

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΧΕΔΙΟΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΡΧΑΙΟΥ ΚΟΛΠΟΣΚΟΠΙΟΥ  
ΚΑΙ ΑΡΧΑΙΑΣ ΚΕΦΑΛΗΣ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ ΘΑΛΑΜΟΥ ΕΠΙΒΑΤΩΝ ΑΜΑΞΑΣ,  
ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΕ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΖΟΜΕΝΕΣ ΑΠΟ Η/Υ**

**Κ.-Δ. Μπουζάκης<sup>1</sup>, Δ. Παντερμαλής<sup>2</sup>, Κ. Ευσταθίου<sup>1</sup>, Ε. Βαρύτης<sup>1</sup>, Ν. Μιχαηλίδης<sup>1</sup>,  
Γ. Μαυρουδής<sup>2</sup>, Δ. Σαγρής<sup>1</sup>, Α. Ασημακόπουλος<sup>1</sup>**

1. Εργαστήριο Εργαλειομηχανών και Διαμορφωτικής Μηχανολογίας,  
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
2. Αρχαιολογικά Εργαστήρια Δίου, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία με τη βοήθεια μετρήσεων τομογράφου ακτινών Roentgen βιομηχανικών χρήσεων, υποστηριζόμενου από ηλεκτρονικό υπολογιστή (Η/Υ), γίνεται διερεύνηση ενός σύνθετου μηχανισμού κολποσκοπίου, καθώς και μιας κεφαλής ανάρτησης του θαλάμου των επιβατών, ταξιδιωτικής άμαξας, που ανευρέθησαν κατά τη διάρκεια ανασκαφών στο Δίον. Μέσω των τομογραφιών αναπαράχθηκε η γεωμετρία του μηχανισμού του κολποσκοπίου και έγινε προσομοίωση της κινηματικής κατά την λειτουργία του. Με βάση αυτά τα στοιχεία διερευνήθηκαν στη συνέχεια η σχεδιομελέτη του μηχανισμού και των κατασκευαστικών στοιχείων του, καθώς και οι διαδικασίες μορφοποίησης τους. Αντίστοιχα για την κεφαλή ανάρτησης θαλάμου επιβατών ταξιδιωτικής άμαξας, ο έλεγχος της αντοχής της, έγινε μέσω προσομοίωσης, με τη βοήθεια της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων (FEM) και εξετάστηκε μέσω τομογραφιών, το κατά πόσο η μικροδομή της κεφαλής κάλυπτε, τις απαιτήσεις των μηχανικών ιδιοτήτων, που ελήφθησαν υπόψη κατά τους υπολογισμούς.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Αρχαιολογικά ευρήματα, βιομηχανικός τομογράφος με την βοήθεια Η/Υ, στερεά μοντελοποίηση, μηχανισμός, αντοχή,

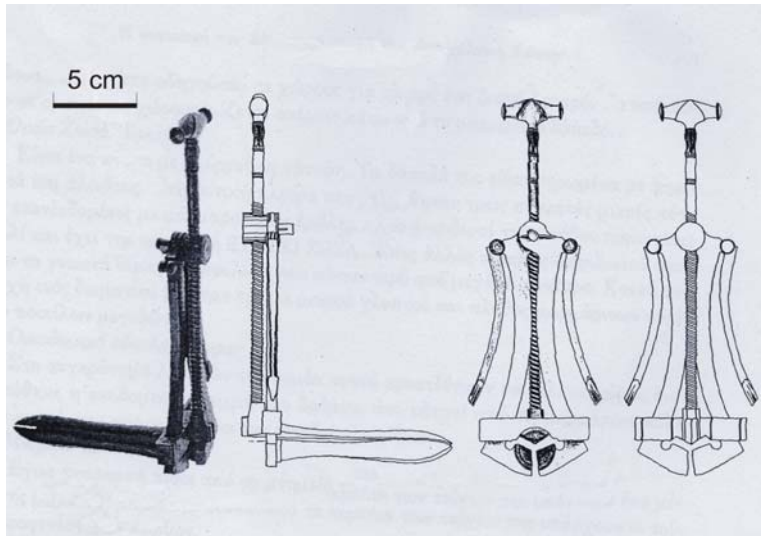
## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα σημαντικό εύρημα που βρέθηκε κατά την διάρκεια ανασκαφών στον αρχαιολογικό χώρο του Δίου, οι οποίες διεξάγονται από τον καθηγητή κ. Δ. Παντερμαλή, είναι το κολποσκόπιο που φαίνεται στο αριστερό μέρος του σχήματος 1. Το συγκεκριμένο εύρημα εκτιμάται ότι προέρχεται από τον 1<sup>ο</sup> αιώνα μ.Χ. Μια πρώτη αποτύπωση της γεωμετρίας του σε δύο όψεις, με χρήση συμβατικών μέσων μέτρησης και σχεδίασης, φαίνεται στο δεξιό μέρος του σχήματος 1/.

Το κολποσκόπιο (vagina speculum) έχει μήκος περίπου 220 mm και αποτελείται από έναν άξονα, του οποίου το μεγαλύτερο τμήμα έχει μορφή κοχλίας και καταλήγει σε διακοσμημένη λαβή σχήματος T. Ο κοχλίας περνά μέσα από τη λεγόμενη χελώνη, ένα κυλινδρικής μορφής περικόχλιο, το οποίο αναγκάζεται να μετακινείται αξονικά μόλις συστραφεί ο άξονας. Η χελώνη φέρει στη μια της πλευρά αξονίσκο, από τον οποίο εξαρτώνται δύο ελαφρά κεκαμμένοι βραχίονες. Κάθε κίνηση της χελώνης συμπαρασύρει μέσω του μηχανισμού του κολποσκοπίου και τους βραχίονες. Στη βάση των βραχιόνων είναι προσαρμοσμένες δύο κινητές χειρολαβές. Το πέρας του κοχλίας, κυλινδρικής διατομής, στρέφεται ατέρμονα μέσα σε μια κυλινδρική υποδοχή, που βρίσκεται εντός συμπαγούς κανόνα μήκους περίπου 65 mm. Η μετακίνηση του κοχλίας αξονικά, εμποδίζεται με τη βοήθεια ενός κατάλληλα διαμορφωμένου πείρου εντός της κυλινδρικής υποδοχής του, στον συμπαγή κανόνα,



όπως θα περιγραφεί στη συνέχεια. Στο πίσω μέρος του κανόνα υπάρχουν υποδοχές ολίσθησης για τους δύο βραχίονες, που καλύπτονται και ασφαλίζονται από συρόμενα πλακίδια. Όταν αρχίσει ο κοχλίας να στρέφεται προς τα δεξιά, μετακινείται η χελώνη προς το κάτω άκρο του, ωθώντας ταυτόχρονα σε ήπια και δίχως βίαιη κλιμάκωση κίνηση, τους βραχίονες, που ανοίγουν σταθερά προς τα έξω, εξαιτίας των υποδοχών του κανόνα.



**Σχήμα 1:** Κολποσκοπίο 1<sup>ου</sup> αιώνα μ.Χ.

Στο πέρας των βραχιόνων είναι στερεωμένα δύο έμβολα ενώ ένα τρίτο έμβολο είναι προσαρμοσμένο στο μέσο του κανόνα. Όταν το όργανο είναι κλειστό τα τρία έμβολα σχηματίζουν ένα μεταβαλλόμενης κυκλικής διατομής επίμηκες στέλεχος, επονομαζόμενο πριαπίσκος, ή και λωτός, που σημαίνει τριφύλλι, επειδή με τη δεξιόστροφη κίνηση του κοχλία διαιρείται σε τρία σκέλη. Τέλος με το άνοιγμα των δύο λαβών, το όργανο μπορούσε να κρατηθεί σταθερά κατά την χρήση /1/.

Με στόχο τη διερεύνηση του μηχανισμού, καθώς και την κατασκευή ενός λειτουργικού πιστού αντίγραφου του κολποσκοπίου, είναι αναγκαίο καταρχήν να καταγραφεί η στερεά γεωμετρία των επιμέρους εξαρτημάτων του. Εν προκειμένω, το κολποσκοπίο αποτελείται από 15 εξαρτήματα, 11 από τα οποία είναι διαφορετικά μεταξύ τους. Υπάρχουν επίσης εσωτερικές διαμορφώσεις, καθώς και εξαρτήματα, που δεν είναι ορατά. Επιπλέον σε διάφορα σημεία της εξωτερικής επιφάνειας, υπάρχουν καλλιτεχνικές αναπαραστάσεις, οι οποίες είναι δύσκολο να καταγραφούν. Μια μέθοδος που επιτρέπει την καταγραφή της στερεάς γεωμετρίας, εξωτερικών και εσωτερικών διαμορφώσεων, είναι η τομογραφία (CT) /2,3,4,5,6/.

Για την καταγραφή της στερεάς γεωμετρίας του κολποσκοπίου, ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία. Αρχικά το αντικείμενο μετρήθηκε με συμβατικά μέσα μέτρησης και σχεδιάστηκε με τη βοήθεια συστήματος CAD, το στερεό τρισδιάστατο μοντέλο του, αποτελούμενο από τα επιμέρους εξαρτήματα. Για τον έλεγχο της γεωμετρικής τους ακρίβειας αλλά και την εξακρίβωση της μορφής εσωτερικών, μη ορατών στοιχείων, χρησιμοποιήθηκαν τα αρχεία, που προέκυψαν από την σάρωση του αντικειμένου μέσω Η/Υ τομογράφου. Στη συνέχεια ακολούθησε η καταγραφή των ανάγλυφων καλλιτεχνικών λεπτομερειών στο τρισδιάστατο μοντέλο, η οποία έγινε με την εισαγωγή ψηφιακών φωτογραφιών, όπως θα εξηγηθεί στη συνέχεια. Μετά την καταγραφή της στερεάς

γεωμετρίας του αντικειμένου, δημιουργήθηκε ένα πιστό λειτουργικό αντίγραφο, σε ηλεκτρονική μορφή (μοντέλο CAD), καθώς και ένα video προσομοίωσης της κινηματικής του. Παράλληλα μελετήθηκαν η λειτουργία του κολποσκοπίου και η δομή του υλικού, χρησιμοποιώντας τομές από τα αρχεία των μετρήσεων, σε διάφορα σημεία του οργάνου, με σκοπό την αναζήτηση τεχνολογικών λεπτομερειών, που φανερώνουν την στάθμη της τεχνικής εκείνης της εποχής, καθώς και τον τρόπο μορφοποίησής τους.

## 2. ΑΞΟΝΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΤΟΥ ΚΟΛΠΟΣΚΟΠΙΟΥ

Η τομογραφία με την υποστήριξη ηλεκτρονικών υπολογιστών (CT) είναι μια νέα καινοτομική μέθοδος, που χρησιμοποιείται σε πολλές βιομηχανικές εφαρμογές. Έχει το πλεονέκτημα συγκριτικά με άλλες μεθόδους σάρωσης (Λέιζερ, CMM), ότι επιτρέπει την καταγραφή τόσο της εξωτερικής γεωμετρίας, όσο και των εσωτερικών διαμορφώσεων του αντικειμένου. Τα κύρια μέρη του τομογράφου είναι η πηγή ακτινοβολίας, η οποία παράγει την Χ ακτινοβολία (Roentgen) και ο ανιχνευτής (βλέπε [σχήμα 2](#)). Το αντικείμενο που πρόκειται να υποβληθεί σε Η/Υ τομογραφία, τοποθετείται μεταξύ των κύριων μερών του τομογράφου και πραγματοποιούνται πολλαπλές τομογραφίες, σε μικρό σχετικά χρόνο, σε διαδοχικές θέσεις περιστροφής του.

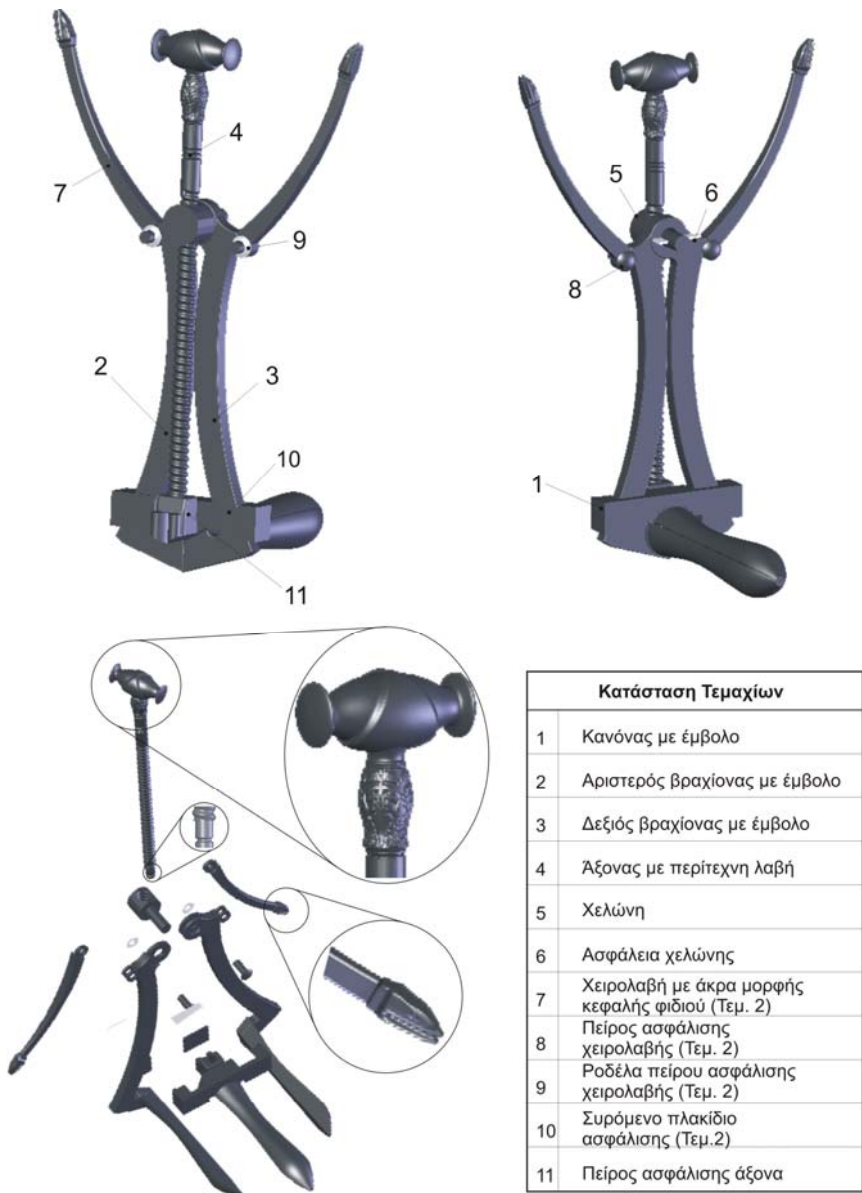


**Σχήμα 2:** Καταγραφή της γεωμετρίας σε ηλεκτρονική μορφή, με τη βοήθεια αξονικού τομογράφου, υποστηριζόμενου από ηλεκτρονικό υπολογιστή (Η/Υ).

Η μέθοδος βασίζεται στη μέτρηση της εξασθένισης της ακτινοβολίας, καθώς αυτή διέρχεται μέσα από τη μάζα του αντικειμένου, σε διάφορες κατευθύνσεις. Με τη βοήθεια ενός μαθηματικού αλγορίθμου δημιουργείται ένας χάρτης της μείωσης της ακτινοβολίας, για κάθε θέση περιστροφής του αντικειμένου. Στο χάρτη αυτόν αποτυπώνονται, συγκριτικά, οι διαφορετικές πυκνότητες των υλικών του αντικειμένου.

Στην προκειμένη περίπτωση, αρχικά η σάρωση του κολποσκοπίου έγινε σε Η/Υ τομογράφο ισχύος 250 KVA ακρίβειας 10  $\mu\text{m}$ . Η ισχύς αυτή δεν ήταν αρκετή για να διεισδύσει η ακτινοβολία στο αντικείμενο, λόγω του μεγάλου πάχους των τοιχωμάτων του. Για το λόγο αυτό διεξήχθη περαιτέρω σάρωση του αντικειμένου σε Η/Υ τομογράφο, μεγαλύτερης ισχύος (450 KVA). Στην περίπτωση αυτή καταγράφηκαν όλες οι εσωτερικές διαμορφώσεις του αντικειμένου, αλλά δεν κατέστη δυνατό να καταγραφούν με ακρίβεια καλλιτεχνικές λεπτομέρειες, που υπάρχουν στην επιφάνειά του, λόγω της μικρότερης ακρίβειας του τομογράφου αυτού, της τάξεως των 200  $\mu\text{m}$ .

Το κολποσκόπιο αρχικά μετρήθηκε, όπως ήδη αναφέρθηκε, με τη βοήθεια συμβατικών μέσων μέτρησης (παχύμετρα, μικρόμετρα) και προέκυψαν τα σχέδια που παρουσιάστηκαν στο δεξιό μέρος του σχήματος 1.



**Σχήμα 3:** Τρισδιάστατο CAD μοντέλο του κολποσκοπίου και κατάσταση τεμαχίων του

Για τον έλεγχο της γεωμετρικής τους ακρίβειας, καθώς επίσης και για την εξακρίβωση του τρόπου με τον οποίο είναι συναρμολογημένα τα επιμέρους τεμάχια, χρησιμοποιήθηκε το STL αρχείο, που προήλθε από τη σάρωση του αντικειμένου μέσω του H/Y τομογράφου. Από το STL αρχείο δεν υπάρχει η δυνατότητα της εξαγωγής και της απομόνωσης των επιμέρους εξαρτημάτων του αντικειμένου. Για το λόγο αυτό σχεδιάστηκαν τα τρισδιάστατα επιμέρους αντικείμενα που

απαρτίζουν το κολποσκοπίο, με τη βοήθεια των συμβατικών μετρήσεων και συγκρίθηκαν με αυτά που προέκυψαν από τον τομογράφο για να ελεγχθεί η ακρίβειά τους. Όπου υπήρχαν αποκλίσεις έγινε διόρθωση, με βάση τα αρχεία της τομογραφίας.

Με αυτόν τον τρόπο προέκυψε το τρισδιάστατο μοντέλο του συναρμολογημένου αντικειμένου, καθώς και τα επιμέρους τεμάχια του κολποσκοπίου, που φαίνονται στο [σχήμα 3](#). Αρκετά από αυτά τα εξαρτήματα έχουν ιδιαίτερα σύνθετη στερεά γεωμετρία. Κατά την δημιουργία του στερεού (CAD) μοντέλου του κολποσκοπίου, η συναρμολόγηση των επιμέρους εξαρτημάτων έχει γίνει με τέτοιο τρόπο, ώστε να εξασφαλίζεται η σωστή λειτουργία του κολποσκοπίου και έχει γίνει έλεγχος για τη σωστή τοποθέτησή τους, ώστε να μην συγκρούονται κατά τη λειτουργία του.

Οι καλλιτεχνικές λεπτομέρειες που υπάρχουν στο επάνω μέρος της λαβής του άξονα του μηχανισμού, καθώς και αυτές που βρίσκονται στις άκρες των δύο χειρολαβών του και φαίνονται στο τρισδιάστατο μοντέλο στο [σχήμα 3](#), τοποθετήθηκαν στις εικονιζόμενες θέσεις κατά ένα δεύτερο στάδιο επεξεργασίας.

Η απευθείας σχεδίαση αυτών των λεπτομερειών, είναι μια διαδικασία χρονοβόρα και ανακριβής και βασίζεται στην καλλιτεχνική ικανότητα του σχεδιαστή για την αποτύπωση τους. Από το STL αρχεία του Η/Υ τομογράφου επίσης δεν μπορούν να εξαχθούν ακριβείς πληροφορίες, διότι όπως ήδη αναφέρθηκε λόγω του πάχους των τοιχωμάτων του κολποσκοπίου και της μεγάλης σχετικά ενέργειας που είναι απαραίτητη να το διαπεράσει, χρησιμοποιήθηκε τομογράφος 450 KVA, ο οποίος όμως είχε μικρή σχετικά ακρίβεια αποτύπωσης. Αποτέλεσμα αυτού είναι ότι εξωτερικές περιοχές με ανάγλυφες μικροπαραστάσεις, να μην καταγραφούν με την απαιτούμενη ακρίβεια.

Για την αποτύπωση των ανάγλυφων καλλιτεχνικών λεπτομερειών επάνω στο τρισδιάστατο ηλεκτρονικό ( CAD) μοντέλο, χρησιμοποιήθηκε μια καινοτόμος μέθοδος, η οποία βασίζεται στην χρήση ψηφιακών φωτογραφιών του πραγματικού αντικειμένου. Σύμφωνα με αυτήν, φωτογραφίζεται η περιοχή που πρόκειται να αντιγραφεί και εισάγεται στο τρισδιάστατο μοντέλο με τη χρήση ειδικού λογισμικού. Η βασική αρχή που διέπει αυτή τη μεθοδολογία, στηρίζεται στην αντίθεση της φωτεινότητας των περιοχών του αντικειμένου, που εικονίζεται στη φωτογραφία. Έτσι ανάλογα με την αντίθεση της φωτεινότητας και τις κατάλληλες ρυθμίσεις του λογισμικού, γίνεται εφικτή η εισαγωγή των ανάγλυφων λεπτομερειών στο τρισδιάστατο μοντέλο CAD του αντικειμένου /7/.

### **3. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΣΧΕΔΙΟΜΕΛΕΤΗΣ ΤΟΥ ΚΟΛΠΟΣΚΟΠΙΟΥ**

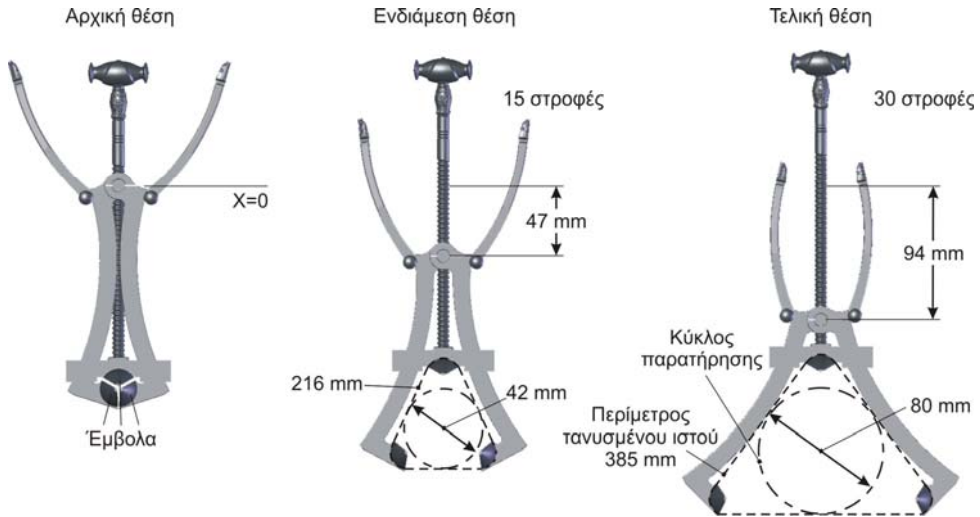
#### **3.1 Προσδιορισμός κυρίων διαστάσεων μηχανισμού κίνησης εμβόλων.**

Ένα βασικό στοιχείο απαραίτητο για την σχεδίαση του μηχανισμού του κολποσκοπίου, είναι το μέγεθος ανοίγματος των εμβόλων του πριαπίσκου. Από στατιστικά ιατρικά στοιχεία, είναι γνωστό ότι η περίμετρος της κεφαλής νεογέννητου κοριτσιού κυμαίνεται από 325 έως 355 mm και αντίστοιχα του άρρενος μεταξύ 330 μέχρι 360 mm. Από τα στοιχεία αυτά συμπεραίνεται ότι μέσω ενός τέτοιου μηχανισμού, στην τελική του θέση ανοίγματος των εμβόλων, η περίμετρος του τανυσμένου ιστού της υπό εξέταση γυναίκας, πρέπει να είναι κατά μέγιστο, αυτής της τάξης μεγέθους.

Με τη βοήθεια της προσομοίωσης της κινηματικής του κολποσκοπίου είναι δυνατό να προσδιορισθούν τα στοιχεία αυτά, για διάφορες διαστάσεις των μελών του κολποσκοπίου.

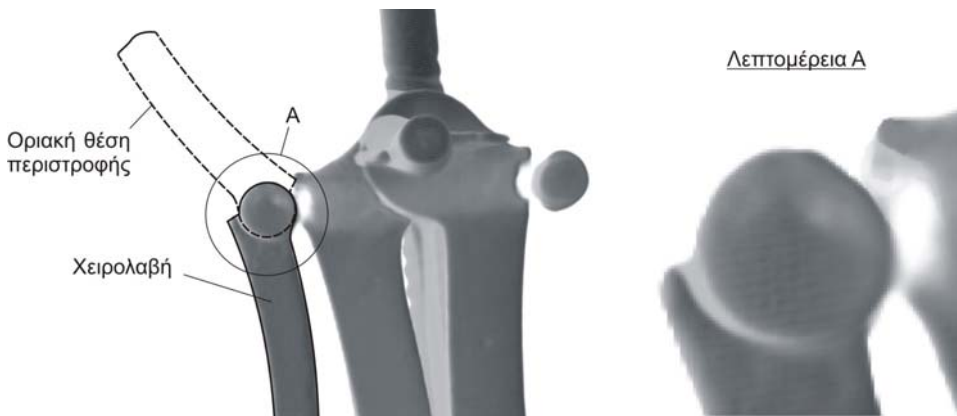
Στο [σχήμα 4](#) φαίνονται τρεις διαφορετικές θέσεις λειτουργίας του ανευρεθέντος οργάνου. Στην αρχική θέση, τα έμβολα είναι κλειστά. Αυτή είναι η θέση από την οποία ξεκινούσε ο ιατρός την

εξέταση. Η δεύτερη είναι μια ενδιάμεση θέση εξέτασης. Με διακεκομμένη γραμμή παρίσταται ο τανυσμένος ιστός της εξεταζόμενης. Η ενδιάμεση αυτή θέση αντιστοιχεί σε 15 στροφές του άξονα, ή αντίστοιχα σε κατά μήκος μετακίνηση της λαβής περίπου κατά 47 mm. Η περίμετρος του τανυσμένου ιστού στη θέση αυτή ανέρχεται σε 216 mm. Τέλος η τελική θέση αντιστοιχεί στο μέγιστο άνοιγμα του κολποσκοπίου, η οποία επιτυγχάνεται μετά 30 στροφές του άξονα, που ισοδυναμούν σε 94 mm κατά μήκος μετατόπιση της λαβής. Σε αυτήν την τελική θέση η περίμετρος του τανυσμένου ιστού ανέρχεται κατά μέγιστο σε 385 mm.



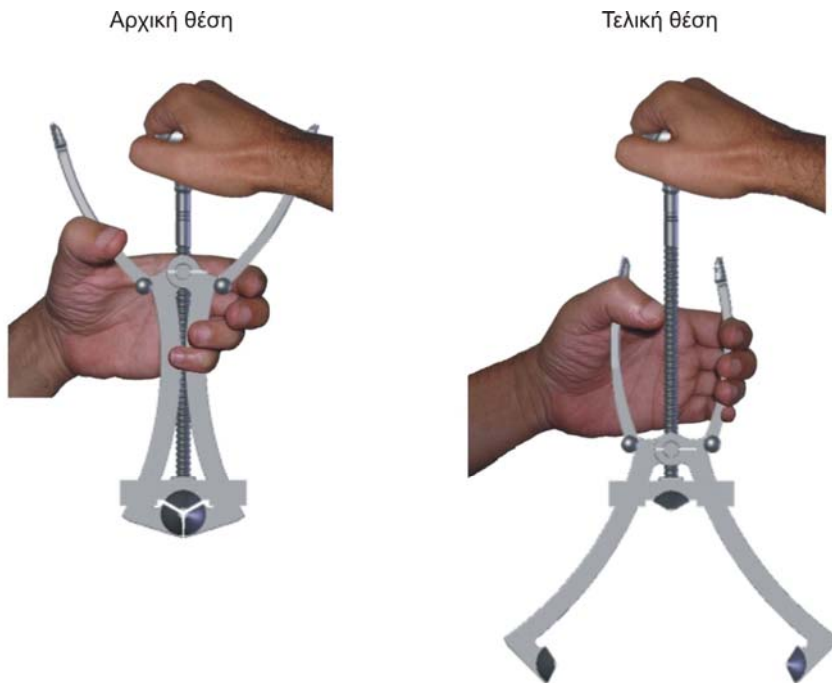
**Σχήμα 4:** Προσομοίωση λειτουργίας του κολποσκοπίου σε τρεις διαφορετικές θέσεις.

Στο σχήμα 5 είναι καταχωρημένη η αξονική τομογραφία του κολποσκοπίου, στην περιοχή άρθρωσης των λαβών του. Η δεξιά λαβή δεν ανευρέθη κατά τις ανασκαφές. Στην αριστερή λαβή, η οποία στην τομογραφία είναι σε κλειστή κατάσταση, φαίνονται οι διαμορφώσεις που υπάρχουν στη λαβή και αντίστοιχα στον βραχίονα, οι οποίες οριοθετούν και την τελική θέση της λαβής, όταν αυτή αναδιπλωθεί. Η θέση αυτή έχει καταχωρηθεί στο σχήμα με διακεκομμένη γραμμή.



**Σχήμα 5:** Αξονική τομογραφία του κολποσκοπίου, με ελλείπουσα την δεξιά χειρολαβή.

Σχετικά με το χειρισμό του κολποσκοπίου ο χειριστής συγκρατούσε το όργανο, όπως φαίνεται στο σχήμα 6 και για το λόγο αυτό οι λαβές του κολποσκοπίου μετά την αναδίπλωση τους έφταναν στο όριο, που φαίνεται στο σχήμα. Τιοιουτοτρόπως ο χειριστής τις συγκρατούσε με το ένα χέρι και με το άλλο χέρι, μπορούσε να περιστρέφει τον κοχλία ανεμπόδιστα. Κατά την τάνυση του ιστού της εξεταζόμενης, το άνοιγμα των χειρολαβών μικραίνει και το κολποσκόπιο μπορεί ευχερώς να συγκρατηθεί μέσω της παλάμης, όπως φαίνεται στο σχήμα 6. Εν προκειμένω δύναται να υποτεθεί ότι η θραύση της δεξιάς χειρολαβής, η οποία δεν βρέθηκε κατά την ανασκαφή, οφείλεται σε ακούσια υπερφόρτιση της από τον χειριστή, ή έντονης κίνησης της εξεταζόμενης, στη θέση λειτουργίας του κολποσκοπίου, που φαίνεται δεξιά στο σχήμα.

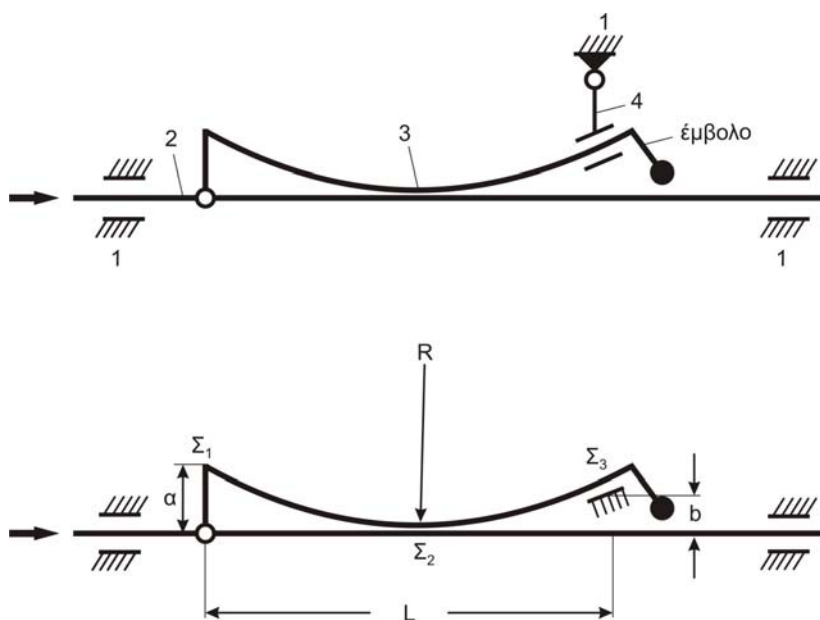


**Σχήμα 6:** Χειρισμός του κολποσκοπίου.

Το σκαρίφημα του ισοδύναμου μηχανισμού ανοίγματος των εμβόλων του κολποσκοπίου παρίσταται στο άνω μέρος του σχήματος 7. Πρόκειται για επίπεδο μηχανισμό με τέσσερα μέλη. Το μέλος 2 εκτελεί οριζόντια μετατόπιση εντός των σχετικών ολισθητήρων. Το μέλος 3 συνδέεται μέσω άρθρωσης με το 2 και μέσω ολισθητήρα, με το μέλος 4. Το μέλος 4 περιστρέφεται γύρω από σταθερή άρθρωση. Εν προκειμένω για λόγους απλοποίησης της κατασκευής του κολποσκοπίου το μέλος 4 έχει καταργηθεί και η επαφή του μέλους 3 με τον ολισθητήρα 4, είναι ελεύθερη (βλέπε κάτω μέρος του σχήματος 7). Αυτό δημιουργεί προβλήματα εύρους επαφής στις συνεργαζόμενες επιφάνειες ολισθητήρα (-κανόνα) και μέλους 3 (-βραχίονα), του πραγματικού κολποσκοπίου. Για να υπερπηδηθεί η δυσκολία αυτή, όπως θα εξηγηθεί περαιτέρω, τίθεται θέμα βελτιστοποίησης της ακτίνας καμπυλότητας R του βραχίονα, λαμβανομένου υπόψη, του απαιτούμενου από την χρήση του κολποσκοπίου, μήκους L.

Για κατασκευαστικούς λόγους επίσης στο άνω μέρος του μηχανισμού, στην άρθρωση των βραχιόνων, η διάσταση a δεν μπορεί να είναι μικρότερη από περίπου 10 mm. Η διάσταση b στον ολισθητήρα του βραχίονα στο κάτω μέρος του μηχανισμού, για λόγους που θα εξηγηθούν, πρέπει





**Σχήμα 7:** Σκαρίφημα του ισοδύναμου μηχανισμού ανοίγματος των εμβόλων του κολποσκοπίου.

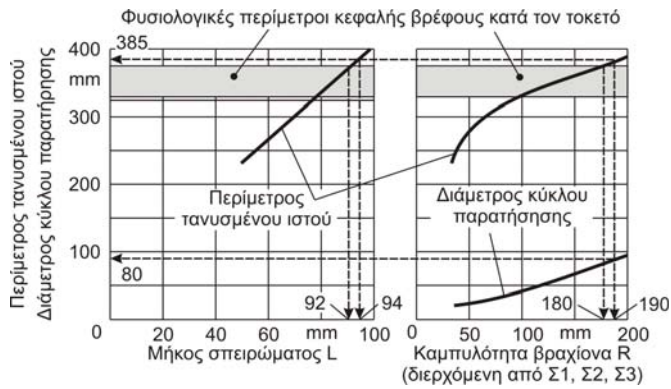
να είναι περίπου ίση με τη διάσταση  $a$ . Για να λειτουργήσει ο μηχανισμός και να πληρεί την προϋπόθεση συγκεκριμένου ανοίγματος, όπως προαναφέρθηκε, πρέπει να προσδιοριστεί το κατάλληλο μήκος διαδρομής του κοχλία  $L$  και στη συνέχεια, η ακτίνα καμπυλότητας των βραχιόνων  $R$ , μέσω απλής γεωμετρικής κατασκευής, λαμβάνοντας υπόψη ότι στην αρχική θέση οι βραχίονες άπτονται περίπου του σημείου  $\Sigma_2$ . Για δεδομένο μήκος κοχλία  $L$  προσδιορίζεται επομένως η ακτίνα  $R$ , έτσι ώστε η σχετική περιφέρεια να διέρχεται από τα σημεία  $\Sigma_1$ ,  $\Sigma_2$  και  $\Sigma_3$ .

Στο σχήμα 8 έχει παρασταθεί η περίμετρος του τανυσμένου ιστού, σαν συνάρτηση του μήκους  $L$  του κοχλία και της αντίστοιχης ακτίνας  $R$  των βραχιόνων, για μηχανισμό όπως αυτός, που εικονίζεται στο κάτω μέρος του σχήματος 7. Επίσης έχει παρασταθεί η εξάρτηση της διαμέτρου του κύκλου παρατήρησης (βλέπε σχήμα 4) από την καμπυλότητα του βραχίονα  $R$ , η οποία διέρχεται από τα σημεία  $\Sigma_1$ ,  $\Sigma_2$ , και  $\Sigma_3$  (βλέπε σχήμα 7). Στα διαγράμματα του σχήματος είναι καταχωρημένα και η περιοχή των φυσιολογικών περιμέτρων κεφαλής βρέφους κατά τον τοκετό. Η εν προκειμένω μέγιστη διάσταση περιμέτρου κεφαλής βρέφους, οδηγεί στον προσδιορισμό των απαιτούμενων κυρίων διαστάσεων του κολποσκοπίου, δηλαδή του μήκους του κοχλία σε 92 mm και αντιστοίχως της ακτίνας του βραχίονα σε 180 mm. Από σχετικό διάγραμμα προσδιορίζεται και η διάμετρος του κύκλου παρατήρησης, που προκύπτει κάθε φορά. Ο πραγματικός μηχανισμός του κολποσκοπίου έχει περίπου αυτές τις διαστάσεις, δηλαδή ενεργό μήκος σπειρώματος 94 mm και καμπυλότητα βραχίονα 190 mm. Με αυτές τις διαστάσεις η μέγιστη διάμετρος του κύκλου παρατήρησης ανέρχεται σε 80 mm.

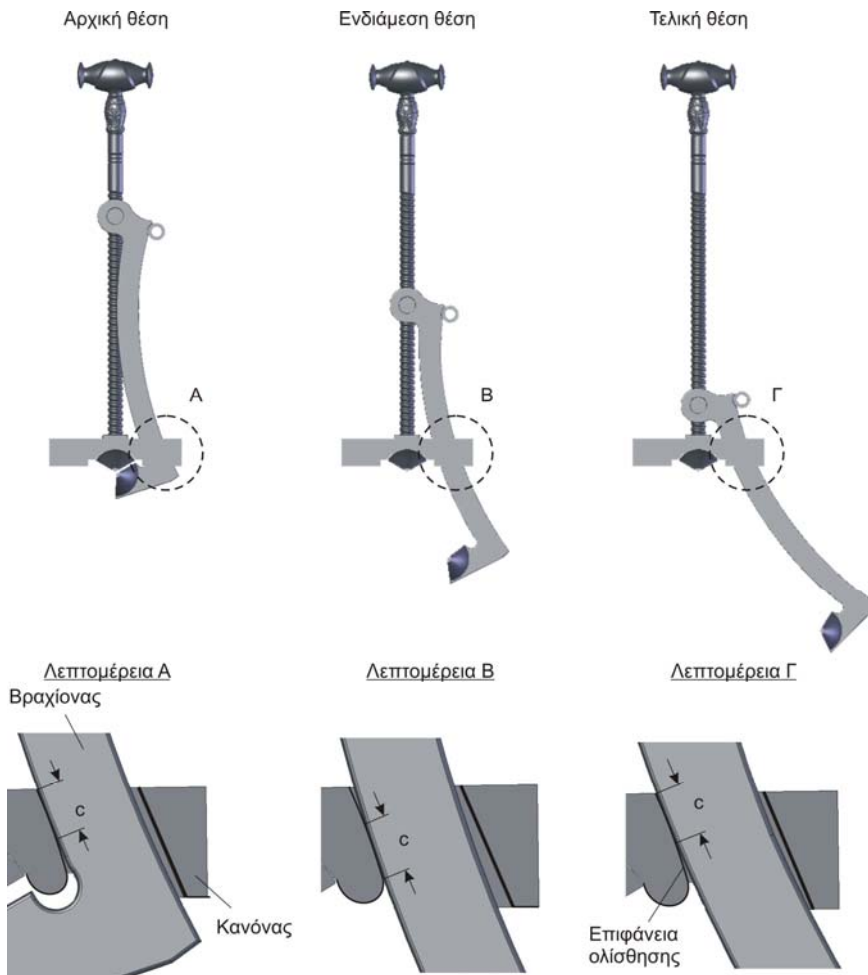
Στο άνω μέρος του σχήματος 9 φαίνονται τρεις θέσεις του μηχανισμού, αρχική, ενδιάμεση και τελική, καθώς και το αντίστοιχο εύρος επαφής  $c$  μεταξύ βραχίονα και διαμορφωμένης υποδοχής-ολισθητήρα, του συμπαγούς κανόνα (βλέπε κάτω μέρος του σχήματος).

Το εύρος της επαφής μεταξύ των καμπύλων επιφανειών του ολισθητήρα και του βραχίονα, επιδιώκεται να είναι όσο το δυνατό μεγαλύτερο, για την μείωση της επιφανειακής πίεσης και αποφυγής φθορών. Εν προκειμένω ικανοποιητική σύγκλιση των καμπυλοτήτων της επιφάνειας του



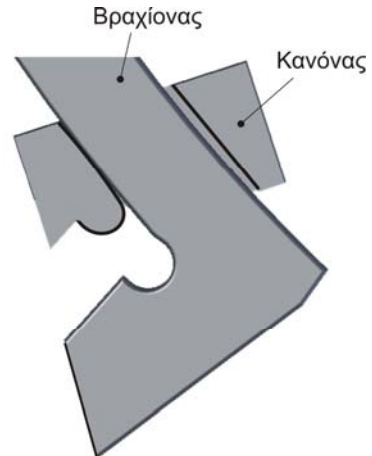
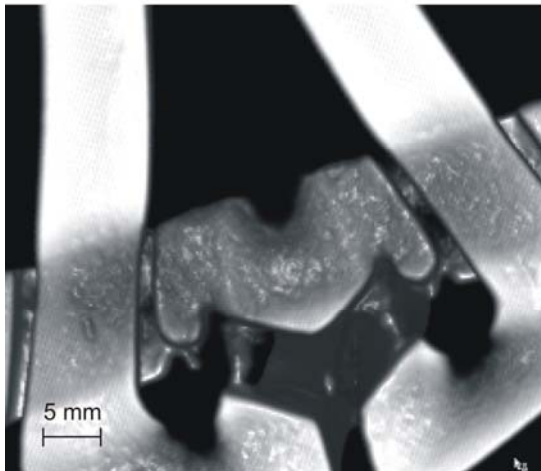


**Σχήμα 8:** Περιμετρος τανυσμένου ιστού και διάμετρος κύκλου παρατήρησης σαν συνάρτηση του μήκος του σπειρώματος και της αντίστοιχης καμπυλότητας των βραχιόνων.



**Σχήμα 9:** Εύρος επαφής  $c$  του βραχιόνα με τη θέση υποδοχής του κανόνα (ολισθητήρας), για τρεις διαφορετικές θέσεις ανοίγματος του μηχανισμού του κολποσκοπίου.

ολισθητήρα με τη συνεργαζόμενη κυρτή επιφάνεια του βραχίονα, επιτυγχάνεται καθ' όλο το μήκος διαδρομής L, μετακίνησης του περικοχλίου, εάν οι διαστάσεις a και b του μηχανισμού είναι περίπου ίσες και όσον το δυνατόν μικρές, ενώ η καμπυλότητα του βραχίονα εφάπτεται της αξονικής. Αυτό προκύπτει από τις σχετικές επαφές ολισθητήρα-βραχίονα, που εικονίζονται στο κάτω μέρος του σχήματος 9, για τις πραγματικές διαστάσεις του κολποσκοπίου.. Το εύρος της επαφής c είναι περίπου σταθερό, καθ' όλο το μήκος μετακίνησης του περικοχλίου. Αύξηση της διάστασης b, ή αύξηση της καμπυλότητας R του βραχίονα, οδηγούν σε σημαντική μείωση του εύρους επαφής c. Η τομογραφία καταχωρημένη στο σχήμα 10, που αντιστοιχεί στην αρχική θέση του μηχανισμού, δείχνει την σύγκλιση των αντιστόχων επιφανειών ολισθητήρα – βραχίονα και υποδηλώνει, ότι τα προηγουμένως περιγραφέντα, είχαν ληφθεί υπόψη κατά τη σχεδίαση του μηχανισμού του κολποσκοπίου.



**Σχήμα 10:** Τομογραφία της θέσης υποδοχής του κανόνα (ολισθητήρας) για τον βραχίονα.

### 3.2 Προσδιορισμός κυρίων διαστάσεων σπειρώματος κοχλία.

Στο σχήμα 11 είναι καταχωρημένη φωτογραφία, καθώς και η γεωμετρία του σπειρώματος του κοχλία του κολποσκοπίου. Το σπείρωμα διαπιστώθηκε ότι έχει διάμετρο  $D=7.9$  mm και βήμα σπειρώματος περίπου 3.1 mm που αντιστοιχεί με ικανοποιητική προσέγγιση στον αριθμό π. Η γωνία κλίσης  $\alpha$ , δύναται να υπολογιστεί από την εξίσωση:

$$\alpha = \text{atan}\left(\frac{t}{\pi D}\right)$$

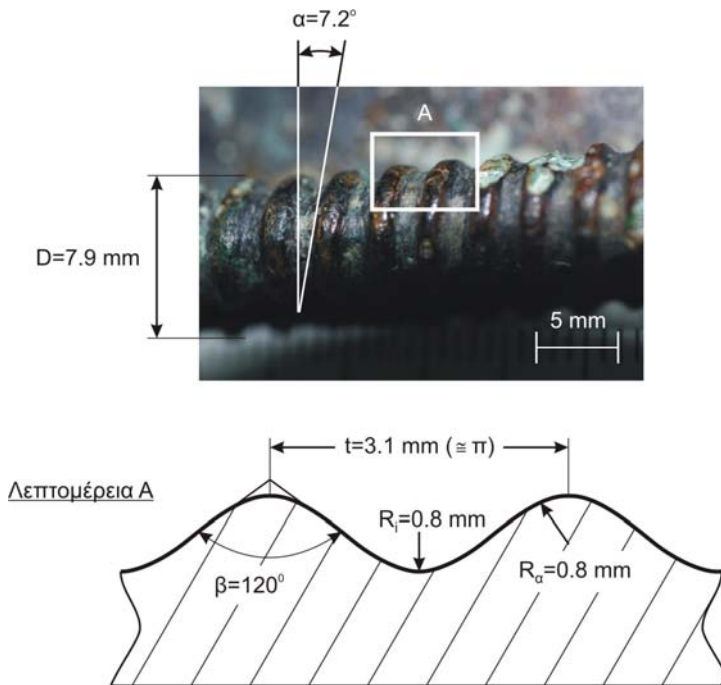
που στην προκειμένη περίπτωση, με  $t \approx \pi$  προκύπτει από την σχέση :

$$\alpha \approx \text{atan}\left(\frac{1}{D}\right) \approx 7.2^\circ$$

Η γωνία  $\beta$  της κορυφής του σπειρώματος ανέρχεται περίπου σε  $120^\circ$ .

Μέσω της ανάλυσης δυνάμεων που επενεργούν στο σπείρωμα του κοχλία (βλέπε σχήμα 12) /8/, για γωνία κορυφής του σπειρώματος  $\beta=120^\circ$ , προκύπτει για κίνηση του περικοχλίου προς τα άνω, δηλαδή για αναίρεση του φορτίου που εξασκεί ο τανυσμένος ιστός στα έμβολα, ότι :

$$F_u = F \tan(\alpha - \rho')$$



**Σχήμα 11:** Διατομή σπειρώματος κοχλία κολποσκοπίου.

με γωνία  $\rho'$  υπολογισμένη από την σχέση :

$$\tan(\rho') = \frac{\tan(\rho)}{\cos(\beta/2)}$$

όπου η γωνία  $\rho$  εκτιμάται, βάσει του συντελεστή τριβής  $\mu$  μεταξύ του περικοχλίου και του κοχλία από την εξίσωση :

$$\rho = \text{atan}(\mu)$$

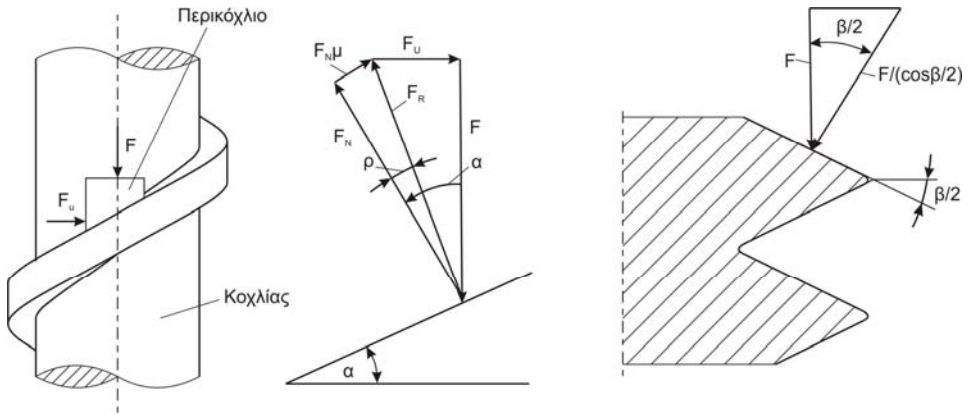
Εκτιμώντας το μέγεθος του συντελεστή τριβής σε κατ' ελάχιστον 0.1, η γωνία  $\rho'$  υπολογίζεται με την βοήθεια των προηγούμενων σχέσεων σε :

$$\rho' \geq 11.3^\circ$$

Απόσφιξη του σπειρώματος δεν μπορεί να λάβει χώρα, αν η κατά μήκος δύναμη  $F$  ασκούμενη από τον τανυσμένο ιστό, μέσω των βραχιόνων επί του περικοχλίου, δεν δημιουργεί στρεπτική ροπή  $|8I|$ , δηλαδή:

$$F_u = F \tan(\alpha - \rho') \leq 0, \quad \text{ή} \quad \tan(\alpha - \rho') \leq 0 \quad \text{ή} \quad \alpha \leq \rho',$$

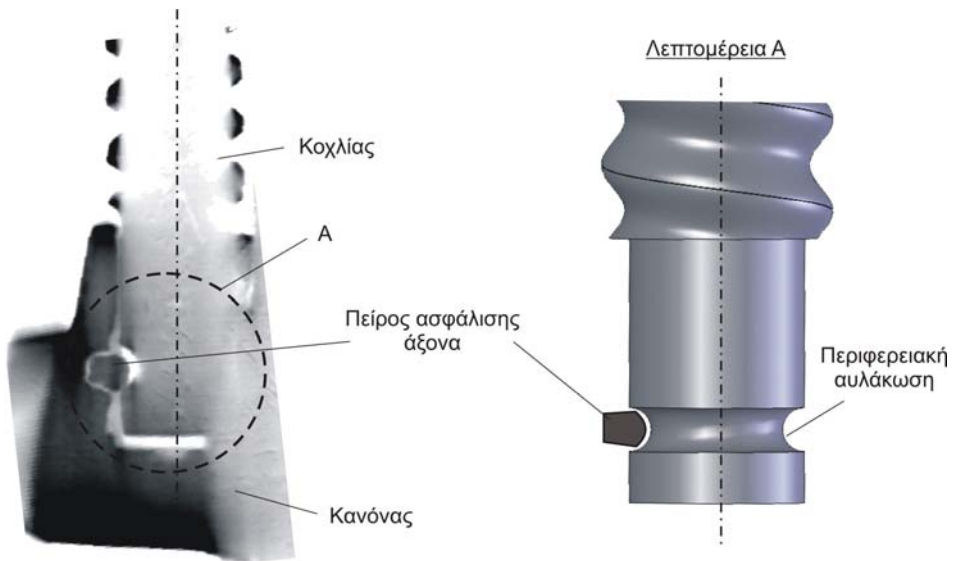
συνθήκη που εκπληρώνεται πάντα, αφού η γωνία κλίσεως του σπειρώματος  $\alpha$  είναι περίπου  $7.2^\circ$  και η  $\rho' \geq 11.3^\circ$ , όπως προηγουμένως αναφέρθηκε. Αυτό σημαίνει ότι αν πιεστούν τα έμβολα μέσω του τανυσμένου ιστού της εξεταζόμενης, ο κοχλίας ακινητοποιείται, δηλαδή δεν χαλαρώνει από μόνος του κατά την εξέταση.



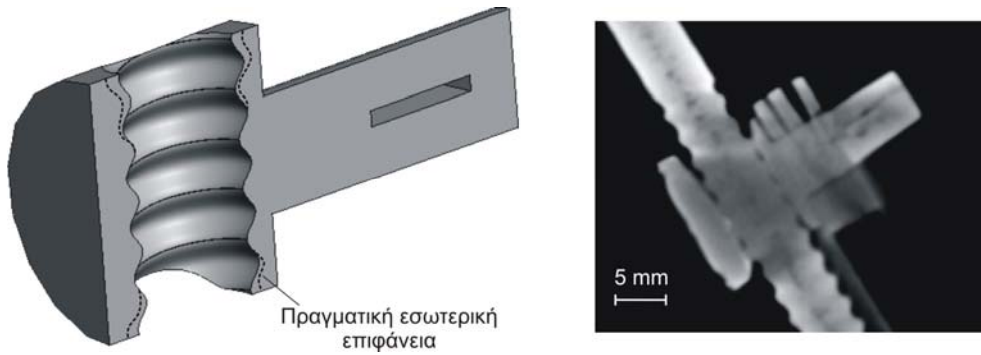
**Σχήμα 12:** Ανάλυση δυνάμεων που ασκούνται στον κοχλία μέσω του περικοχλίου /8/.

### 3.3 Σχεδίαση χαρακτηριστικών λεπτομερειών κοχλία και περικοχλίου.

Στο σχήμα 13 φαίνεται μια τομή του αντικειμένου στην περιοχή του κανόνα του κολποσκοπίου, εκεί όπου καταλήγει το κάτω άκρο του άξονα του κοχλία. Από την τομή αυτή προέκυψαν πληροφορίες για την συναρμολόγηση του κάτω άκρου του κοχλία στη κυλινδρική υποδοχή του κανόνα, οι οποίες δεν θα μπορούσαν να εξαχθούν με κάποια άλλη μη καταστροφική μέθοδο. Το άκρο του κοχλία έχει κατάλληλη περιφερειακή αυλάκωση και με τη βοήθεια ενός πείρου ασφάλισης, ακινητοποιείται κατά την αξονική κατεύθυνση. Το άκρο του άξονα του κοχλία έχει μικρότερη διάμετρο από ότι το σπείρωμα, γιατί κατά την συναρμολόγηση, πρέπει πρώτα να περάσει μέσα από το σπείρωμα της χελώνης (περικοχλίου), το οποίο είναι και αυτό κωνικά διαμορφωμένο. Αυτό προκύπτει από την τομογραφία που είναι καταχωρημένη στο σχήμα 14.



**Σχήμα 13:** Κατασκευαστική διαμόρφωση του κάτω άκρου του άξονα του κοχλία.



**Σχήμα 14:** Εσωτερική διαμόρφωση χελώνης (περικοχλίου).

Στο σχήμα αυτό φαίνεται επίσης και ένα σκαρίφημα της τομής της χελώνης (περικοχλίου), στην περιοχή του αξονίσκου, επί του οποίου αρθρώνονται οι δύο βραχίονες του κολποσκοπίου. Όπως δείχνει η τομογραφία, στο άνω μέρος του περικοχλίου, παρουσιάζεται μια κωνικότητα στο σπείρωμα, για να υποβοηθήσει την συναρμολόγηση και την σταδιακή εξομάλυνση τραχυτήτων κατά το αρχικό χρονικό διάστημα της κίνησης του κοχλία εντός του περικοχλίου. Η ελαφρή κωνικότητα του κάτω μέρους του περικοχλίου, πρέπει να αποδοθεί σε επιδίωξη αποφόρτισης του άκρου του περικοχλίου και σε φθορές, που προέκυψαν κατά την λειτουργία του κοχλία.

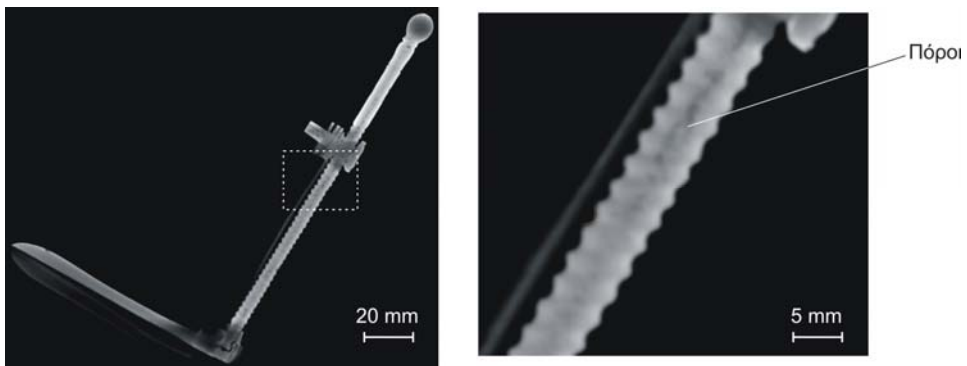
#### 4. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΚΟΛΠΟΣΚΟΠΙΟΥ

##### 4.1 Μορφοποίηση κοχλία

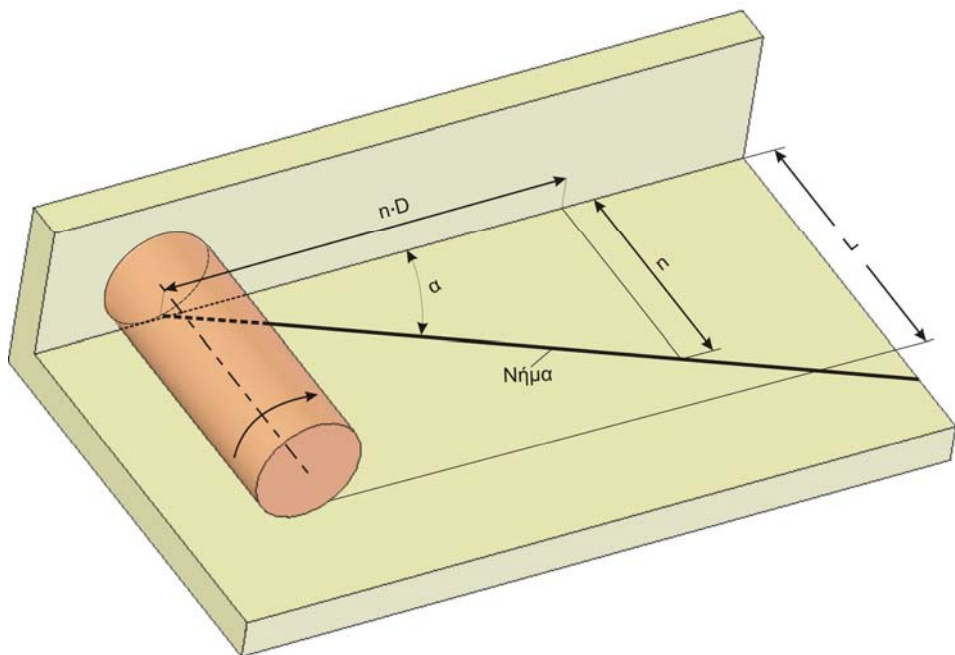
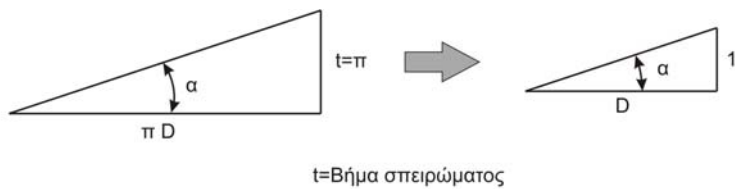
Στο σχήμα 15 παρουσιάζεται μια τομή κατά μήκος της αξονικής γραμμής του κοχλία του κολποσκοπίου, όπως προέκυψε από επεξεργασία σχετικών αρχείων Η/Υ τομογραφίας. Όπως φαίνεται, στο μέσο του κοχλία, κατά μήκος της νοητής αξονικής του γραμμής, υπάρχουν πόροι. Εν προκειμένω οι σκιάσεις υποδηλώνουν αλλαγή πυκνότητας του υλικού, που στην προκειμένη περίπτωση είναι ένδειξη ύπαρξης χώρων, κενών υλικού. Οι πόροι αυτοί υποδηλώνουν και τον τρόπο κατασκευής του κοχλία που πιθανότατα κατασκευάστηκε αρχικά από κερί, με τη βοήθεια του οποίου στη συνέχεια κατασκευάστηκε καλούπι από πηλό, στο οποίο έγινε η χύτευση του μεταλλικού υλικού. Κατά την απόψυξη του χυτού, αρχικά στερεοποιούνται οι εξωτερικές επιφάνειες. Όταν αρχίσει η στερεοποίηση του εσωτερικού όγκου, λόγω συστολής του υλικού, μπορούν να δημιουργηθούν τέτοιοι πόροι και σπηλαιώσεις, όπως αυτές που φαίνονται στη τομή του σχήματος 15.

Μεγάλο ενδιαφέροντος είναι επίσης, το πώς μορφοποιήθηκε το σπείρωμα στο κέρινο μοντέλο του κοχλία, που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του καλουπιού χύτευσης, με τις υπάρχουσες δυνατότητες στην αρχαιότητα. Αν λάβουμε υπόψη, ότι το βήμα του συγκεκριμένου σπειρώματος είχε εκλεγεί να είναι ίσο περίπου με  $\pi$ , όπως προκύπτει από το σχήμα 16, η γωνία κλίσης του σπειρώματος συναρτηθεί του βήματος  $t$  και της διαμέτρου  $D$  του κοχλία, υπολογίζεται από τη σχέση που ήδη προηγουμένως αναφέρθηκε :

$$\tan(\alpha) = \frac{t}{\pi D} \approx \frac{\pi}{\pi D} = \frac{1}{D}$$



**Σχήμα 15:** Τομή κατά μήκος της αξονικής γραμμής του κοχλία του κολποσκοπίου.



**Σχήμα 16:** Αποτύπωση του σπειρώματος στην κυλινδρική επιφάνεια του κέρινου μοντέλου του άξονα.

Θα μπορούσε λοιπόν πολύ απλά να κατασκευαστεί ένα κέρινος κύλινδρος διαμέτρου  $D$ , αντίστοιχος της εξωτερικής διαμέτρου του κοχλία και να τοποθετηθεί σε γωνιακή διάταξη, όπως φαίνεται στο σχήμα 16. Στην διάταξη αυτή είναι τοποθετημένο και ένα νήμα με κλίση, όπως

φαίνεται στο σχήμα. Εν προκειμένω το νήμα τοποθετείται και ακινητοποιείται βάσει των αποστάσεων  $n \cdot D$  και  $n$ , όπου  $n$  ένας τυχαίος ακέραιος αριθμός. Το μήκος  $n$  είναι εκφρασμένο με τις ίδιες μονάδες μέτρησης του  $D$ . Κυλιώντας (χωρίς ολίσθηση) τον κύλινδρο από δεξιά προς τα αριστερά, αποτυπώνεται το ίχνος του νήματος, το οποίο αντιστοιχεί στην ελίκωση του σπειρώματος, πάνω στην επιφάνεια του κυλίνδρου. Στη συνέχεια ο τεχνίτης ακολουθώντας αυτό το ίχνος, διαμόρφωνε προσεκτικά το σπείρωμα.

#### 4.2 Επιτευχθείσες ακρίβειες κατά την μορφοποίηση των δομικών στοιχείων του κολποσκοπίου.

Μια βασική ανοχή για την επίτευξη της λειτουργίας του κολποσκοπίου, είναι αυτή της παραλληλότητας του άξονα του κοχλία, ως προς τις επίπεδες επιφάνειες των βραχιόνων. Όπως προκύπτει από το σχήμα 17 για συνολικό μήκος περίπου 110 mm μεταξύ των σημείων A και B, μετρήθηκε μέσω των Η/Υ τομογραφιών απόκλιση 0.47 mm από την παράλληλο SA-SB που αντιστοιχεί στον άξονα του κοχλία. Η απόκλιση αυτή δημιουργεί μια γωνία ανάμεσα στον άξονα του κοχλία και το επίπεδο των βραχιόνων ίση με 0.25 μοίρες, η οποία είναι αρκετά μικρή για να προκαλέσει μπλοκάρισμα του μηχανισμού του κολποσκοπίου.



Γωνία απόκλισης άξονα κοχλία από το επίπεδο βραχίονα:  $\arctan((SA-SB)/110)=0.25^\circ$

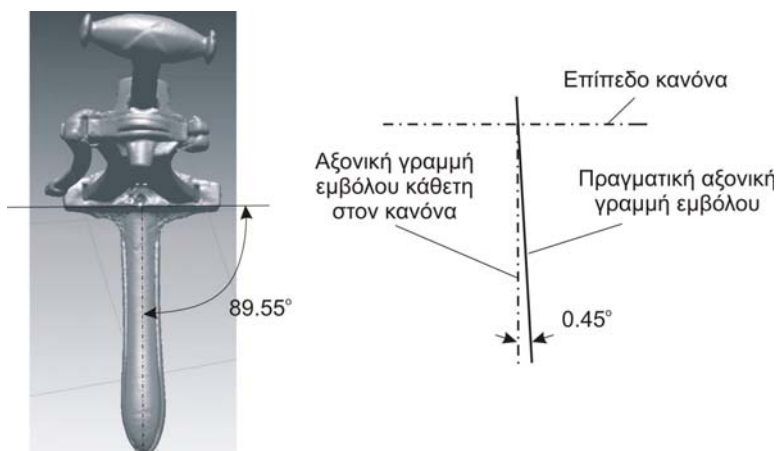
**Σχήμα 17:** Παραλληλότητα του άξονα του κοχλία σε σχέση με τις επίπεδες επιφάνειες των βραχιόνων.

Στο σχήμα 18 παρουσιάζεται η απόκλιση καθετότητας του σταθερού εμβόλου, ως προς την επιφάνεια του κανόνα που εξακριβώθηκε μέσω Η/Υ τομογραφιών του κολποσκοπίου. Η απόκλιση από την κάθετο είναι 0.45 μοίρες, επίσης ικανοποιητικά μικρή, σε σχέση με τις απαιτήσεις λειτουργικότητας.

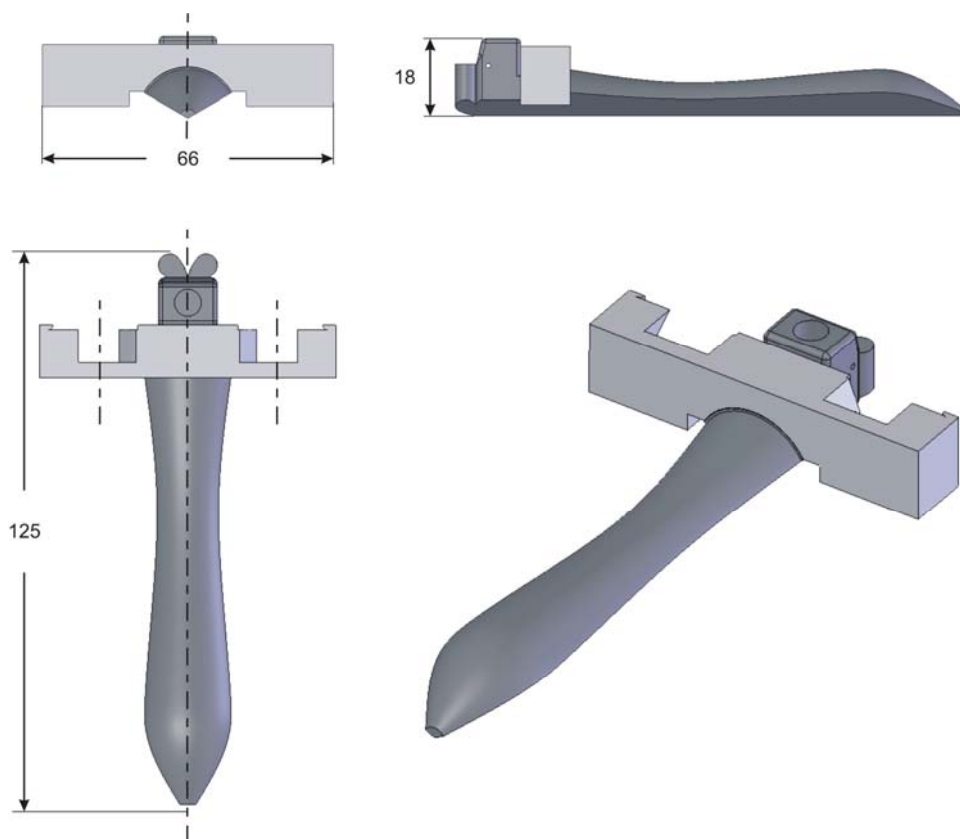
Πρέπει να τονισθεί ότι οι αποκλίσεις αυτές μετρήθηκαν σε ένα μηχανισμό, ο οποίος έχει υποστεί φθορά τόσο κατά τη λειτουργία του, όσο κυρίως και κατά το μεγάλο χρονικό διάστημα, παραμονής εντός της γης, μέχρι την εύρεση του κατά τις ανασκαφές. Εύλογα μπορεί να υποτεθεί, ότι οι πραγματικές αρχικές αποκλίσεις του μηχανισμού, ήταν μικρότερες από τις σήμερα μετρημένες.

Στο σχήμα 19 φαίνεται ο κανόνας του κολποσκοπίου με το σταθερό έμβολο. Για τα σημερινά δεδομένα μορφοποίησης, το αντικείμενο αυτό είναι τυπικό φραιζαριστό-τορναριστό τεμάχιο, σύνθετης γεωμετρίας. Οι μηχανουργικές ακρίβειες υποκαταστάθηκαν από τις ικανότητες του κατασκευαστή του κέρινου ομοιώματος, απαραίτητου για την κατασκευή του κεραμικού καλουπιού χύτευσης.



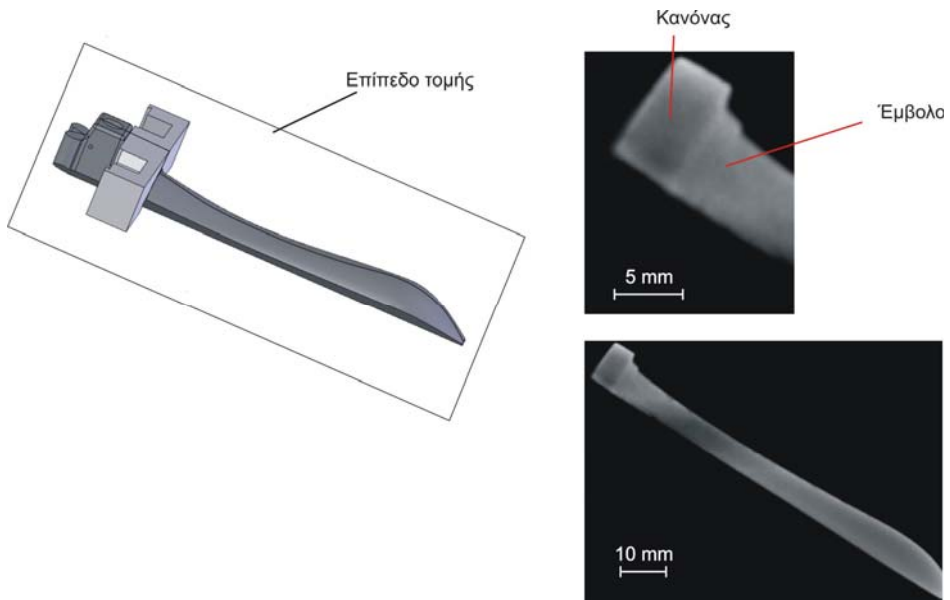


**Σχήμα 18:** Καθετότητα του σταθερού εμβόλου του κολποσκοπίου.



**Σχήμα 19:** Γεωμετρία του συμπαγούς κανόνα με το σταθερό έμβολο.

Στο σχήμα 20 φαίνεται μια τομή κατά μήκος του σταθερού εμβόλου, το οποίο καταλήγει στον κανόνα του κολποσκοπίου. Η δομή του εμβόλου, όπως προκύπτει από την κατά μήκος αυτή τομή, αλλά και από άλλες αντίστοιχες εγκάρσιες τομές, που μελετήθηκαν, δεν παρουσιάζουν πόρους. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι εδόθη ιδιαίτερη προσοχή στην απόψυση μετά τη χύτευση.



**Σχήμα 20:** Κατά μήκος τομή του σταθερού εμβόλου του κολποσκοπίου.

## 5. ΑΝΤΟΧΗ ΚΕΦΑΛΗΣ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ ΘΑΛΑΜΟΥ ΕΠΙΒΑΤΩΝ ΑΜΑΞΑΣ ΤΟΥ 4<sup>ου</sup> ΑΙΩΝΑ Π.Χ.

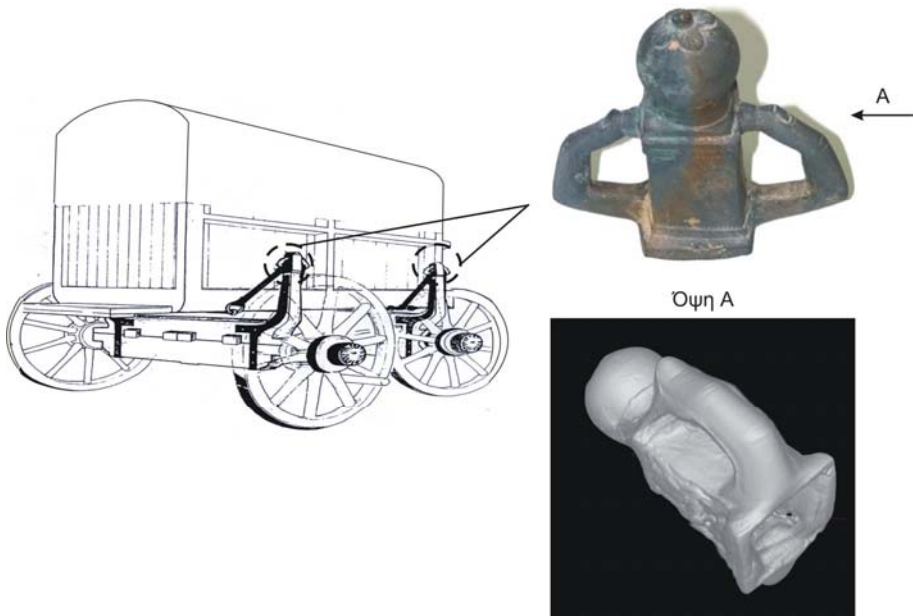
Στο σχήμα 21 παρουσιάζεται ο τρόπος ανάρτησης θαλάμου επιβατών ξύλινης ταξιδιωτικής άμαξας του 4<sup>ου</sup> αιώνα π.Χ. Η ανάρτηση του θαλάμου των επιβατών διεξαγόταν μέσω καταλλήλων κεφαλών με δακτυλίους και δερματίνων ιμάντων. Μια τέτοια κεφαλή βρέθηκε επίσης στον αρχαιολογικό χώρο του Δίου κατά τις ανασκαφές από τον Καθηγητή κ. Δ. Παντερμαλή. Στο δεξιό μέρος του σχήματος φαίνεται μια φωτογραφία της ανάρτησης, καθώς και η μορφή της, όπως καταγράφηκε με τη βοήθεια Η/Υ τομογραφιών.

Ο αιωρούμενος θάλαμος της άμαξας, αναρτάται με τη βοήθεια 8 δερματίνων ιμάντων στα τέσσερα σημεία της ανάρτησης, στις κατάλληλα διαμορφωμένες κεφαλές ανάρτησης. Μέσω προσομοίωσης με τη βοήθεια της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων, έγινε ο υπολογισμός της αντοχής της κεφαλής της ανάρτησης.

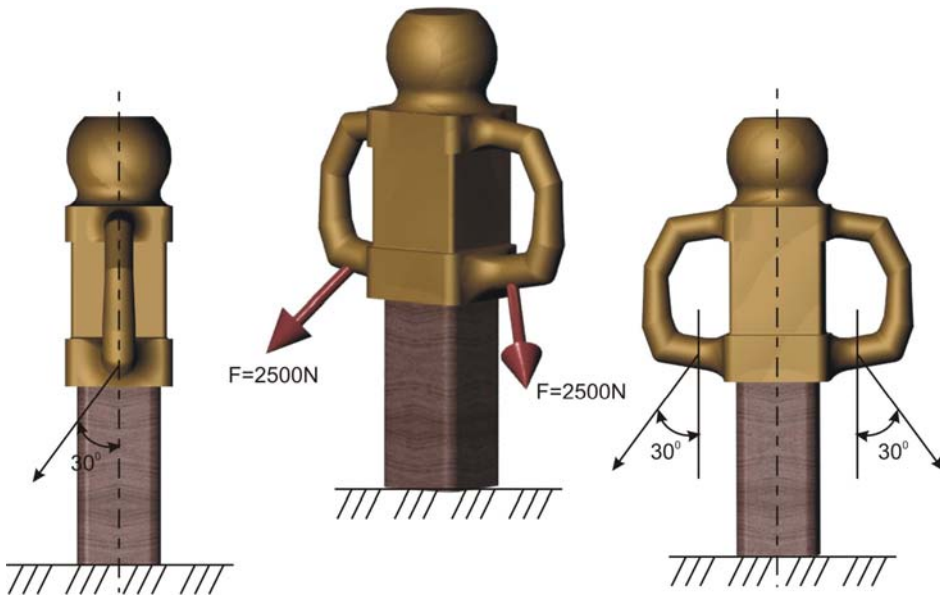
Στο σχήμα 22 φαίνεται το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για τους υπολογισμούς αυτούς. Εν προκειμένω θεωρήθηκε ότι το βάρος του θαλάμου επιβατών της άμαξας μαζί με τους επιβαίνοντες και αποσκευές τους, ανέρχεται σε 1500 kg. Το βάρος αυτό εκτιμήθηκε όπως παρακάτω:

12 άτομα x75 Kg	=900 Kg (10 επιβάτες,2 οδηγοί)
βάρος αποσκευών	=350 Kg
<u>βάρος θαλάμου άμαξας</u>	<u>=250 Kg</u>
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>1500 kg</b>

Στο σχήμα εικονίζεται ο τρόπος κατανομής του φορτίου αυτού, σε κάθε μια από τις τέσσερις κεφαλές ανάρτησης.

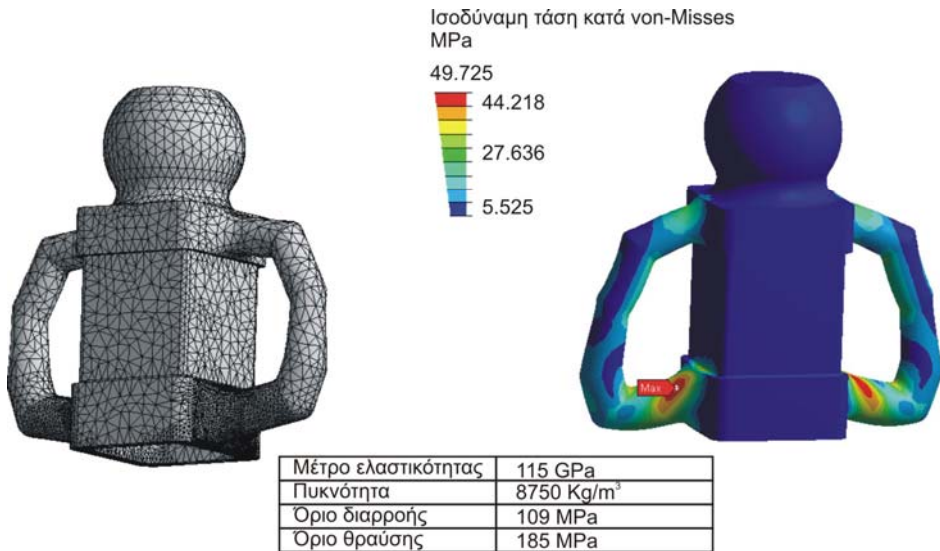


**Σχήμα 21:** Τρόπος ανάρτησης θαλάμου επιβατών ξύλινης ταξιδιωτικής άμαξας 4<sup>ου</sup> αιώνα π.Χ.



**Σχήμα 22:** Ανάλυση των καταπονήσεων στο στερεό μοντέλο της ανάρτησης.

Στο [σχήμα 23](#) εμφανίζεται το πλέγμα των πεπερασμένων στοιχείων του χρησιμοποιηθέντος μοντέλου και στο δεξιό μέρος του σχήματος αυτού, τα αποτελέσματα ανάλυσης των δημιουργούμενων τάσεων.



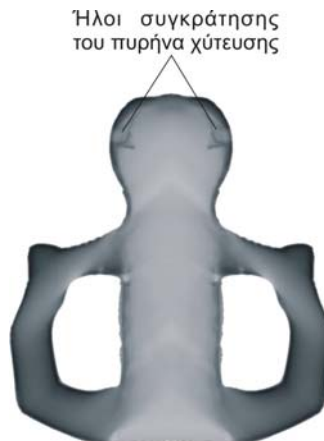
**Σχήμα 23:** Μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων και σχετικά αποτελέσματα.

Όπως αναμενόταν η μέγιστη τάση παρουσιάζεται, στο σημείο ένωσης του δακτυλίου με τον κορμό. Η μέγιστη αυτή τάση ανέρχεται σε περίπου 50 MPa. Το όριο θραύσης του αμμοχυτευμένου κράματος χαλκού, που χρησιμοποιήθηκε για τους υπολογισμούς, ανέρχεται σε 185 MPa (βλέπε σχετικό πίνακα καταχωρημένο στο σχήμα 23). Με βάση αυτά τα αποτελέσματα, ο συντελεστής ασφαλείας που προκύπτει για την κεφαλή της ανάρτησης υπολογίζεται από τη σχέση :

$$S = \sigma_B / (\sigma_{\max} \cdot C)$$

C είναι ο συντελεστής λειτουργίας που εκτιμάται σε C=1.5 /8/. Ο συντελεστής ασφαλείας, που υπολογίζεται από την παραπάνω σχέση είναι ίσος με S=2.48, αρκετά ικανοποιητικός και για θραύση λόγω κόπωσης (1.5÷3), σύμφωνα με /8/.

Οι τιμές που αναφέρονται στις ιδιότητες του υλικού και είναι καταχωρημένες στον πίνακα του σχήματος 23, προϋποθέτουν συμπαγές και ομοιογενές υλικό. Πράγματι στην κατά μήκος τομή του



**Σχήμα 24:** Η/Υ τομογραφία της μελετηθείσας κεφαλής ανάρτησης.

πραγματικού αντικειμένου, που εικονίζεται στην Η/Υ τομογραφία στο σχήμα 24, φαίνεται ότι το υλικό δεν παρουσιάζει πόρους, είναι δηλαδή συμπαγές. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η κεφαλή ανάρτησης μορφοποιήθηκε μέσω χύτευση, όπως υποδηλώνουν και οι διαπιστωθέντες μέσω αξονικής τομογραφίας ήλοι συγκράτησης πυρήνα /7/, συμπεραίνεται ότι και σε αυτό το αντικείμενο, εδόθη ιδιαίτερη προσοχή στην απόψυξη μετά τη χύτευση.

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Καινοτόμες τεχνολογίες όπως οι τομογραφίες ακτινών Roentgen, υποστηριζόμενες από ηλεκτρονικό υπολογιστή επιτρέπουν την ακριβή καταγραφή της γεωμετρίας αρχαίων αντικειμένων και διευκολύνουν την κατανόηση του τρόπου μορφοποίησης και λειτουργίας τους. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας διερευνήθηκε μέσω Η/Υ τομογραφιών, ένας σύνθετος μηχανισμός κολπσκοπίου του 1<sup>ου</sup> μ.Χ. αιώνα και μια κεφαλή ανάρτησης θαλάμου επιβατών, ξύλινης ταξιδιωτικής άμαξας του 4<sup>ου</sup> αιώνα π.Χ. Η τρισδιάστατη ηλεκτρονική αναπαράσταση του κολπσκοπίου επέτρεψε την προσομοίωση της κινηματικής κατά την λειτουργία του και τη διερεύνηση του τρόπου επιλογής κυρίων διαστάσεων του μηχανισμού του, των στοιχείων του, καθώς και της μορφοποίησης του. Επίσης κατέστη δυνατόν να αξιολογηθεί η ακρίβεια μορφοποίησης μέσω μετρήσεων κυρίων διαστάσεων του. Με βάση τα σχετικά αποτελέσματα διαπιστώθηκε το υψηλό τεχνικό επίπεδο σχεδίασης και μορφοποίησης του κολπσκοπίου. Όσον αφορά την κεφαλή της ανάρτησης, έγινε υπολογισμός της αντοχής της, μέσω προσομοίωσης με τη βοήθεια της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων, η οποία έδειξε την ικανοποιητική αντοχή της, που επετεύχθη μέσω της κατάλληλης σχεδίασης και μορφοποίησης της. Τα συμπεράσματα της μελέτης αυτής, υποδηλώνουν την υψηλή στάθμη τεχνικής, κατά την αρχαιότητα.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1/1 Δ. Παντερμαλής, Η ανασκαφή του Δίου κατά το 1993 και η χάλκινη διόπτρα, Υπουργείο πολιτισμού – ΤΑΠ, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Το αρχαιολογικό έργο στη Μακεδονία και Θράκη, Τόμος 7, 1993, σελ. 195 – 198.
- 1/2 Roel J. Jansen, Martin Poulus, Wijbren Taconis, Jeap Stoker, High – resolution spiral computed tomography with multiplanar reformatting, 3D surface – and volume rendering: a non-destructive method to visualize ancient Egyptian mummification techniques.
- 1/3 Κ. -Δ. Μπουζάκης, Κ. Ευσταθίου, Ν. Μιχαηλίδης, Γ. Μάλιαρης, 2002, Εφαρμογή σύγχρονων και καινοτόμων τεχνολογιών για την αναπαραγωγή αρχαιολογικών ευρημάτων, εργαλειομηχανές μηχανουργικές κατεργασίες, πρακτικά 6<sup>ου</sup> συνεδρίου, παρουσίασης ερευνητικών δραστηριοτήτων του ΕΕΔΜ, περιόδου 1999-2002, σελ. 25-34,.
- 1/4 Stereolithography – as easy as operating a VCR. 3D@work. Informagazine 3D systems, 1/2001
- 1/5 D. Pantermalis, K.-D. Bouzakis, K. Efstathiou, N. Michailidis, E. Varitis, Untersuchung und replizierung formkomplexer metallischen archaeologischer Objecte mit Hilfe von verarbeitenden Daten, durch 3D-Computertomographie ermittelt, Anwendungen der 3D-Computertomographie in Archaeologie, Restaurierung und Kunstgeschichte, 6 December 2004, Aalen Germany.
- 1/6 F. Klein, E. Hering, Anwendungen der 3D-Computertomographie in Archaeologie, Restaurierung und Kunstgeschichte, 2004, Aalen
- 1/7 Κ.-Δ. Μπουζάκης, Δ. Παντερμαλής, Κ. Ευσταθίου, Ε. Βαρύτης, Ν. Μιχαηλίδης, Γ. Μαυρουδής, Αναπαραγωγή της στερεάς γεωμετρίας αρχαιολογικών ευρημάτων βασισμένη σε αξονικές τομογραφίες, ψηφιακή φωτογράφιση και κατάλληλη επεξεργασία των σχετικών αρχείων, πρακτικά 7ου συνεδρίου, παρουσίασης ερευνητικών δραστηριοτήτων του ΕΕΔΜ, περιόδου 2002-2005, σελ.
- 1/8 Niemann G., Maschinenelemente Band I, Springer Verlag 1975