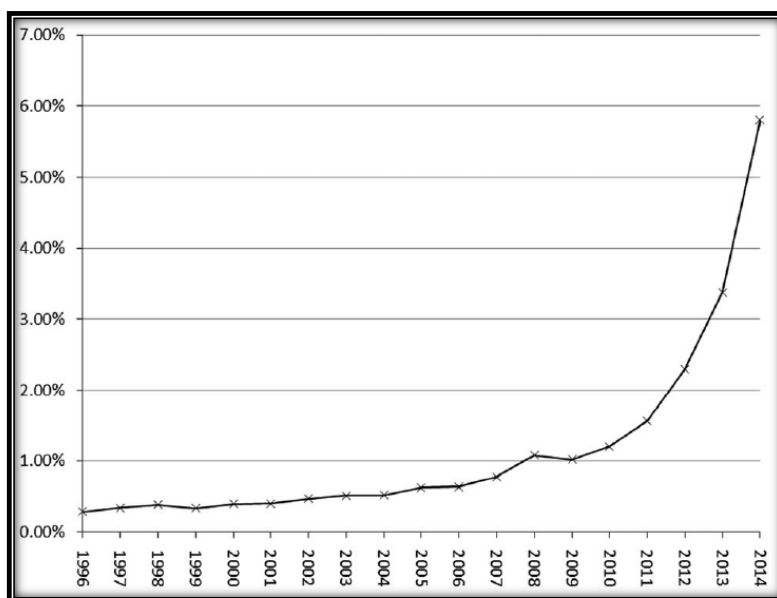
Σχήμα 6 : Εικόνα της πρόσθιο - πλευρικής όψης του κρανίου DFN3 - 150 κατά τη διάρκεια της φωτογράφισής του για τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΠΑΛΑΙΟΝΤΟΛΟΓΙΑ - ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ

2.1 Εισαγωγή

Με την ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας, ανακαλύφθηκαν και νέες μέθοδοι έρευνας οι οποίες δε θα μπορούσαν να αφήσουν την παλαιοντολογία ανεπηρέαστη. Συγκεκριμένα, οι νέες μέθοδοι οπτικοποίησης, ψηφιοποίησης και ανάλυσης απολιθωμάτων, έδωσαν νέα πνοή σε έναν επιστημονικό κλάδο, που από πολλούς θεωρείται άκρως συντηρητικός. Ταξονομικά μοντέλα, κλαδιστικές αναλύσεις και παλαιοπεριβαλλοντικές μελέτες γίνονται πλέον σχεδόν αποκλειστικά με τη χρήση υπολογιστών και ειδικών προγραμμάτων. Η αποκαλούμενη όμως επανάσταση της ψηφιακής παλαιοντολογίας, συνέβη χάρη στη τομογραφία και τη φωτογραφία υψηλής ανάλυσης (Sutton et al. 2015).

Η επανάσταση αυτή περιλαμβάνει τόσο τομογραφικές, όσο και φωτογραφικές μεθόδους, μερικές εκ των οποίων θα παρουσιαστούν παρακάτω. Τα οφέλη είναι προφανή και πολυάριθμα, ενώ έχουν οδηγήσει σ' έναν εκσυγχρονισμό της επιστήμης, με ανακαλύψεις και διαπιστώσεις που ειδάλλως θα ήταν αδύνατες. Σε αυτό το κεφάλαιο αρχικά θα παρουσιαστούν οι βασικότερες μέθοδοι υπολογιστικής παλαιοντολογίας με λίγα λόγια για την κάθε μία, ενώ στη συνέχεια θα δοθεί μεγαλύτερη βάση στη φωτογραμμετρία. Τέλος θα αναλυθούν τα οφέλη τόσο των υπόλοιπων μεθόδων, όσο και της φωτογραμμετρίας με μεταξύ τους σύγκριση. (Cunningham et al. 2014)



Σχήμα 7 : Γραφική παράσταση που μαρτυρά την κατακόρυφη αύξηση στη χρήση τομογραφικών μεθόδων στη παλαιοντολογία, ειδικά στα έτη από το 2010 κι έπειτα. Ο υπολογισμός πραγματοποιήθηκε με την καταμέτρηση των εμφανίσεων της λέξης "τομογραφία" σε δημοσιεύσεις που περιέχουν τη λέξη "απολιθώμα". Ο άξονας y (κάθετος) αναπαριστά τη συχνότητα σε ποσοστό % εμφάνισης της φράσης "τομογραφία απολιθώματος" σε σύγκριση με τη λέξη "απολιθώμα" στις παλαιοντολογικές δημοσιεύσεις (αναπαραγωγή από Sutton et al. 2017).

2.2 Μέθοδοι Υπολογιστικής Παλαιοντολογίας

- CT Scanning (Τομογραφία ακτινών Röntgen) :

Ίσως η πιο πολυχρησιμοποιημένη μέθοδος μη καταστροφικής τομογραφίας. Χρησιμοποιούνται μήκη κύματος μεταξύ 10 - 0.01nm τα οποία σκανάρουν το δείγμα, ώστε να αποκαλυφθεί η εσωτερική του δομή. Υποβάλλεται δηλαδή το απολίθωμα σε ραδιογραφίες διαφόρων γωνιών με σκοπό να αποκαλυφθούν χαρακτηριστικά που διαφορετικά θα ήταν αδύνατο τα ταυτοποιηθούν δίχως να καταστραφεί το δείγμα. Παλαιότερα η μέθοδος χρησιμοποιούνταν αποκλειστικά για μεγάλα δείγματα σπονδυλωτών, τώρα όμως έχει βελτιωθεί και χάρη στην υψηλή της ανάλυση και ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε μεγέθη κλίμακας mm. Ένα από τα πρώτα δείγματα στα οποία εφαρμόστηκε η μέθοδος ήταν στο δείγμα *Archaeopteryx lithographica* της γερμανικής πόλης Eichstätt. Στο δείγμα αρχαιοπτέρυγας του Λονδίνου, χρησιμοποιήθηκε επίσης η μέθοδος για να εξακριβωθούν πληροφορίες σχετικά με τον εγκέφαλο και το εσωτερικό του κρανίου. Σήμερα η μέθοδος αποτελεί συνήθους διαδικασία για σημαντικά ευρήματα, αν και παρουσιάζει αδυναμίες σε δείγματα με χημική ομοιογένεια, αφού δε διαθέτουν το απαιτούμενο εύρος σε μήκη κύματος, όπως για παράδειγμα απολιθώματα ασβεστίτη διατηρημένα σε ασβεστίτικο ίζημα. (Elewa 2011, Cunningham et al. 2014).

- Micro - CT :
Είναι τομογραφία ακτινών X εξαιρετικά υψηλής ανάλυσης που επιτρέπει τη μελέτη δειγμάτων μεγέθους σπόρων και κόκκων γύρης. Σε αντίθεση με τον απλό ιατρικό CT τομογράφο που παράγει εικόνες μερικών εκατοντάδων μικρών (μm), ο μικροτομογράφος φτάνει την ανάλυση των μόλις 5 μm (Rahman et al. 2012, Sutton et al. 2017). Παράδειγμα χρήσης της μεθόδου αποτελεί το Σχ. 8.



Σχήμα 8 : micro CT εικόνα του κρανίου DFN3 - 150 (A) σε σύγκριση με αυτό ενός *Macaca sylvanus* (B) και αυτό ενός *Papio anubis* (C). (από Kostopoulos et al. 2018).

- Τομογραφία Ακτινοβολίας X - Σύγχροτρον (Synchrotron radiation tomography) :
Πρόκειται ίσως για την πιο ισχυρή από όλες τις τομογραφίες τύπου X-ray, όπου χρησιμοποιείται ένας κυκλικός μοριακός επιταχυντής υποσωματιδίων, το αποκαλούμενο σύγχροτρον, για την παραγωγή εξαιρετικά φωτεινών ακτινών

τύπου Röntgen (X). Αυτή η μέθοδος έχει πολυάριθμα πλεονεκτήματα συγκριτικά με τις δύο προηγούμενες. Αρχικά μπορεί να παράγει εικόνες υψηλότερης ανάλυσης (ακόμα και από μικροτομογράφο), πολύ πιο γρήγορα. Επιπλέον χρησιμοποιεί ακτίνες μονοχρωματικού φάσματος ενέργειας, σε αντίθεση με τις προηγούμενες δύο μεθόδους όπου χρησιμοποιούνται πολυχρωματικές πηγές ακτινών X, κάτι που έχει ως αποτέλεσμα εικόνες με υψηλότερη αντίθεση (κόντραστ). Τέλος η μέθοδος είναι ιδανική για μελέτη δειγμάτων, τα ορυκτά των οποίων έχουν παρόμοια πυκνότητα, χάρη στην υψηλή ευαισθησία που προσφέρει η αντίθεση φάσης του σύγχροτον. (Rahman et al. 2012, Sutton et al. 2017, Cunningham et al. 2014).

- Τομογραφία νετρονίων (Neutron tomography) : Αυτή η τεχνική βασίζεται στις διαφορές απορρόφησης νετρονίων για να παράγει εικόνα από το εσωτερικό ενός δείγματος. Χρησιμοποιείται κυρίως για μεγάλα απολιθώματα πλούσια σε μεταλλικά ορυκτά, επειδή τα νετρόνια διαπερνούν εύκολα την πλειοψηφία των βαρέων στοιχείων. Παρόλα αυτά, η μέθοδος παράγει εικόνες χαμηλότερης ανάλυσης από την CT τομογραφία και συχνά τα δείγματα παρουσιάζουν αυξημένα επίπεδα ραδιενέργειας. (Elewa 2011).
- Laser Scanning : Μία από τις πιο συνηθισμένες τεχνικές μελέτης επιφανειών, το laser scanning αξιοποιεί τις ανακλώμενες από ένα αντικείμενο ακτίνες λέιζερ, για να φτιάξει ένα 3D μοντέλο. Η μέθοδος μπορεί να αγγίζει αναλύσεις χαμηλότερες του χιλιοστού και έχει ευελιξία όσο αφορά τα μεγέθη του αντικείμενου ενδιαφέροντος. Προκειμένου να προκύψει η τρισδιάστατη αναπαράσταση, θα πρέπει τα δεδομένα που θα παράγει η μέθοδος να περαστούν σε ηλεκτρονικό υπολογιστή και να υποστούν κατάλληλη επεξεργασία. Υπάρχουν τριών κατηγοριών scanners : τριγωνισμού (είναι ιδανικοί για εργαστήριο, ο υπό γωνία αισθητήρας τους υπολογίζει την απόσταση του αντικείμενου μέσω της μεθόδου τριγωνισμού), time - of - flight (είναι ικανοί να χρησιμοποιηθούν στο ύπαιθρο και υπολογίζουν την απόσταση με βάση τον χρόνο που ταξιδεύουν οι ανακλάσεις) και αλλαγής φάσης (έχουν περιορισμένη παλαιοντολογική χρήση και υπολογίζουν την απόσταση διαμορφώνοντας την ισχύ της ακτίνας και συγκρίνοντας τη φάση της με αυτή της ανάκλασης). (Sutton et al. 2017)
- Φωτογραμμετρία (Photogrammetry) : Όταν η μελέτη ενός δείγματος περιορίζεται στα χαρακτηριστικά της εξωτερικής επιφάνειάς του, τότε η φωτογραμμετρία μπορεί να λύσει τα χέρια των ερευνητών. Η μέθοδος (close range photogrammetry) συλλέγει χρωματικά και γεωμετρικά στοιχεία, μέσω επαναλαμβανόμενων φωτογραφικών λήψεων του αντικείμενου ενδιαφέροντος. Στη συνέχεια με τη χρήση διαφόρων λογισμικών προγραμμάτων μπορεί να παραχθεί ένα τρισδιάστατο μοντέλο με ανάλυση από ικανοποιητική μέχρι και εξαιρετική, ανάλογα πάντα με τη ποιότητα των φωτογραφιών. Αναλυτικά, βήμα - βήμα η μέθοδος θα παρουσιαστεί στο επόμενο κεφάλαιο. Η αρχή πάντως κάθε προγράμματος παραγωγής 3D εικόνας, είναι η αναζήτηση κοινών σημείων μεταξύ των εικόνων, έπειτα η ένωση των γειτονικών αυτών σημείων με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός σύννεφου σημείων και τέλος η αναπαραγωγή των επιφανειών του δείγματος. Η μέθοδος χρησιμοποιείται τόσο για μικρά δείγματα (π.χ. αμμωνίτες μεγέθους χαλκιού),

όσο και μεγάλα (π.χ. δεινόσαυροι). Βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ο φθηνός σχετικά εξοπλισμός και η ευκολία χειρισμού των προγραμμάτων. Τα ελαχίστως απαραίτητα είναι μία κάμερα, έστω και κινητού - αλλά γενικά μία καλή κάμερα συμβάλει σημαντικά στην υψηλή ανάλυση των φωτογραφιών και άρα και του μοντέλου - και ένας υπολογιστής με εγκατεστημένο ένα από τα προγράμματα φωτογραμμετρίας. (Mallison et al. 2014). Ο Πίν. 2 συνοψίζει τα τεχνικά χαρακτηριστικά και κάποιες προδιαγραφές των διαφόρων μεθόδων ψηφιοποίησης.

Πίνακας 2. : Συγκριτικός πίνακας μερικών μεθόδων ψηφιοποίησης. (Cunningham et al. 2014)

Τεχνική (1)	Δεδομένα	Μέγεθος Χαρακτηριστικών	Ανάλυση	Κόστος	Φορητό
<u>Micro - CT</u>	Ραδιογραφίες ακτινοβολίας X-Ray (εσωτερική δομή)	1mm - 250mm	1μm	Μεγάλο	Όχι
<u>Synchrotron Radiation Tomography</u>	Ραδιογραφίες ακτινοβολίας X-Ray (εσωτερική δομή)	50μm - 600mm	200nm	Πολύ μεγάλο	Όχι
<u>Neutron Tomography</u>	Ραδιογραφίες ακτινοβολίας νετρονίων (εσωτερική δομή)	2mm - 300mm	30μm	Μεγάλο	Όχι
<u>Laser Scanning</u>	Ανακλώμενες ακτίνες λέιζερ (επιφανειακή μορφολογία)	> 10mm	50μm	Μέτριο	Ναι
<u>Photogrammetry</u>	Φωτογραφίες (επιφανειακή μορφολογία)	Οποιοδήποτε (ανάλογα την κάμερα)	Ανάλογα την κάμερα	Χαμηλό	Ναι

2.3 Οφέλη Υπολογιστικής Παλαιοντολογίας

Το μεγαλύτερο όφελος από τις τομογραφικές τεχνικές και φυσικά ο λόγος που καθιερώθηκε η χρήση τους σε σημαντικά απολιθώματα, είναι ότι επιτρέπουν τη διερεύνηση της εσωτερικής ανατομίας ενός δείγματος, σε κλίμακα νανόμετρου και μικρόμετρου, δίνοντας έτσι περεταίρω στοιχεία, τα οποία διαφορετικά θα ήταν μη προσβάσιμα. Βοηθάνε λοιπόν αυτές οι μέθοδοι στις φυλογενετικές αναλύσεις, παρέχοντας περεταίρω στοιχεία για συγκρίσεις και οδηγούν έτσι τους ερευνητές σε ασφαλέστερα συμπεράσματα.

Σχεδόν όλα τα προβλήματα που προκύπτουν από τη μελέτη ενός απολιθώματος με τον κλασσικό τρόπο, όπως ο διαχωρισμός σ' ένα απολίθωμα των γεωλογικών

χρειάζεται καν να εκταφεί πλήρως, ώστε να δημιουργηθεί ένα τρισδιάστατο μοντέλο της ακάλυπτης επιφάνειάς του. Το μόνο που χρειάζεται είναι μία κάμερα κι ένας υπολογιστής στο χώρο της ανασκαφής. Τέλος ο χρόνος εκμάθησης της επεξεργασίας των εικόνων μέσω των διαφόρων προγραμμάτων, είναι κατά πολύ μικρότερος σε σχέση με εκείνον που χρειάζονται οι ερευνητές για να μάθουν να χειρίζονται τον οποιονδήποτε τομογράφο. Προπτυχιακοί φοιτητές μπορούν εύκολα και με ελάχιστη βοήθεια να ανταπεξέλθουν στις απαιτήσεις ενός τέτοιου προγράμματος φωτογραμμετρίας. Ο χρόνος και ο αριθμός των προσπαθειών μπορούν να είναι κυριολεκτικά άπειροι. Αν ένα σετ φωτογραφιών δεν είναι καλό, μπορεί ο ερευνητής να ξαναδοκιμάσει και αναλόγως, αν το αποτέλεσμα που έβγαλε το πρόγραμμα δεν είναι το προσδοκώμενο, τότε να ξεκινήσει την επεξεργασία από την αρχή.

Ένας κλάδος της παλαιοντολογίας ο οποίος μπορεί να ωφεληθεί πολύ από τη φωτογραμμετρία είναι η παλαιοϊχθυολογία. Η μελέτη τέτοιων απολιθωμάτων τα οποία αποτελούν μαρτυρίες κίνησης, διατροφής ή απλά ύπαρξης εξαφανισμένων πια οργανισμών, αποκτά ολοκαίνουργιο νόημα χάρη σε αυτή τη μέθοδο. Τα περισσότερα ιχνοαπολιθώματα είναι αδύνατον να μετακινηθούν από το σημείο εύρεσής τους και άρα μπορούν να μελετηθούν μονάχα στο υπαίθρο και συχνά το σημείο εύρεσής τους δεν έχει εύκολη πρόσβαση, ή μπορεί να μην είναι καν προσβάσιμο συγκεκριμένες μέρες ή και βδομάδες του έτους. Επιπλέον τα ιχνοαπολιθώματα μπορούν να υποστούν κι αυτά καταστροφές από διάφορους τρόπους διάβρωσης και άρα η ανάγκη να διατηρηθούν, έστω και ψηφιακά είναι επιτακτική. Χάρη λοιπόν στη φωτογραμμετρία, όχι μόνο διατηρείται ένα ψηφιακό αρχείο ιχνοαπολιθωμάτων, αλλά μπορεί μέσω αυτών των αρχείων να γίνει και συγκριτική μελέτη.

Κλείνοντας το κεφάλαιο, πρέπει να γίνει μία αναφορά σχετικά με τις ψηφιακές πλατφόρμες διαμοιρασμού πληροφοριών και τη θέση τους στο νομικό σύστημα των πνευματικών δικαιωμάτων. Στην πραγματικότητα είναι ελάχιστα τα ψηφιακά αρχεία τρισδιάστατων αναπαραστάσεων τα οποία διατίθενται δωρεάν στο διαδίκτυο. Αυτό ως ένα βαθμό συμβαίνει, γιατί οι ερευνητές δεν είναι πρόθυμοι να μοιραστούν την εργασία τους προτού ολοκληρωθεί πλήρως η έρευνα και είναι ικανοί να βγάλουν ασφαλή συμπεράσματα. Ακόμα κι έτσι όμως, η πληροφορία που οδηγεί στο συμπέρασμα, πολλές φορές δεν συμπεριλαμβάνεται στη δημοσίευση της εργασίας. Στην περίπτωση λοιπόν που θα χρησιμοποιηθεί κάποια τομογραφική μέθοδος, η δημοσίευση θα περιέχει το πολύ μία φωτογραφία του τρισδιάστατου μοντέλου κι όχι το μοντέλο το ίδιο. Οι επιστήμονες δεν έχουν συμφωνήσει ακόμα για το αν τέτοιου είδους αρχεία θα πρέπει να δημοσιεύονται μαζί με την ολοκληρωμένη εργασία ή όχι. Φυσικά είναι δύσκολος ο διαμοιρασμός τέτοιων αρχείων στο διαδίκτυο, αφού υπάρχουν πολλά format με τα οποία μπορεί να συναντήσει κάποιος μία 3D αναπαράσταση. Εν κατακλείδι, ακόμα και αν οι ερευνητές ήταν διατεθειμένοι να μοιραστούν τέτοιου είδους πληροφορία, θα ενέπιπταν στο θέμα των πνευματικών δικαιωμάτων. Κι αυτό γιατί συχνά σε μία έρευνα συνεργάζονται πολλά πανεπιστήμια ή μουσεία, τα οποία πολλές φορές δεν βρίσκονται καν στην ίδια χώρα. Έτσι τα δεδομένα και η πληροφορία που παρέχονται από τη χρήση των υπολογιστικών μεθόδων παραμένουν ιδιοκτησία του εκάστοτε ιδρυτικού που παρείχε τον μηχανικό εξοπλισμό. Είναι ξεκάθαρο λοιπόν ότι τα σχετικά νομικά πλαίσια θα πρέπει να εκσυγχρονιστούν, ώστε να συμβαδίζουν με την αλματώδη πρόοδο της τεχνολογίας και συνεπώς και της ίδιας της επιστήμης. (Sutton et al. 2017, Rahman et al. 2012, Mallison et al. 2014, Elewa 2011).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ DFN3 - 150 ΜΕΣΩ ΤΟΥ AGISOFT PHOTOSCAN

Κύριος σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας ήταν να δημιουργηθεί ένα τρισδιάστατο μοντέλο αναπαράστασης του κρανίου παραδολιχοπιθήκου DFN3 - 150 με τη μέθοδο της φωτογραμμετρίας. Επιπλέον, θα συγκριθούν μερικές κρανιακές μετρήσεις που έχουν ληφθεί στο πραγματικό δείγμα, με τις ανάλογες που μπορεί να αναπαράγει το πρόγραμμα, ώστε να διαπιστωθεί η αξιοπιστία του όσο αφορά την ασφάλεια της επιστημονικής εκμετάλλευσης του τρισδιάστατου μοντέλου. Αυτό το κεφάλαιο λοιπόν θα εστιάσει στη δημιουργία ενός 3D μοντέλου, ξεκινώντας από το στάδιο της φωτογραφίας. Για τη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκε η επαγγελματική (pro) μορφή του Agisoft Photoscan, έκδοση 1.2.4 (<https://www.agisoft.com/downloads/installer/>). Κατά τη διάρκεια της εκμάθησης και δημιουργίας της εργασίας (περίπου έξι μήνες) το πρόγραμμα υπέστη διάφορες αναβαθμίσεις και πλέον η πιο αναβαθμισμένη μορφή ονομάζεται Agisoft Metashape. Για λόγους όμως συνοχής κρατήθηκε η έκδοση Agisoft Photoscan 1.2.4, αν και το μενού εργασίας (workflow) του Metashape δεν έχει και τόσο μεγάλη διαφορά. Σε κάθε περίπτωση η διαδικασία παραμένει λίγο - πολύ ίδια.

3.2 Στάδιο 1^ο : Φωτογραφίζοντας το δείγμα

Το πρώτο στάδιο δημιουργίας οποιουδήποτε τρισδιάστατου μοντέλου φωτογραμμετρίας, είναι οι φωτογραφίες. Ο αριθμός των λήψεων ποικίλει, ανάλογα το μέγεθος του δείγματος και την πολυπλοκότητά του. Παραδείγματος χάρη, για ένα αμμωνίτη διαμέτρου τριών εκατοστών χρειάστηκαν μονάχα 30 φωτογραφίες για την παραγωγή ενός σχετικά ικανοποιητικού μοντέλου. Αντίθετα για το συγκεκριμένο κρανίο, ο αριθμός τους ήταν τριπλάσιος. Επίσης, ανάλογα με το μέγεθος του δείγματος, προφανώς αλλάζει και η απόσταση της λήψης, η οποία γενικά πρέπει να παραμένει σταθερή καθόλη τη διάρκεια της διαδικασίας. Δε θα έχει νόημα για παράδειγμα 40 φωτογραφίες ενός κρανίου να είναι σε απόσταση 30 εκατοστών, και οι υπόλοιπες 10 να είναι πιο κοντινές. Αυτό μονάχα θα μπερδέψει το πρόγραμμα, το οποίο δε θα μπορεί να βρει κοινά σημεία μεταξύ των δύο σετ εικόνων. Αυτό που είναι απαραίτητο να αλλάξει όμως είναι οι γωνίες λήψης.

Γενικά για το πρώτο αυτό στάδιο τα απαραίτητα είναι : μία φωτογραφική μηχανή κι ένας τρίποδας για να στηρίζεται, μία περιστρεφόμενη βάση για το δείγμα και μία κλίμακα. Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκαν όλα τα παραπάνω καθώς και ένα μικρό στούντιο με τέσσερις φωτιστικές πηγές και λευκά χαρτόνια για να δημιουργηθεί ένα κατάλληλο φόντο, όπως φαίνεται στο Σχ. 9. Η περιστρεφόμενη βάση τοποθετήθηκε στο στούντιο με το κρανίο στο κέντρο της. Ο τρίποδας με την κάμερα τοποθετήθηκαν αρχικά στο ύψος του δείγματος, σε περίπου 40 εκατοστά απόσταση από αυτό. Το κρανίο φυσικά ήταν στο κέντρο της λήψης και σημαντικό είναι να φαίνεται με κάθε λήψη όσο το δυνατόν μεγαλύτερο τμήμα του δείγματος.

Καθοριστικό ρόλο παίζουν το φως και η λειτουργία της κάμερας. Η ποσότητα φωτός είναι αυτή που θα καθορίσει το χρώμα που θα έχει το δείγμα στις φωτογραφίες. Συχνά επίσης τα απολιθώματα λόγω των διαδικασιών διατήρησης από τις οποίες περνάνε, έχουν γυαλιστερές επιφάνειες, οι οποίες αντανακλούν το δυνατό φως, προσδίδοντας τους λάμψη. Αυτό δημιουργεί προβλήματα στο πρόγραμμα, καθώς το λευκό χρώμα σημαίνει απουσία σημείων. Σε μία από τις πρώτες προσπάθειες, το φως ήταν πολύ δυνατό κι έτσι το 3D μοντέλο που προέκυψε δεν είχε τα πραγματικά

χρώματα του δείγματος και συνεπώς αλλοιώνει την πληροφορία. Επιπλέον σε μερικά σημεία η αντανάκλαση του φωτός ήταν τόσο ισχυρή που το πρόγραμμα άφηνε κενό χώρο, κάτι που φυσικά δεν είναι αποδεκτό. Ανάλογα, οι σκιές έχουν το ίδιο αποτέλεσμα με τις δυνατές αντανάκλασεις, δηλαδή απουσία σημείων και εικόνας. Συμπεραίνουμε λοιπόν, ότι ο φωτισμός είναι από τα πιο σημαντικά πράγματα και πρέπει να του δοθεί η ανάλογη προσοχή.

Η κάμερα που χρησιμοποιήθηκε ήταν η Sony DSC - HX60V και βρισκόταν σε λειτουργία Scene Selection με F3.5. Το ζουμ που προσφέρουν οι περισσότερες κάμερες, με εξαίρεση τις πολύ ακριβές, καλό είναι να αποφεύγεται, καθώς αλλοιώνει την ανάλυση της εικόνας. Φυσικά αν είναι αναγκαίο για λόγους κεντραρίσματος είναι αποδεκτό, αν και θα πρέπει να κρατηθεί αχρησιμοποίητο κατά το μέγιστο δυνατόν. Σε απολίσθωματα στα οποία ενδιαφέρει και η πάνω και η κάτω μεριά, τα σετ λήψεων είναι έξι. Το πρώτο είναι σε επίπεδο οριζόντιο, με το απολίσθωμα τοποθετημένο έτσι ώστε να αποκαλύπτεται η επάνω μεριά του. Για κάθε τεταρτημόριο του κύκλου θα πρέπει να έχουν παρθεί τουλάχιστον τρεις φωτογραφίες, δηλαδή για κάθε τριάντα μοίρες περιστροφής της βάσης, αναλογεί μία φωτογραφία. Σε απολίσθωματα που η γεωμετρία τους είναι πιο απλή από αυτή ενός κρανίου, ίσως αρκούν και λιγότερες λήψεις, στη συγκεκριμένη περίπτωση όμως, η μέθοδος που ακολουθήθηκε ήταν αυτή και συχνά μάλιστα υπήρχαν κι άλλες λήψεις ενδιάμεσα. Παρ' όλα αυτά ο αριθμός λήψεων θα πρέπει να κρατηθεί σ' ένα εύλογο ποσό, καθώς το Agisoft θα κάνει πολλές ώρες να επεξεργαστεί πάνω από εκατό φωτογραφίες.

Όταν ολοκληρωθεί ένας πλήρης κύκλος θα πρέπει να έχουν ληφθεί περίπου δώδεκα φωτογραφίες. Στη συνέχεια για το δεύτερο σετ, το απολίσθωμα μένει σταθερό και μετακινείται η κάμερα, ώστε να αλλάξει η γωνία λήψης και από οριζόντια, να έρθει περίπου στις σαράντα πέντε μοίρες πάνω από το επίπεδο της βάσης. Αφού γίνουν τα απαραίτητα κεντραρίσματα και η επανεστίαση, ακολουθείται ξανά η ίδια διαδικασία, όπου η κάμερα μένει σταθερή και το απολίσθωμα περιστρέφεται. Ο αριθμός λήψεων είναι ο ίδιος με πριν. Σημαντικό είναι η απόσταση του δείγματος από την κάμερα να μείνει λίγο - πολύ σταθερή, ώστε η κλίμακα μεγέθους να μην αλλάζει. Όταν το απολίσθωμα κάνει πάλι μία πλήρη περιστροφή, η θέση της κάμερας αλλάζει ξανά και περνάμε στο τρίτο σετ. Σ' αυτή τη περίπτωση δε θα χρειαστούν τόσες πολλές λήψεις. Η κάμερα βγαίνει από τον τρίποδα και τοποθετείται ακριβώς κατακόρυφα, πάνω από το δείγμα. Οι λήψεις που θα πρέπει να ληφθούν είναι τουλάχιστον οχτώ, μία για κάθε σαράντα πέντε μοίρες περιστροφή. Σ' αυτό το σετ, τοποθετούμε και τη κλίμακα, ώστε να μπορούμε να εισάγουμε αργότερα δεδομένα απόστασης στο πρόγραμμα.

Η διαδικασία για τα τρία επόμενα σετ φωτογραφιών είναι ακριβώς η ίδια, με τη διαφορά, ότι το απολίσθωμα είναι γυρισμένο από την ανάποδη μεριά. Εδώ να διευκρινιστεί ότι στα δύο σετ φωτογραφιών όπου η κάμερα είναι κατακόρυφη πάνω από το απολίσθωμα, η κλίμακα είναι τοποθετημένη δίπλα στο δείγμα και περιστρέφεται μαζί του, ώστε να υπάρχει πάντα η αναφορά μεγέθους. Είναι αναγκαία η παρουσία κλίμακας και κατά τη φωτογράφιση του απολίσθωματος από την ανάποδη μεριά, για λόγους που θα αναλυθούν στη συνέχεια.

Τέλος, υπάρχει κι ένας άλλος τρόπος φωτογράφισης, κατά τον οποίο το δείγμα μένει ακίνητο και περιστρέφεται η κάμερα γύρω του. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται όταν δεν υπάρχει ένα φόντο πίσω από το απολίσθωμα. Έτσι επιτρέπεται στο πρόγραμμα να αναγνωρίσει κοινά σημεία στα διάφορα σετ φωτογραφιών, που βρίσκονται πίσω από το δείγμα κι έτσι να επιτευχθεί ο προσανατολισμός του. Σε αντίθετη περίπτωση, αν δεν υπήρχε φόντο και η κάμερα ήταν σταθερή, ενώ περιστρεφόταν το απολίσθωμα, το πρόγραμμα θα αποτύγγανε να παράγει 3D μοντέλο, καθώς η περιστροφή του απολίσθωματος, σε συνδυασμό με το στάσιμο περιβάλλον θα το μπερδεύει. Στη

συγκεκριμένη εργασία, με το να χρησιμοποιηθεί το λευκό φόντο πίσω από το απολίθωμα, αυτό που επετεύχθη ήταν να περιοριστεί το πρόγραμμα ώστε να παράγει σημεία μόνο από το αντικείμενο ενδιαφέροντος και όχι για τον περιβάλλοντα χώρο, ο οποίος ήταν κρυμμένος, γι' αυτό άλλωστε επιτρεπόταν και η περιστροφή του απολιθώματος. Με την ολοκλήρωση και του έκτου σετ φωτογραφιών, θα πρέπει να έχουν ληφθεί συνολικά περίπου εβδομήντα με ογδόντα εικόνες, οι οποίες καλύπτουν τόσο την άνω, όσο και τη κάτω μεριά του κρανίου, από τρεις διαφορετικές γωνίες. Αν τελικά η ανάλυση, οι σκιές και το χρώμα των φωτογραφιών είναι ικανοποιητικά και δε χρειαστεί να επαναληφθεί η φωτογράφιση, τότε το πιο δύσκολο κομμάτι της διαδικασίας έχει ολοκληρωθεί.

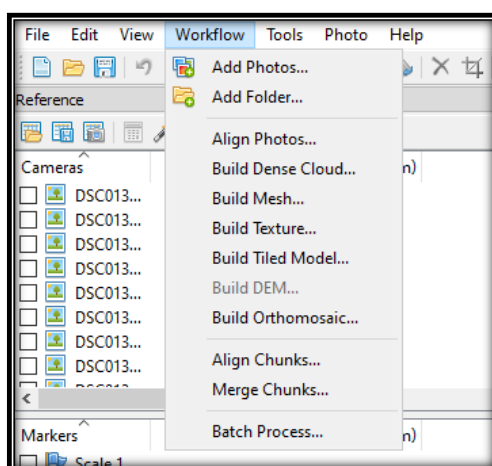


Σχήμα 9 : Στιγμιότυπο της διαδικασίας φωτογράφισης του DFN3 - 150 όπου φαίνεται το στήσιμο της κάμερας, το στούντιο φωτογράφισης, η περιστρεφόμενη βάση καθώς και το φόντο των λευκών χαρτονιών.

3.3Στάδιο 2^ο : Πίνακες και ευθυγράμμιση (alignment)

Αφού γίνει η εγκατάσταση του προγράμματος και η εισαγωγή του ειδικού κωδικού - κλειδί που θα επιτρέψει στον χρήστη να έχει πρόσβαση στην pro μορφή του Agisoft, μπορεί να ξεκινήσει η διαδικασία επεξεργασίας των φωτογραφιών. Αρχικά πρέπει να γίνει μία εξοικείωση με τη γραμμή εργαλείων του προγράμματος. Τα κύρια εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν είναι οι ρουτίνες Workflow (Σχ. 10) και Tools. Κάτω απ' τη γραμμή εργαλείων θα πρέπει να υπάρχουν τρεις κατηγορίες παραθύρων, τα οποία ρυθμίζονται από το μενού του View. Πρώτο είναι το Workplace, στο οποίο υπάρχουν εργαλεία για τους πίνακες (chunks), τις εικόνες (images), τις κλίμακες (scale bars) και τα σημεία (markers). Δεύτερο είναι το Reference το οποίο έχει επίσης εργαλεία για την επεξεργασία των εικόνων, των markers και των κλιμάκων. Τέλος, τον μεγαλύτερο χώρο στα δεξιά καταλαμβάνει η εικόνα του μοντέλου.

Πρώτο βήμα είναι η εισαγωγή των εικόνων στο πρόγραμμα και η οργάνωσή τους σε πίνακες. Η μέθοδος που ακολουθήθηκε είναι η εξής : Όπως ακριβώς και κατά τη φωτογράφιση του δείγματος, έτσι κι εδώ οι κατηγορίες φωτογραφιών είναι χονδρικά δύο. Αυτές της άνω όψης του κρανίου και αυτές της κάτω, κι αυτό γιατί η κάθε όψη έχει διαφορετικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά, τα οποία το πρόγραμμα δε θα μπορέσει να επεξεργαστεί αν του δοθούν όλα μαζί. Έτσι λοιπόν δημιουργήθηκαν δύο πίνακες μέσω του μενού Workflow και στη συνέχεια της λειτουργίας Add chunk. Αφού δημιουργηθεί ο πρώτος πίνακας, επιλέγεται από το ίδιο μενού η λειτουργία add photos και επιλέγονται όλες οι εικόνες της άνω όψης του κρανίου. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται και για τον δεύτερο πίνακα, μόνο που φυσικά εισάγονται οι εικόνες της κάτω όψης.



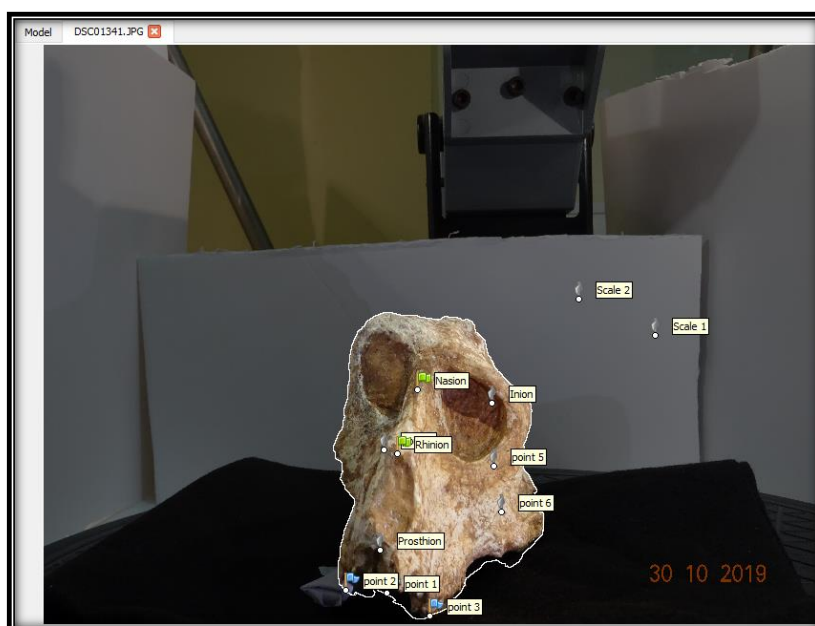
Σχήμα 10 : Το πιο πολυχρησιμοποιημένο μενού στο σχηματισμό 3D μοντέλου στο Agisoft Photoscan είναι αυτό του Workflow.

Κανονικά δεν είναι απαραίτητο να τοποθετηθούν σημεία χειροκίνητα σε αυτό το στάδιο, αλλά έχει παρατηρηθεί ότι μειώνεται έτσι αρκετά ο χρόνος επεξεργασίας των εντολών του προγράμματος, αφού βοηθάνε στον προσανατολισμό, οπότε συστήνεται. Πριν λοιπόν γίνει η ευθυγράμμιση (alignment) των εικόνων, τοποθετούνται markers. Τα markers αυτά πρέπει να τοποθετηθούν, όχι σε τυχαία σημεία, αλλά σε αυτά που μπορεί να αναγνωρίσει ο χρήστης. Εκ πείρας πάλι, ιδανικό είναι να υπάρχουν και μερικοί κοινοί και στους δύο πίνακες. Στη προκειμένη περίπτωση έχουν τοποθετηθεί σημεία στις κόγχες, στη ρινική κοιλότητα, σε σημεία της ακρολοφίας, σε μερικά δόντια, στο σημείο που αναγράφεται η αρίθμηση του δείγματος και σε διάφορα χαρακτηριστικά σημεία κυρίως του κάτω μέρους, τα οποία είναι ορατά και στους δύο πίνακες. Αυτό θα βοηθήσει σε κάθε βήμα της επεξεργασίας, αλλά κυρίως στο τελικό στάδιο, όταν οι δύο πίνακες θα ενωθούν.

Αυτό που έχει σημασία για να αναφερθεί η κάθε εικόνα και να έχει αξία στο μοντέλο είναι να υπάρχουν τουλάχιστον τρεις εμφανείς markers πάνω της και για να είναι λειτουργικός, κάθε marker πρέπει να εμφανίζεται σε τουλάχιστον τρεις εικόνες. Στη συνέχεια, αφότου έχει τοποθετηθεί σε τρεις εικόνες, ο κάθε marker θα εμφανίζεται αυτόματα σε κάθε εικόνα που παρατηρείται το σημείο που αντιπροσωπεύει. Η διαδικασία τοποθέτησης είναι πολύ απλή και έχει ως εξής : Από το μενού Reference ανοίγει με τη σειρά κάθε εικόνα. Στη συνέχεια με δεξί κλικ πάνω στο σημείο ενδιαφέροντος και την επιλογή create marker τοποθετείτε το marker 1, στο σημείο όπου έγινε το κλικ. Αν στη συνέχεια το marker 1 φαίνεται και σε άλλες εικόνες, δεξί κλικ

στο σημείο του και place marker. Από τις επιλογές που δίνονται επιλέγεται ο σωστός marker που αντιπροσωπεύει το συγκεκριμένο σημείο. Συγκεκριμένα για στους πίνακες Chunk 1 και 2 χρησιμοποιήθηκαν 6 markers στον καθένα, ενώ για το ενιαίο μοντέλο 8.

Προτού γίνει η ευθυγράμμιση των εικόνων, το Agisoft διαθέτει ένα εργαλείο που επιτρέπει την απομόνωση του δείγματος στην κάθε εικόνα, μέσω του μενού Tools → Masks → Import Masks (Σχ. 11). Γύρω από το αντικείμενο ενδιαφέροντος έχουν δημιουργηθεί γραμμές, οι οποίες το απομονώνουν από το υπόλοιπο φόντο. Έτσι αποφεύγεται η εμφάνιση της μαύρης βάσης στο τελικό μοντέλο. Η διαδικασία είναι αυτοματοποιημένη, αλλά μπορεί να γίνει και χειροκίνητα μέσω του κέρσορα και με δεξιά ή αριστερό κλικ.

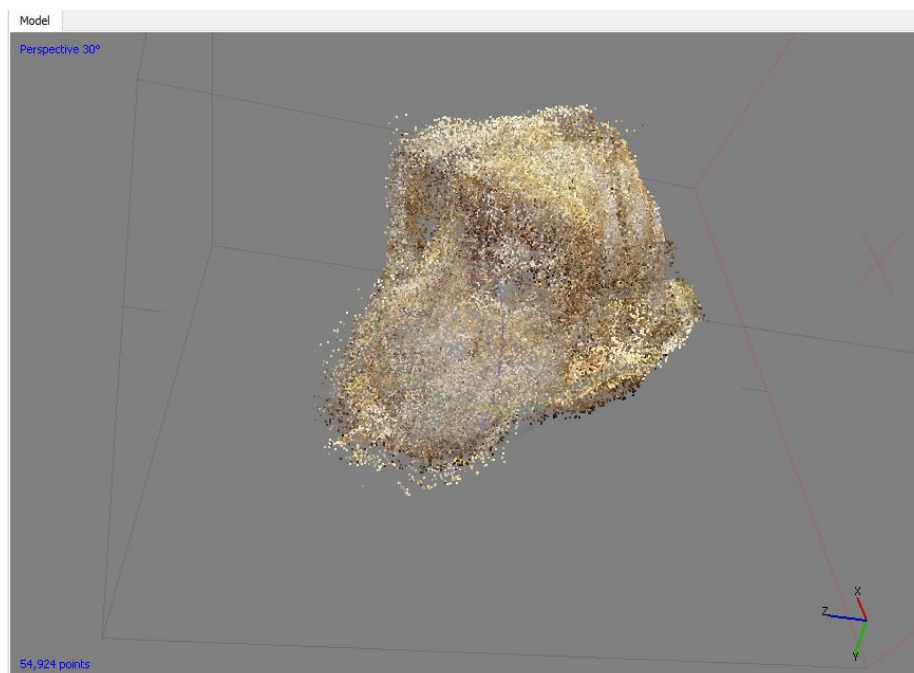


Σχήμα 11 : Στιγμιότυπο μίας φωτογραφίας της άνω όψης, αφότου γίνει η απομόνωση (Masking).

Η συνέχεια είναι πολύ απλή. Μέσω της γραμμής εργαλείων και του μενού workflow, επιλέγεται το align photos. Με μιας εμφανίζεται ένα παράθυρο που προσφέρει διάφορες επιλογές. Accuracy είναι με πόση ακρίβεια και λεπτομέρεια θα επεξεργαστεί το πρόγραμμα τη θέση της κάθε κάμερας. Βοηθάει γενικά, για να ελεγχθεί από τα πρώτα αυτά στάδια η ποιότητα των φωτογραφιών η ακρίβεια να είναι σε χαμηλό επίπεδο, ώστε και ο χρόνος επεξεργασίας να είναι μικρός. Ειδιάλλως επιλέγεται το High.

Η επόμενη επιλογή είναι αυτόματα η pair selection : disabled, η οποία, όταν είναι ενεργοποιημένη, επιτρέπει στο πρόγραμμα να αναζητήσει αν κάποιες από τις εικόνες αλληλεπικαλύπτονται. Επειδή το δείγμα είναι μικρό και μοιραία τα περισσότερα σημεία θα εμφανίζονται στις περισσότερες φωτογραφίες, αυτή η επιλογή παραμένει απενεργοποιημένη. Στη συνέχεια η επιλογή advanced περιέχει τα : key point limit και tie point limit. Το πρώτο είναι η ποσότητα των σημείων που θα διαχειριστεί το πρόγραμμα και συνεπώς επηρεάζει τη λεπτομέρεια που θα έχει το μοντέλο. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η αυτόματη επιλογή (4.000.000 σημεία) ήταν ικανοποιητική. Το δεύτερο είναι ο αριθμός των κοινών σημείων μεταξύ δύο εικόνων. Η αυτόματη επιλογή είναι 10.000, αλλά στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκε το 0 το οποίο ισοδυναμεί με άπειρο. Χρησιμοποιήθηκαν δηλαδή ο μέγιστος ικανός αριθμός σημείων,

βελτιώνοντας έτσι την ακρίβεια του μοντέλου. Τέλος, υπάρχει ένα πεδίο που μπορεί ο χρήστης να τσεκάρει το οποίο ουσιαστικά ζητάει την επιβεβαίωση του χειριστή για να χρησιμοποιηθούν τα mask που δημιουργήθηκαν προηγουμένως. Στη συγκεκριμένη εργασία το πεδίο Constrain features by masks επιλέχθηκε, κυρίως γιατί παρατηρήθηκε ότι δίχως αυτό, το πρόγραμμα παίρνει αυτόματα σημεία και από τη μαύρη περιστρεφόμενη βάση του δείγματος, χαλώντας έτσι την εικόνα του μοντέλου. Με το πάτημα του κουμπιού OK το πρόγραμμα ξεκινάει να επεξεργάζεται τα δεδομένα που του διατέθηκαν. Ο χρόνος αναμονής έχει κυρίως να κάνει με την ακρίβεια, η οποία όταν είναι στο High, καθυστερεί πολύ την ευθυγράμμιση. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η ακρίβεια ήταν Medium.



Σχήμα 12 : Στιγμιότυπο από σύννεφο σημείων (Point Cloud) του DFN3 - 150.

3.4 Στάδιο 3^ο : Δημιουργία σύννεφου πυκνότητας σημείων (Dense point cloud)

Όταν ολοκληρώσει το Agisoft Photoscan την ευθυγράμμιση των φωτογραφιών και προτού του δοθεί η εντολή να φτιάξει dense point cloud, υπάρχει ένα ενδιαμέσο βήμα, κατά το οποίο βελτιστοποιείται η ευθυγράμμιση και το σύννεφο σημείων που έχει προκύψει από αυτήν. Αν η ευθυγράμμιση έχει πετύχει, ο χρήστης θα πρέπει να έχει μπροστά του μία εικόνα ενός σύννεφου σημείων που μοιάζει κάπως με το σχήμα του απολιθώματος όπως το Σχ. 12. Αν όχι, τότε η διαδικασία θα πρέπει να επαναληφθεί, είτε με περισσότερους και πιο αποτελεσματικούς markers είτε με καλύτερες φωτογραφίες. Σε μερικές περιπτώσεις και όσο ο χρήστης είναι ακόμα άπειρος και πειραματίζεται, υπάρχει η δυνατότητα διπλασιασμού του πίνακα, ώστε να μπορεί να δοκιμάσει επεξεργασίες και λειτουργίες του προγράμματος που είναι μη αναστρέψιμες, χωρίς το άγχος ότι θα πρέπει να επαναλάβει από την αρχή τη διαδικασία, αν κάτι πάει στραβά. Καλό είναι βέβαια να διπλασιάζεται ο πίνακας ούτως ή άλλως για ασφάλεια χρόνου, με απλώς ένα δεξί κλικ πάνω στον πίνακα και την επιλογή duplicate.

Όταν λοιπόν η πολύωρη διαδικασία της ευθυγράμμισης τελειώσει, θα πρέπει

να αραιωθεί η πυκνότητα του σύννεφου σημείων, δηλαδή να διαγραφούν σημεία, τα οποία είναι περιττά. Σε άλλη περίπτωση η διαδικασία παραγωγής dense point cloud θα κρατήσει υπερβολικά πολύ και στη συνέχεια και το τελικό μοντέλο δε θα έχει επαφή με τη πραγματικότητα. Μέσω του μενού Edit της βασικής γραμμής εργαλείων επιλέχθηκε Gradual selection και τέλος Reconstruction Uncertainty. Το παράθυρο που εμφανίζεται έχει στη δεξιά του μεριά τον συνολικό αριθμό των μερικών χιλιάδων σημείων και στην αριστερή τον αριθμό 0. Υπάρχει η επιλογή να γράψει ο χρήστης έναν αριθμό, οπότε στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκε βάση προτεινόμενης βιβλιογραφίας ο αριθμός 10. Στη συνέχεια ο χρήστης πατάει OK και διαγράφει όλα τα επιλεγόμενα σημεία, μέσω ενός κουμπιού κόκκινου X. Παρατηρείται λοιπόν ότι η συντριπτική πλειοψηφία των σημείων έχει διαγραφεί. Τούτα τα σημεία ήταν ουσιαστικά περιττός θόρυβος και δεν αντιπροσώπευαν πραγματικά σημεία.

Στη συνέχεια επιλέχθηκε μέσω του μενού Photo η επιλογή Magic Wand (μαγικό ραβδί) κι έτσι ανοίγει ένα παράθυρο με διάφορα πεδία. Στη περίπτωση αυτή επιλέχθηκαν όλα εκτός από το τελευταίο. Αυτή η σύντομη διαδικασία βελτιώνει την ποιότητα ευθυγράμμισης και - αν και όχι απαραίτητη - γλιτώνει πολύ χρόνο από τη δημιουργία σύννεφου πυκνότητας.

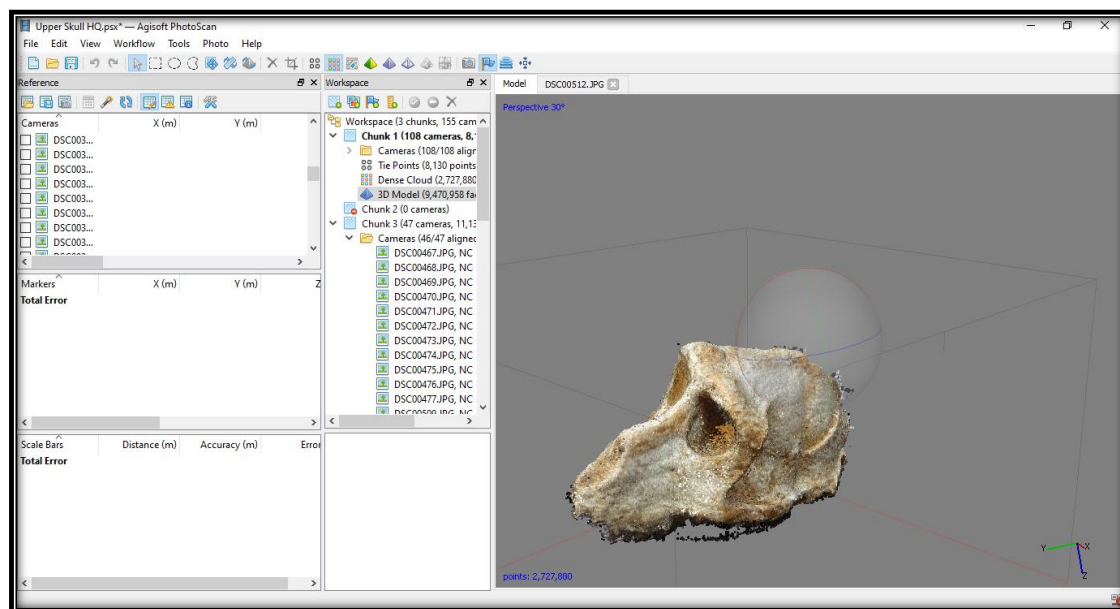
Έπειτα πάλι από το μενού της βασικής γραμμής εργαλείων, Edit → Gradual Selection → Projection Accuracy. Σε αυτή τη φάση ο χρήστης θα πρέπει να επιλέξει το ποσό των σημείων που θα διαγραφούν με ιδιαίτερη προσοχή, καθότι αν διαγραφούν πολλά σημεία, κινδυνεύει να χάσει μεγάλη ποσότητα λεπτομερειών στο μοντέλο. Ουσιαστικά η ρύθμιση βρίσκει τα σημεία που έχουν ξεστρατίσει, αυτά δηλαδή που δεν είναι κεντραρισμένα ή τοποθετημένα σωστά και απέχουν αρκετά από το κύριο σώμα του σύννεφου. Εδώ επιλέχθηκε ο αριθμός 50 και στη συνέχεια ξανά διαγραφή. Αν υπάρχουν ακόμα σημεία που απέχουν από το κύριο σώμα σύννεφου, μπορεί ο χρήστης να τα διαγράψει χειροκίνητα με τον κέρσορα και δεξί κλικ, αφού πρώτα έχει επιλέξει μία μέθοδο επιλογής σημείων (τετράγωνη, κυκλική, ελεύθερο σχήμα).

Όταν επιτέλους όλα αυτά γίνουν, έρχεται η ώρα δημιουργίας του dense point cloud. Εδώ να σημειωθεί ότι όλες αυτές οι διαδικασίες πρέπει να γίνουν και στους δύο πίνακες, είναι όμως στη διακριτική ευχέρεια του χρήστη αν θα φτιάξει πρώτα ένα μοντέλο για τον πρώτο πίνακα και μετά θα περάσει στον δεύτερο, ή αν θα κάνει τις εργασίες παράλληλα και στους δύο. Σημαντικό λοιπόν να επιλεγεί ο σωστός πίνακας (chunk 1) προτού γίνει το οτιδήποτε και επιπλέον το σύννεφο να είναι κεντραρισμένο και μέσα στα ορθογώνια κουτιά (στο παράθυρο model, δεξί κλικ στο σύννεφο σημείων, επιλογή center view).

Στη συνέχεια μέσω ξανά του μενού Workflow, επιλέγεται το Build Dense Cloud. Εμφανίζεται ξανά ένα παράθυρο με παρόμοιες επιλογές με πριν. Στη ποιότητα αυτή τη φορά επιλέχθηκε High. Η κρυμμένη επιλογή Depth filtering αφήνεται στο Aggressive όπως προτείνεται στη βιβλιογραφία (<https://dinosaurpalaeo.wordpress.com/2015/10/11/photogrammetry-tutorial-11-how-to-handle-a-project-in-agisoft-photoscan/>, Mallison & Wings 2014). Τέλος OK και το πρόγραμμα θα επεξεργάζεται ξανά τα δεδομένα για αρκετή ώρα. Όταν θα τελειώσει, το σύννεφο πυκνότητας που θα έχει μπροστά του ο χρήστης θα πρέπει να μοιάζει πολύ με το απολίθωμα στις φωτογραφίες.

Στη περίπτωση που το masking είναι επιτυχημένο, θα πρέπει να υπάρχουν ελάχιστα ή και καθόλου ανεπιθύμητα σημεία στο σύννεφο (dense cloud). Στη προκειμένη περίπτωση υπήρχαν μερικά τέτοια σημεία, ιδίως κοντά στη περιοχή που το απολίθωμα ακουμπούσε στη βάση (Σχ. 13). Έτσι λοιπόν έγινε προσπάθεια να διαγραφούν όσο το δυνατόν περισσότερα. Για άλλη μία φορά, μέσω της βασικής γραμμής εργαλείων, δίπλα από το εικονίδιο του κέρσορα υπάρχουν τρία σχήματα.

Επιλέχθηκε το ελεύθερο και αφότου έγινε σωστή περιστροφή (rotation) του σύννεφου, επιλέχθηκαν κατά το δυνατόν τα περισσότερα άστοχα σημεία και διαγράφηκαν χειροκίνητα. Σε αυτή τη φάση υπάρχει ο κίνδυνος να επιλεγούν και σημαντικά σημεία, χρήσιμα για το τελικό αποτέλεσμα, οπότε απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή από τον χρήστη. Με το τέλος αυτών των εργασιών, η διαδικασία περνάει στα τελευταία στάδια επεξεργασίας.



Σχήμα 13 : Στιγμιότυπο από μία πρώτη προσπάθεια δημιουργίας Dense Cloud της άνω όψης του DFN3 - 150. Παρατηρούνται κατευθείαν μαύρα σημεία στο περίγραμμα, τα οποία είναι αποτέλεσμα απουσίας των masks.

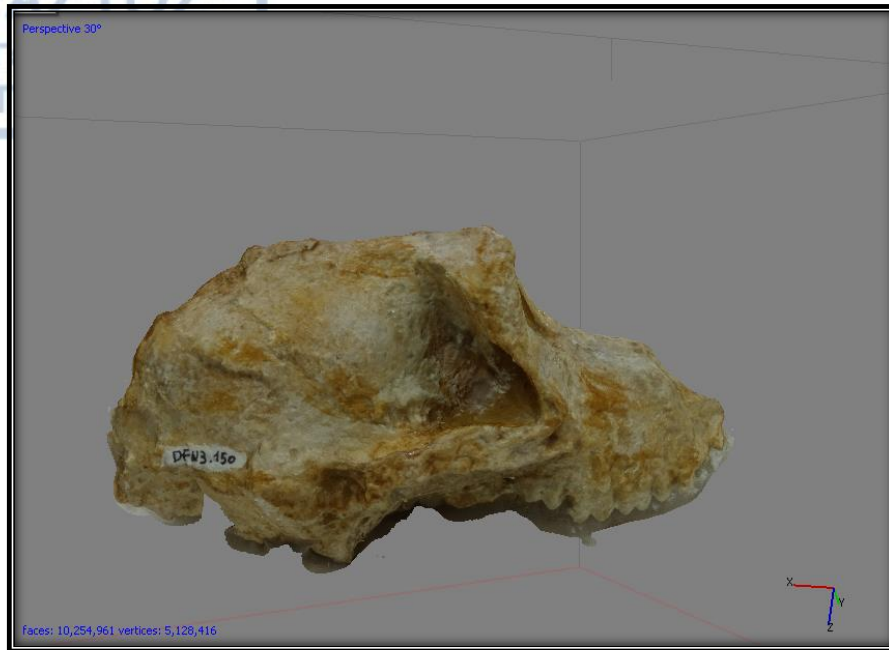
3.5 Στάδιο 4^ο : Τελική εικόνα 3D μοντέλου (Mesh) και συνδυασμός πινάκων (Merge Chunks)

Όταν οι διεργασίες επεξεργασίας του σύννεφου συχνότητας ολοκληρωθούν, μπορεί ο χρήστης να αρχίσει τη διαδικασία παραγωγής του πλέγματος (mesh). Μέσω ξανά του μενού Workflow, επιλέγεται το Build a mesh. Στο παράθυρο που ανοίγει αυτή τη φορά, ο χρήστης έχει ξανά να επιλέξει διάφορες μεθόδους επεξεργασίας. Στη συγκεκριμένη περίπτωση σχεδόν όλες οι επιλογές αφήνονται ως έχουν (Surface type : Arbitrary, Source data : Dense cloud, Advanced : Interpolation : Enabled) , εκτός από το πεδίο του Face count όπου ο χρήστης μπορεί να επιλέξει Custom και στη συνέχεια να γράψει 0. Αυτό θα επιτρέψει στο πρόγραμμα να δημιουργήσει ένα πλέγμα με τον μέγιστο αριθμό ανάλυσης που μπορεί να προκύψει από το συγκεκριμένο σύννεφο πυκνότητας (Σχ. 14). Σε μετέπειτα στάδιο, όπως συνέβη και στη συγκεκριμένη περίπτωση, αν παρατηρηθεί από το χρήστη ότι το πρόγραμμα "κολλάει" και δεν μπορεί να εμφανίσει σωστά την εικόνα του μοντέλου (συνήθως γιατί η κάρτα γραφικών του υπολογιστή είναι για περιορισμένη χρήση), τότε μέσω του μενού Tools → Mesh → Decimate Mesh, μπορεί να μειώσει χειροκίνητα την ανάλυση. Σε αυτή την εργασία, το μοντέλο μειώθηκε στα μόνο 2.500.000 Target face count για να μπορεί να γίνεται η περιστροφή του με άνεση, παρόλο που μπορούσε να είναι πολύ πιο λεπτομερές. Σε αυτή τη φάση όμως και αφού πληκτρολογηθεί το 0, ο χρήστης πατά OK και αναμένει ξανά για πολλές ώρες το πρόγραμμα να επεξεργαστεί τα δεδομένα.

Όταν η διαδικασία τελειώσει θα πρέπει το αποτέλεσμα να είναι ένα άκρως πιστό 3D μοντέλο του απολιθώματος. Όλα τα παραπάνω στάδια θα πρέπει να ακολουθηθούν και για τον δεύτερο πίνακα, προτού μπορέσουν να συνταιριαστούν και οι δύο. Το πιο δύσκολο κομμάτι της διαδικασίας merging είναι η ευθυγράμμιση (alignment). Στη συγκεκριμένη εργασία η ευθυγράμμιση έγινε με βάση τους markers, γι' αυτό και είναι εξαιρετικά σημαντική η τοποθέτηση σημείων που όχι μόνο εμφανίζονται και βοηθάνε στην ευθυγράμμιση του ενός πίνακα, αλλά και στους δύο. Τέτοια σημεία βρίσκονται στην περίμετρο του κρανίου στο όριο άνω και κάτω όψης και στις εξωτερικές επιφάνειες των δοντιών.

Μέσω λοιπόν ξανά του μενού workflow, επιλέγεται το align chunks. Στη συνέχεια ο χρήστης επιλέγει τον πίνακα με τις φωτογραφίες της άνω μεριάς και αυτόν με της κάτω. Στο πεδίο της μεθόδου όπως αναφέρθηκε παραπάνω επιλέγονται οι markers, η ακρίβεια πρέπει να είναι υψηλή και από τα δύο τελευταία πεδία, επιλέγεται μόνο το constrain features by mask. Δοκιμάστηκαν για τη συγκεκριμένη εργασία διάφοροι συνδυασμοί και φάνηκε ότι αυτός που είχε το καλύτερο αποτέλεσμα ήταν να χρησιμοποιηθούν λιγότερες εικόνες για την κάτω όψη, εικόνες δηλαδή που φαίνεται αποκλειστικά σχεδόν η κάτω μεριά και όχι στοιχειά της πάνω (όπως π.χ. οι οφθαλμικές κόγχες). Για τον δεύτερο πίνακα δηλαδή χρησιμοποιήθηκαν φωτογραφίες μόνο κατακόρυφες και 45 μοιρών και όχι οριζόντιες, καθώς το σύννεφο σημείων του merged chunk φάνηκε να εμφανίζει χαρακτηριστικά του άνω μέρους, ανάποδα. Κατά αυτό τον τρόπο αποφεύχθηκαν να υπάρχουν κοινά σημεία στις φωτογραφίες των δύο πινάκων πέρα από τα δόντια και που είναι φυσικά τα χαρακτηριστικά στα οποία είχαν τοποθετηθεί markers.

Αφού γίνει η ευθυγράμμιση, η συνέχεια είναι απλή. Μέσω ξανά του μενού workflow, επιλέχθηκε το Merge Chunks. Επιλέγονται οι πίνακες που έχουν ευθυγραμμιστεί και στη συνέχεια τσεκαρίστηκαν όλα τα πεδία εκτός του merge models. Αν ο χρήστης έχει ολοκληρώσει τη διαδικασία παραγωγής μοντέλου και στους δύο πίνακες, τότε μπορεί να πατήσει merge models, αλλά στη συγκεκριμένη εργασία δοκιμάστηκαν διάφοροι τρόποι και εντέλει κρίθηκε πιο αποτελεσματικό να γίνει μόνο merge dense clouds και merge markers, ώστε να δοθεί η δυνατότητα αργότερα να επεξεργαστεί το σύννεφο πυκνότητας. Όταν ακόμα μία πολύωρη αναμονή τελειώσει, η εικόνα που θα δείχνει ο πίνακας Merged chunk στο παράθυρο model θα είναι ένα ευθυγραμμισμένο σύννεφο πυκνότητας. Η συνέχεια είναι αυτή που ακολουθήθηκε και στους δύο ξεχωριστούς πίνακες, δηλαδή καθαρίζεται το σύννεφο μέσω των επιλογών gradual selection. Εδώ τα σημεία που καθαρίζονται πρέπει, αναλογικά πάντα, να είναι λιγότερα. Τέλος μέσω του μενού workflow επιλέχθηκε το build mesh και όταν και αυτή η αναμονή τελείωσε, το αποτέλεσμα ήταν ένα ολοκληρωμένο 3D μοντέλο του κρανίου DFN3-150.



Σχήμα 14 : Στιγμιότυπο από Shaded Mesh της άνω όψης του DFN3 - 150, προτού λάβει χώρα η λειτουργία Decimate mesh. Παρατηρείται ότι ο αρχικός αριθμός των faces ήταν πάνω από 10.000.000.

3.6 Στάδιο 5^ο : Κλίμακα και μετρήσεις (Scaling the model)

Το 3D μοντέλο από μόνο του μπορεί να δώσει αρκετά στοιχεία, τόσο για το χρώμα, το υλικό και τη σύσταση όσο και για την υφή του απολιθώματος. Χωρίς όμως μία κλίμακα μεγέθους δε θα μπορέσει να παρέχει ικανοποιητικά στοιχεία για τη μελέτη του. Έτσι λοιπόν ένα αρχείο φωτογραμμετρίας που αναπαριστά ένα απολίθωμα, δεν έχει σχεδόν καμία αξία, από ερευνητική άποψη, δίχως κλίμακα. Ένα από τα κύρια αντικείμενα αυτής της εργασίας είναι η δημιουργία κλίμακας και μετρήσεων, ώστε να συγκριθούν αυτές - οι εικονικές - με τις πραγματικές βιομετρικές παρατηρήσεις και να διαπιστωθεί έτσι η αξιοπιστία του συγκεκριμένου μοντέλου.

Αρχικά η τοποθέτηση κλίμακας είναι εύκολη. Αρκεί να τοποθετηθούν δύο markers στις δύο άκρες της κλίμακας των φωτογραφιών. Ο πίνακας που επιλέγεται είναι ο Merged Chunk και στη συνέχεια επιλέγονται με τη σειρά τρεις φωτογραφίες όπου θα φαίνεται η κλίμακα. Με δεξί κλικ στις δύο άκρες της κλίμακας τοποθετούνται δύο σημεία, τα οποία μετονομάζονται scale 1 και 2 ώστε να μη μπερδευτούν με τα υπόλοιπα. Το ότι οι φωτογραφίες έχουν masks δεν επηρεάζει τη διαδικασία. Και στις τρεις φωτογραφίες πρέπει να γίνει αυτή η διαδικασία. Στη συνέχεια μέσω του μενού Reference, επιλέγονται τα δύο σημεία (Scale 1&2) και με δεξί κλικ επιλέγεται το Create Scale Bar. Αυτή η δράση δημιουργεί ένα ευθύγραμμο τμήμα που ενώνει τα δύο σημεία και εμφανίζεται στο μοντέλο. Παρ' όλα αυτά θα πρέπει να δοθεί αριθμητική τιμή σ' αυτό το ευθύγραμμο τμήμα.

Προκειμένου να μπορέσει λοιπόν ο χρήστης να βάλει μετρήσεις στην κλίμακα θα πρέπει, ξανά μέσω του μενού reference, να επιλέξει το εικονίδιο view source (ειδάλλως δε θα μπορεί να πληκτρολογήσει το μήκος της κλίμακας) και στη συνέχεια στο παράθυρο Scale Bar, κάτω από την ένδειξη Distance να πληκτρολογήσει το μήκος της κλίμακας. Προσοχή, η μονάδα μέτρησης είναι τα μέτρα, οπότε στη συγκεκριμένη περίπτωση μία κλίμακα 15 εκατοστών μεταφράζεται σε 0,15 m. Εδώ να σημειωθεί ότι αναμένεται ότι όσες περισσότερες κλίμακες τοποθετηθούν, τόσο με περισσότερη

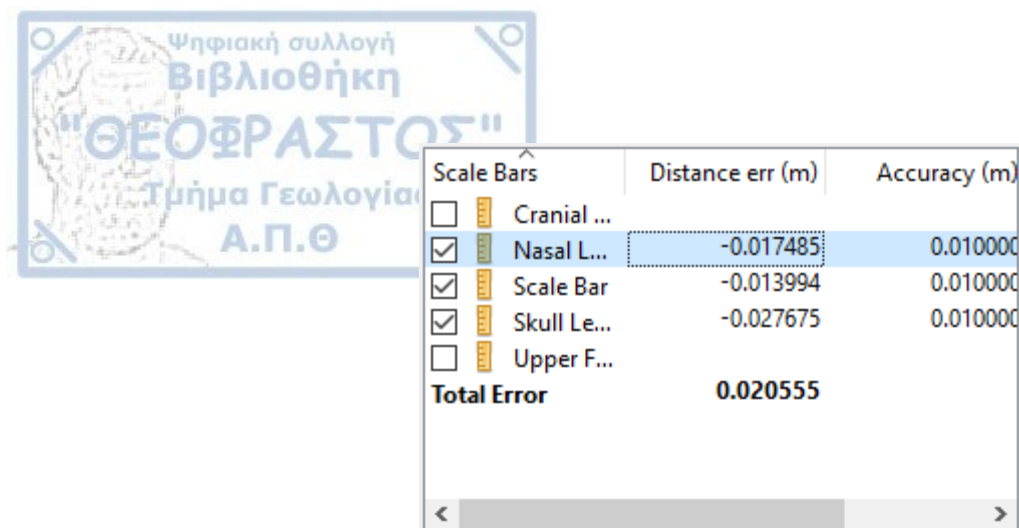
ακρίβεια θα προβάλλει το πρόγραμμα τις μετρήσεις αποστάσεων που του ζητούνται. Στη συγκεκριμένη εργασία όμως η κλίμακα που τοποθετήθηκε αρχικά είναι μία.

Η διαδικασία υπολογισμού απόστασης δύο σημείων, είναι ίδια με αυτή δημιουργίας κλίμακας. Χρειάζεται ο χρήστης να δημιουργήσει δύο σημεία, στη συνέχεια να τα επιλέξει και τέλος να πατήσει την επιλογή Add Scale Bar μέσω του μενού Workspace. Σε αυτή τη περίπτωση χρειάζεται όμως επιπλέον προσοχή στην τοποθέτηση των markers στις φωτογραφίες. Είναι αναγκαίο ο marker που αντιπροσωπεύει για παράδειγμα το inion να είναι τοποθετημένος σε πολλές φωτογραφίες (περισσότερες από 3), ώστε να αυξάνεται η ακρίβεια της μέτρησης. Επίσης πρέπει να τοποθετείται σε κάθε φωτογραφία που εμφανίζεται, στο ίδιο λίγο - πολύ σημείο, με παρεκκλίσεις χιλιοστού, καθώς και αυτό συμβάλει στο σφάλμα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση τοποθετήθηκαν σημεία για το inion, το nasion, rhinion, και prosthion. Με αυτά υπολογίστηκαν τα εξής μεγέθη: Cranial length (inion - nasion), Nasal length (nasion - rhinion), Skull length (inion - prosthion) και Upper Facial height (prosthion - nasion). Τα αποτελέσματα που έδωσε το πρόγραμμα ήταν τα εξής (Σχ. 15) :

Scale Bars	Distance est (m)	Accuracy (m)
☐ Cranial ...	0.098895	
☐ Nasal L...	0.028015	
☒ Scale Bar	0.136006	0.010000
☒ Skull Le...	0.143625	0.010000
☐ Upper F...	0.056960	
Total Error		

Σχήμα 15 : Στιγμιότυπο από τα αποτελέσματα σε μέτρα του View Estimated.

Στη συνέχεια δόθηκε ως δεδομένο και το συνολικό μήκος του κρανίου. Θα περίμενε κανείς έτσι το σφάλμα της μέτρησης στο View Errors να αυξηθεί. Έτσι κι έγινε, παρόλο που οι μετρήσεις στο view estimated έμειναν σταθερές, όταν προστίθεται το νέο, αυξημένο σφάλμα η τιμή που δίνει το πρόγραμμα έρχεται πιο κοντά στη πραγματική. Παραδείγματος χάρι : Με βάση πραγματικές μετρήσεις η απόσταση inion - prosthion ανέρχεται στα 171,3 mm, ενώ το πρόγραμμα μας δίνει στο estimated 143,6 mm. Σε αυτή τη μέτρηση αν προστεθεί το σφάλμα (εικονικής) μέτρησης που με τις δύο κλίμακες είναι 21,9 mm τότε η τιμή της μέτρησης ανέρχεται στα 165,5 mm. Άρα το σφάλμα της εικονικής μέτρησης από την πραγματική μειώνεται στα περίπου 6 mm (τελικό σφάλμα από την πραγματική περίπου 3.52%). Εννοείται λοιπόν ότι όσες περισσότερες μετρήσεις δώσουμε ως δεδομένα στο πρόγραμμα, τόσο το εικονικό σφάλμα της μέτρησης θα αυξάνεται κι έτσι η εικονική μέτρηση θα έρχεται όλο και πιο κοντά στη πραγματική. Τέλος προστέθηκε ως δεδομένη και η μέτρηση Nasal Length (0,0455 m). Τα αποτελέσματα διαμορφώθηκαν ως εξής (Σχ. 16):



Σχήμα 16 : Στιγμιότυπο του σφάλματος σε μέτρα στο View Errors, αφού δόθηκαν τρεις αποστάσεις ως δεδομένες.

Πίνακας 3. : Συγκεντρωτικός πίνακας όπου αναγράφονται μερικές πραγματικές και εικονικές μετρήσεις. Στη μέτρηση Upper Facial Height δεν υπάρχει πραγματικός αριθμός, μόνο εικονικός. Τα πραγματικά δεδομένα πάρθηκαν από τον Table 2 των Kostopoulos et al.

Μετρήσεις	Πραγματική Απόσταση	View Estimated	View Errors	Πραγματικό Σφάλμα
Κλίμακα	15cm (δεδομένο)	13,60cm	02,05cm	4,33%
Skull Length (inion - prosthion)	17,13cm (δεδομένο)	14,36cm	02,05cm	4,20%
Nasal Length	04,55cm (δεδομένο)	02,80cm	02,05cm	6,59%
Cranial Length (inion - nasion)	12,10cm	09,88cm	02,05cm	1,40%
Upper Facial Height (prosthion - nasion)	?	05,69cm	02,05cm	Τελική εικονική μέτρηση : 7,74cm Σφάλμα : ?

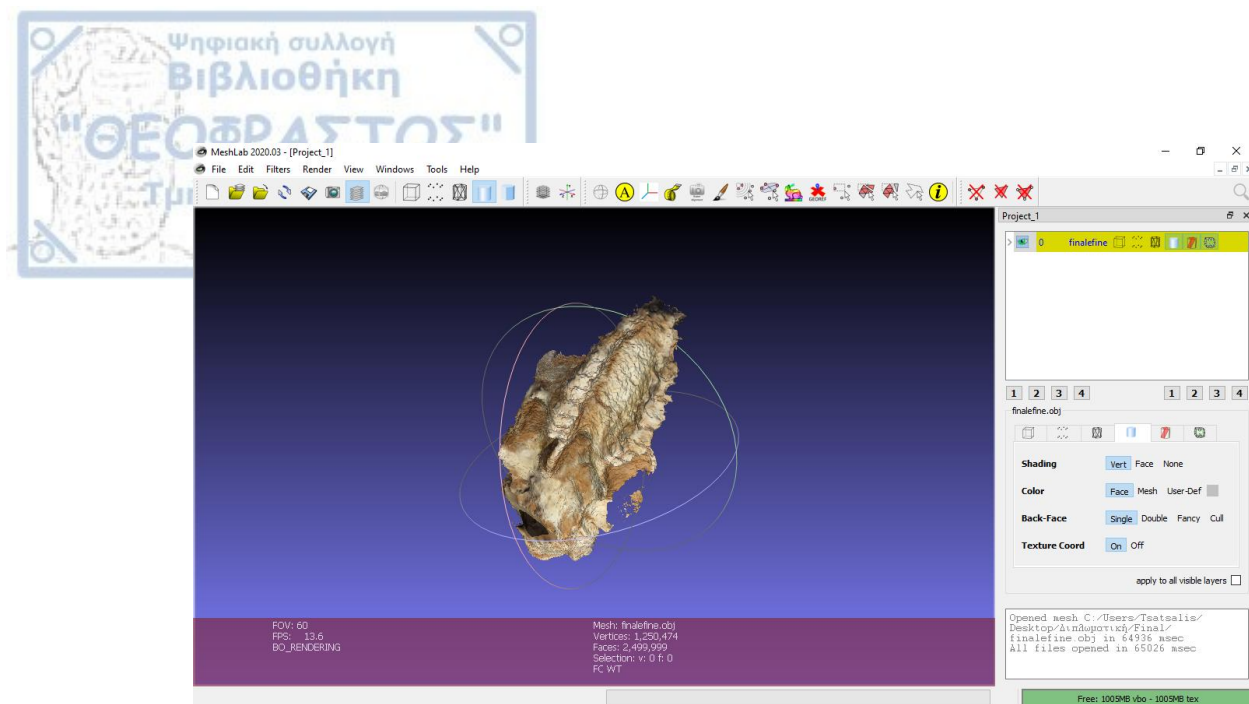
Καταλήγοντας άρα, τουλάχιστον σε αυτή του την έκδοση, το Agisoft Photoscan δεν είναι ικανό να δώσει έμπιστες μετρήσεις ακριβείας βασισμένες σε μονάχα μία πηγή κλίμακας. Θα πρέπει ο επίδοξος ερευνητής που θα επιδιώξει να κάνει μία μελέτη βασισμένη σε ένα αρχείο 3d μοντέλου απολιθώματος να βασιστεί στις πραγματικές μετρήσεις, στη συνέχεια να δώσει ως δεδομένο στο πρόγραμμα αρκετές από αυτές και τέλος να υπολογίσει με ακρίβεια χιλιοστού ή και περισσότερο μία νέα μέτρηση. Το Agisoft Photoscan είναι μία πολύ χρήσιμη εφαρμογή, που όμως εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ικανότητα του χρήστη ώστε να αναπαριστά με ακρίβεια το οτιδήποτε. Όσα περισσότερα ποιοτικά στοιχεία και δεδομένα εισαγάγει ο χρήστης, τόσο πιο κοντά στην πραγματικότητα θα είναι και το αποτέλεσμα που θα λάβει, είτε αυτό θα είναι εικόνα, είτε μετρήσεις. Αυτό είναι εμφανές από τη διακύμανση του πραγματικού σφάλματος του Πίν. 3. Προφανώς κάποια από τα σημεία (nasion, prosthion κλπ) δεν



Σχήμα 17 : Στιγμιότυπο από το Textured Mesh του τελικού μοντέλου (άνω και κάτω όψη) του DFN3 - 150, όπου φαίνονται λεπτομέρειες.

Τέλος μέσω του μενού File, επιλέγεται το Export Model. Ο τύπος αρχείου (format) που είναι πιο αποτελεσματικός είναι Wavefront.OBJ (*.obj). Αφού ο χρήστης πληκτρολογήσει το όνομα πχ Skull.obj και πατήσει Αποθήκευση, ανοίγει ένα παράθυρο στο Agisoft που τιτλοφορείται Export Model - Wavefront OBJ. Ο χρήστης πρέπει να βεβαιωθεί ότι το πεδίο Vertex normals είναι σημαδεμένο και στη συνέχεια να επιλέξει το είδος αρχείου που θα συνοδεύει το obj. Οι τύποι JPEG και PNG λειτουργούν καλύτερα σε περιβάλλον MeshLab και SketchLab (ένα άλλο πρόγραμμα παρόμοιων προδιαγραφών) και τελικά επιλέχθηκε ο PNG στο κουτάκι του Export Texture. Στην περίπτωση που δεν έκανε ο χρήστης Build Texture, αυτό το παράθυρο (Export Model - Wavefront OBJ) δε θα εμφανιζόταν ποτέ και όταν θα προσπαθούσε να ανοίξει το αρχείο .obj στο MeshLab θα εμφανιζόταν μεν το μοντέλο, αλλά θα απουσίαζε παντελώς το χρώμα και η υφή.

Με το πάτημα του OK λοιπόν σχηματίζονται τρία αρχεία. Το ένα είναι το .obj, αυτό που θα επιλεγεί να ανοιχθεί στο MeshLab, και άλλα δύο που το συνοδεύουν, μία εικόνα .jpg και ένα αρχείο .mtl. Αυτή είναι η ομάδα αρχείων που χρησιμοποιείται για να ανοίξει το μοντέλο σε περιβάλλον εκτός Agisoft. Στη συνέχεια ανοίγει ο χρήστης το MeshLab και μέσω του μενού File επιλέγει Import Mesh και αφού βρει το αρχείο .obj το ανοίγει. Το MeshLab θα επεξεργαστεί για λίγο το αίτημα και στη συνέχεια θα παρουσιάσει το τρισδιάστατο μοντέλο (Σχ. 18). Η εικόνα του θα πρέπει να είναι πολύ παρόμοια με αυτή του Agisoft, αν και είναι αναμενόμενο η ποιότητα να είναι ελαφρώς χειρότερη. Το αρχείο που δημιουργήθηκε στην παρούσα εργασία παραδίδεται ως ψηφιακό παράρτημα.



Σχήμα 18 : Στιγμιότυπο από την τελική εικόνα του μοντέλου DFN3 - 150 αφού γίνει export σε περιβάλλον MeshLab.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η επαγγελματική μορφή του Agisoft Photoscan (πλέον Metashape) είναι ένα πρόγραμμα φωτογραμμετρίας που προσφέρει στο χρήστη μία εύκολη αν και ίσως χρονοβόρα εμπειρία δημιουργίας ψηφιακών αρχείων πραγματικών αντικειμένων. Συγκεκριμένα στον κλάδο της παλαιοντολογίας φαίνεται εξαιρετικά χρήσιμο, καθώς παράγει συγκριτικά πολύ καλά αποτελέσματα εικόνας, χωρίς να είναι απαραίτητος υπερβολικός αριθμός φωτογραφιών. Θα μπορούσε για παράδειγμα με ευκολία να δημιουργηθεί ένα ψηφιακό, τρισδιάστατο μοντέλο ενός απολιθώματος, το οποίο δεν έχει εκταφεί ακόμα, μέσα σε μερικές ώρες. Όσον αφορά λοιπόν τα εργαλεία που προσφέρει και την ποιότητα του μοντέλου που παράγει, δεν υπάρχει καμία αμφιβολία και συστήνεται προς χρήση ψηφιακής αναπαράστασης απολιθωμάτων τόσο σε υπαίθριο όσο και σε εργαστηριακό περιβάλλον. Επιπλέον, αποτελεί προτέρημα το γεγονός ότι είναι ένα πρόγραμμα που συνεχώς αναβαθμίζεται, διορθώνονται τα προβλήματα που παρουσιάζει και προστίθενται όλο και περισσότερες λειτουργίες στη γραμμή εργαλείων του.

Τέλος, όσον αφορά την ικανότητά και την αξιοπιστία του στο να υπολογίζει μετρήσεις, υπάρχουν σοβαρές ενστάσεις. Είναι ουσιαστικά αδύνατον να υπολογίσει μετρήσεις με ακρίβεια χιλιοστού με μονάχα μία κλίμακα ως δεδομένο. Σε δείγματα μερικών εκατοστών λοιπόν είναι απαραίτητη η παροχή στο πρόγραμμα ως δεδομένες, μερικών πραγματικών μετρήσεων, ώστε να μειωθεί η διαφορά της πραγματικής από την εικονική τιμή. Ακόμα κι έτσι όμως, παίζει καθοριστικό ρόλο η γνώση ανατομίας του χρήστη και η ικανότητά του να αναγνωρίζει από φωτογραφίες τους χαρακτήρες του δείγματος, ώστε να τοποθετήσει επανειλημμένα στις σωστές θέσεις τα σημεία και έτσι τελικά να γίνει ο υπολογισμός των αποστάσεων. Συμπεραίνεται λοιπόν ότι υπάρχει ακόμα και στη φωτογραμμετρία ο παράγοντας του ανθρώπινου σφάλματος, ο οποίος επηρεάζει αρνητικά το τελικό αποτέλεσμα.

Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας παράχθηκε ένα τρισδιάστατο μοντέλο του δείγματος DFN3 - 150, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της φωτογραμμετρίας κοντινής απόστασης. Τα πρώτα κεφάλαια λειτουργούν ως εισαγωγικά, προκειμένου να γίνουν πλήρως κατανοητά τόσο το περιβάλλον εύρεσης του κρανίου και τα ανατομικά χαρακτηριστικά αυτού, όσο και μερικές μέθοδοι υπολογιστικής παλαιοντολογίας, στις οποίες ανήκει φυσικά και η φωτογραμμετρία.

Αναφορικά, στο κεφάλαιο 1 γίνεται μία απαρίθμηση των απολιθωμάτων των Cercopithecidae και των διαφόρων φάσεων των μεταναστεύσεών τους εκτός Αφρικής, ώστε να γίνει κατανοητή η σημαντικότητα του ευρήματος του Δαφνερού. Επιπλέον αναφέρονται τα γεωγραφικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής των ανασκαφών, καθώς δίνουν στοιχεία για το παλαιοπεριβάλλον και την ποιότητα των ευρημάτων. Επίσης έγινε ανάλυση των σημαντικότερων ανατομικών χαρακτηριστικών του DFN3 - 150 τα οποία οδήγησαν στη ταξινόμηση του εγγύτερα στο είδος *Paradolichopithecus arvernensis*, παρά στο γένος *Procynocephalus*, αν και η συζήτηση συνεχίζεται ακόμα.

Στη συνέχεια παρουσιάστηκαν μερικές τομογραφικές μέθοδοι όπως ο αξονικός τομογράφος και ο τομογράφος - σύγχροτρον, οι οποίοι παράγουν εικόνες μεγάλης λεπτομέρειας και ανάλυσης, ενώ παράλληλα επιτρέπουν τη μελέτη της εσωτερικής δομής των απολιθωμάτων. Αυτές οι μέθοδοι συγκρίθηκαν με τις επιφανειακές μεθόδους, στις οποίες ανήκει και η φωτογραμμετρία, οι οποίες αν και αρκετά πιο εύχρηστες και φθηνές, δε παράγουν το ίδιο επίπεδο πληροφορίας, αφού δίνουν στοιχεία μόνο για την επιφανειακή γεωμετρία του αντικειμένου και φυσικά το χρώμα και την υφή του. Στο τέλος του δεύτερου κεφαλαίου λοιπόν, αναλύθηκαν το αντίκτυπο που είχαν όλες αυτές οι μέθοδοι ψηφιοποίησης στον κλάδο της παλαιοντολογίας και τα οφέλη της κάθε μιας ξεχωριστά, ενώ έγινε και μια αναφορά για την ανάγκη περεταίρω χρήσης τέτοιων μεθόδων, αλλά και καλύτερου διαμοιρασμού της πληροφορίας που αυτές παράγουν.

Στο τρίτο και τελευταίο κεφάλαιο έγινε μία αναλυτική απαρίθμηση των βημάτων που ακολουθήθηκαν ώστε να παραχθεί το τρισδιάστατο μοντέλο του DFN3 - 150, μέσω του προγράμματος Agisoft Photoscan. Η διαδικασία ξεκινά με τον εξοπλισμό ο οποίος βοήθησε ώστε να ληφθούν φωτογραφίες καλής ποιότητας, συνεχίζει με την εισαγωγή των εικόνων στο πρόγραμμα και την επεξεργασία τους, ενώ τελειώνει με την εξαγωγή του μοντέλου με τη μορφή μιας ομάδας αρχείων. Τέλος, κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας έγινε μία προσπάθεια αξιολόγησης του προγράμματος όσο αφορά την ικανότητά του να λαμβάνει μετρήσεις απόστασης που να ανταποκρίνονται στη πραγματικότητα και κρίθηκε επίφοβη και μερικές φορές αναξιόπιστη η χρήση του για τέτοιοι είδους έρευνα.



ABSTRACT

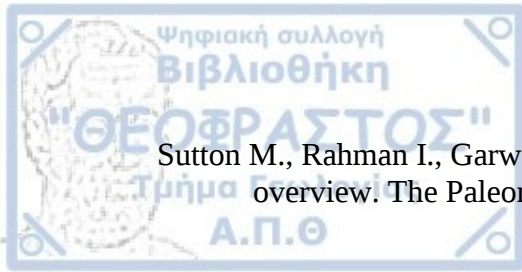
This bachelor's thesis main objective was to produce a three - dimensional model of the specimen DFN3 - 150, using the method of close - range photogrammetry. The first chapter serves as introduction, so the reader can be properly accustomed to not only the anatomical features of the skull, but also the geography of the area in which it was found. In addition, there is a chapter dedicated solely to the explanation of some of the virtual techniques used most in the field of paleontology. Photogrammetry is one of those techniques.

The first chapter attempts to number the most important fossil findings of Cercopithecidae, in order to grasp all the different phases and timelines of their exodus out of Africa. That way, the importance of the Dafnero specimen is becoming more apparent. The geographical and geological features of the area of the excavations are also presented here, because of their importance in understanding the paleoenvironmental background of the area and also the quality of the fossils themselves. In addition to that, some of the anatomical characteristics of DFN3 - 150 are also presented here, because they proved extremely useful in placing the specimen closer to the Paradolichopithecus genus, rather than the Procynocephalus.

The following chapter deals with contemporary methods of virtual paleontology, such as CT tomography and Synchrotron radiation tomography, which not only produce images of great detail and big resolutions, but also offer a glimpse in the internal structure of the fossils of interest. Furthermore, there were surface - based methods that were presented here, including photogrammetry. Those methods focus solely on the external features and the geometry of the specimen at hand, as opposed to the tomographic reconstructions. They are however superior in other aspects, such as their ability to be portable and economically friendly, without having to sacrifice much of the detail and the big resolutions that come with most tomographic techniques. The chapter concludes with the impact of each and every one of those methods in the paleontological research, while also underlining the need for a better distribution and communication of the information that these methods manage to generate.

Finally, in the third and most important chapter, there is a step - by - step presentation of the process that was followed, in order to generate the three - dimensional model of DFN3 - 150 using the program of Agisoft Photoscan. The process starts from the very first step, which is photographing the specimen from many different angles and continues on to the process of editing the photos inside the Agisoft Photoscan environment, to then finally generating the model and exporting it to a different medium. In conclusion, there was an attempt of evaluating whether the program is capable of producing small - error calculations of distance between two different points on the specimen. On that matter, Agisoft Photoscan was deemed unreliable, as some of the biometric measures that were taken virtually, had a big error, compared to the factual ones.

- Cunningham J. A., Rahman I. A., Lautenschlager S., Rayfield E. J., Donoghue P. C. J., 2014. A virtual world of paleontology. School of Earth Sciences, University of Bristol, Wills Memorial Building, Queen's Road, Bristol BS8 1RJ, UK.
- Davies G., Oates J. F., 1994. What are the colobines, In Davies & Oates J. F. ((Eds) Colobine Monkeys : Their Ecology, Behavior and Evolution pp. 1-10. Cambridge University Press
- Delson E., 1994. Evolutionary history of the colobine monkeys in paleoenvironmental perspective. In Davies G & Oates J. F. ((Eds) Colobine Monkeys : Their Ecology, Behavior and Evolution pp. 11-20. Cambridge University Press.
- Elewa A. M.T., 2011, Computational Paleontology. Springer
- Falkingham P. L., 2000. Acquisition of high resolution three - dimensional models using free, open-source, photogrammetric software. Palaeontologia Electronica
- Frost S. R., 2017. Evolution of the Cercopithecidae. University of Oregon, Chapter April (2017).
- Kostopoulos D. S., Guy F., Kynigopoulou Z., Koufos G. D., Valentin X., Merceron G., 2018. A 2Ma old baboon-like monkey from Northern Greece and new evidence to support the Paradolichopithecus - Procynocephalus synonymy (Primates: Cercopithecidae). Journal of Human Evolution 121 (2018) 178 - 192.
- Koufos G. D., Kostopoulos D. S., Koliadimou K., 1991. A new mammalian locality in the Villafranchian of western Macedonia, Greece. C. R. Acad. Sci. Paris, t. 313: 831 - 836.
- Mallison H., Wings O., 2014. Photogrammetry in paleontology - A practical guide. Journal of Paleontological Techniques, Number 12, Jul 2014.
- Rahman I., Adcock K., Garwood R. J., 2012. Virtual Fossils: a New Resource for Science Communication in Paleontology. Springer Science and Business Media New York (2012).
- Sutton M., Rahman I., Garwood R., 2015. Techniques for Virtual Palaeontology, ENHANCED E - BOOK, WILEY Blackwell.



Sutton M., Rahman I., Garwood R., 2017. Virtual paleontology - An overview. The Paleontological Society Papers 22 (2017) 1–20.

Ελληνική Βιβλιογραφία

Κωστόπουλος Δ. Σ., Κουφός Γ. Δ., 2015, Παλαιοντολογία Σπονδυλωτών : Η εξέλιξη του έμβιου κόσμου: Χορδωτά. Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα www.kallipos.gr . 214 - 215 σελ.

Διαδικτυακές Πηγές

<https://dinosaurpalaeo.wordpress.com/2015/10/11/photogrammetry-tutorial-11-how-to-handle-a-project-in-agisoft-photoscan/> (αναρτήθηκε 11 - 10 - 2015)

<https://animaldiversity.org/accounts/Cercopithecidae/> (αναρτήθηκε 23 - 5 - 2020)

Agisoft and Sketchlab forums