



Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών και  
Πολιτισμού

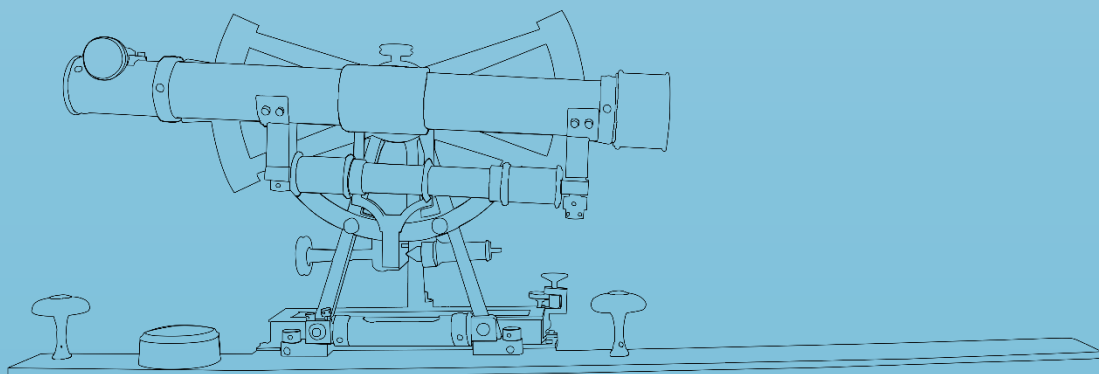
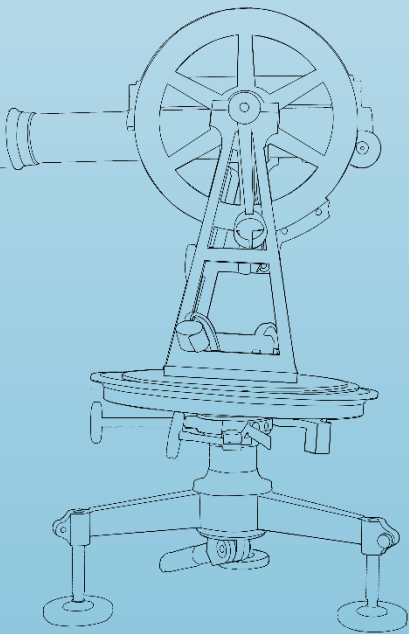
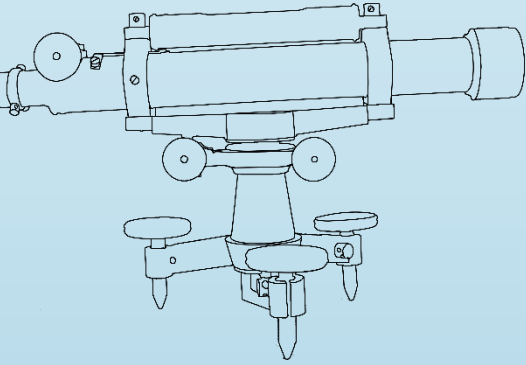
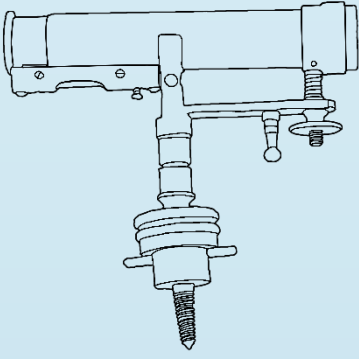
Τμήμα Συντήρησης Αρχαιοτήτων  
και Έργων Τέχνης

Μελέτη και συντήρηση ιστορικής συλλογής ανασκαφικών οργάνων και εργαλείων του 19ου και 20ου αιώνα του Γερμανικού Αρχαιολογικού Ινστιτούτου

Υπεύθυνη Καθηγήτρια:  
Μαρία Γιαννουλάκη

Πτυχιακή εργασία  
Ιούλιος 2022

Ευγενία Αναμουρλίδου 52016016  
Αντώνιος Σαμπάνης 52016005





## Τριμελής Επιτροπή Εξέτασης

Γιαννουλάκη Μ. (Επιστημονικός Συνεργάτης Πα.Δ.Α.)

Αργυροπούλου Β. (Καθηγήτρια Πα.Δ.Α.)

Μπογιατζής Στ. (Καθηγητής Πα.Δ.Α.)

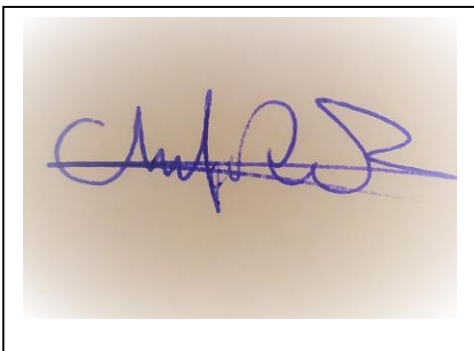
## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι Αναμουρλίδου Ευγενία του Γεωργίου με αριθμό μητρώου 52016016 και Σαμπάνης Αντώνιος του Στυλιανού με αριθμό μητρώου 52016005, φοιτητές του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Εφαρμοσμένων Τεχνών και Πολιτισμού του Τμήματος Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης δηλώνουμε υπεύθυνα ότι:

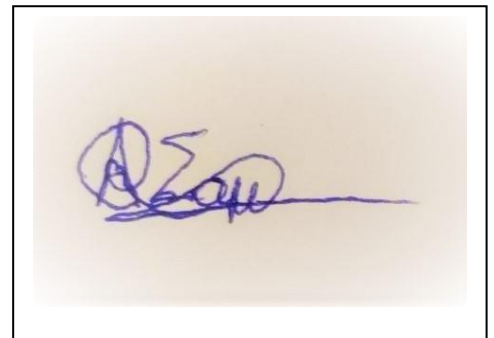
«Είμαστε συγγραφείς αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχαμε για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες κάναμε χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό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

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

Η Δηλούσα



Ο Δηλών



## Ευχαριστίες

Η παρούσα πτυχιακή εργασία, εκπονήθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης, Τομέα Συντήρησης Ιστορικών και Αρχαιολογικών Τεκμηρίων. Η υπόδειξη του θέματος έγινε από την καθηγήτρια Γιαννουλάκη Μαρία, σε συνεργασία με το Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο Αθηνών (ΓΑΙ), υπό την επίβλεψη του Συντηρητή του ΓΑΙ, κυρίου Σωτηρόπουλου Άγγελου. Όλες οι εργασίες συντήρησης, έλαβαν χώρα στο Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

Αρχικά θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά, από το Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, την αξιότιμη διευθύντριά του Katja Sponh και τον αξιότιμο κύριο Σωτηρόπουλο, για την παραχώρηση των επιστημονικών οργάνων σε εμάς, καθώς και για την εμπιστοσύνη τους για τη μελέτη και περάτωση της συντήρησής τους. Ευχαριστούμε ακόμη τις κυρίες Τζίμη και Brandt, για την παραχώρηση φωτογραφικού υλικού της ευρύτερης συλλογής των αντικειμένων, καθώς και φωτογραφιών από παλαιές ανασκαφές που απεικονίζονται κάποια από τα αντικείμενα που μελετώνται στην παρούσα εργασία.

Επιπλέον, θερμές ευχαριστίες απευθύνουμε στην υπεύθυνη καθηγήτριά μας, κυρία Γιαννουλάκη, για την εμπιστοσύνη της, την πολύτιμη βοήθειά της, τις συμβουλές της, καθώς και την συνεργασία μας, καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής εργασίας μας. Ευχαριστούμε και την κυρία Αργυροπούλου, για την παραχώρηση του εργαστηρίου Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων που έλαβαν χώρα όλες οι επεμβάσεις συντήρησης.

Για τις αναλύσεις που πραγματοποιήσαμε, ευχαριστούμε: τον κύριο Μπογιατζή για την ανάλυση του φάσματος ανάκλασης υπερύθρων, τον κύριο Πάνου για την ακτινογράφιση των αντικειμένων, τον κύριο Καραμπότσο, για την ανάλυση των δειγμάτων μας στο SEM-EDAX, καθώς και για την βοήθεια στην αποσυναρμολόγηση τμημάτων του θεοδόλιχου και τέλος τον κύριο Μαστροθεόδωρο για τις αναλύσεις με το φορητό XRF.

Τέλος, αξιοσημείωτη ήταν και η βοήθεια που πρόσφερε η Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού για την ταυτοποίηση των αντικειμένων και την παροχή πληροφοριών και ξενάγησης στο μουσείο της υπηρεσίας. Ευχαριστούμε θερμά τον Σχη (Γ) Δημήτριο Λοΐσιο υποδιοικητή της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού και την κυρία Δήμητρα Καρλή υπεύθυνη διαχειρίστρια του μουσείου της υπηρεσίας για την φιλοξενία τους και για την παροχή πληροφοριών.

## Περίληψη

Στο πλαίσιο εκπόνησης της παρούσας πτυχιακής εργασίας, επιλέχθηκαν τέσσερα τοπογραφικά επιστημονικά αντικείμενα που ανήκουν σε μία ιστορική συλλογή του Γερμανικού Αρχαιολογικού Ινστιτούτου Αθηνών (ΓΑΙ). Πρόκειται για έναν Θεοδόλιχο, δύο Χωροβάτες και μία Διόπτρα μετροτράπεζας. Στόχος της εργασίας είναι η μελέτη και η κατανόηση της λειτουργίας των επιλεγμένων αντικειμένων, καθώς και η συντήρηση και η ανάδειξή τους. Τα αντικείμενα αυτά αποτελούν ένα σύνθετο σύνολο, καθώς απαρτίζονται από διάφορα υλικά, όπως ορείχαλκος, σίδηρος, άργυρος, γυαλί και ξύλο. Η αρχική μεταλλική μορφή τους προέκυψε με την μέθοδο χύτευσης σε άμμο. Η σχηματοποίησή τους επιτεύχθηκε μέσω της τόννευσης, ενώ τέλος επικαλύφθηκαν με βερνίκι γομαλάκας και μαύρη βαφή. Μέσω της βιβλιογραφικής έρευνας, της μακροσκοπικής παρατήρησης και των μη καταστρεπτικών φυσικοχημικών αναλύσεων που επιλέχθηκαν να εφαρμοστούν, προσδιορίστηκε η τεχνολογία κατασκευής και η κατάσταση διατήρησής τους. Στις αναλύσεις αυτές περιλαμβάνονται: ακτινογράφιση με ακτίνες-Χ, ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης με φασματοφωτόμετρο ενεργειακής διασποράς ακτινών-Χ (SEM-EDAX), φάσμα ανάκλασης υπέρυθρου (reflectance IR) και φασματοσκοπία ακτινών-Χ φθορισμού (XRF). Οι συνολικές πληροφορίες που συλλέχθηκαν βοήθησαν στο σχεδιασμό της μεθοδολογίας επεμβάσεων, καθώς και στο καθορισμό της έκτασης της συντήρησης. Σύμφωνα με τη μεθοδολογία των επεμβάσεων, αρχικά αποφασίσθηκε η αποσυναρμολόγηση των αντικειμένων, για τον καλύτερο καθαρισμό όλων των τμημάτων τους. Ύστερα, υλοποιήθηκε ο καθαρισμός των αντικειμένων. Επιλέχθηκε, κατόπιν της αξιολόγησης δοκιμών, ο χημικός καθαρισμός με μηχανική υποβοήθηση. Στο τέλος, στα ορειχάλκινα σημεία που καθαρίστηκαν, εφαρμόστηκε προστατευτικό βερνίκι. Για τον καθαρισμό στα σιδερένια τμήματα, επιλέχθηκε ο χημικός καθαρισμός με μηχανική υποβοήθηση, ενώ έγινε και τελικό φινίρισμα με την χρήση ηλεκτροκίνητου τροχού τύπου dremel. Στα τμήματα, που έφεραν βαφή, έγινε επιφανειακός καθαρισμός των ρύπων με διαλύτες. Στον κανόνα της Διόπτρας μετροτράπεζας, χρησιμοποιήθηκε χημικός καθαρισμός με διαλύτες και τέλος εφαρμόστηκε προστατευτικό επικαλυπτικό στρώμα. Τα ξύλινα τμήματα του κανόνα της Διόπτρας μετροτράπεζας καθαρίστηκαν με διαλύτες και επικαλύφθηκαν με προστατευτικό κερί. Όλα τα στάδια των επεμβάσεων καταγράφηκαν λεπτομερώς με φωτογραφική τεκμηρίωση. Με το πέρας των επεμβάσεων συντήρησης έγινε αποτίμηση των μεθόδων καθαρισμού και σημειώθηκε η ανάδειξη της ιστορικής και εκθεσιακής αξίας των τεσσάρων αντικειμένων.

## Abstract

During the preparation of this thesis, four topographical, scientific objects were selected for study and conservation, which they belong to a historical collection of the German Archaeological Institute of Athens (GAI). Those objects were identified as a Theodolite, two optical Levels and a Telescopic alidade. The aim of this thesis is the study and understanding of the function of the selected objects, as well as their conservation and enhancement. These objects are characterized as composites, since they are manufactured by various materials, such as brass, iron, silver, glass, and wood. Firstly, they were formed by sand casting technique, where the basic metallic form was manufactured and then shaped in a lathe. Finally, they were coated with shellac-based varnish and black paint. Through thorough investigation, bibliographical research, macroscopic observation and non-destructive physicochemical analyses, their manufacture technology and state of preservation were determined. Scientific investigation was performed via: X-ray radiography, Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-ray Spectrophotometer (SEM-EDAX), Infrared Reflectance Spectroscopy (reflectance IR) and X-ray Fluorescence (XRF) spectroscopy. The overall information from the study and examination of the objects, helped to design the conservation methodology, as well as to define the extent of the conservation treatment. According to the applied methodology, the objects were initially disassembled, for better cleaning of all parts. Then, the cleaning of the objects was carried out. Chemical cleaning with mechanical assistance was applied on the varnished areas and finishing with mechanical assistance. Finally, a protective varnish was applied to the cleaned brass parts. For the cleaning of the iron parts, chemical cleaning was applied on the varnished areas and finishing with mechanical assistance, while mechanical cleaning was also applied using a Dremel. In the painted parts of the objects, only surface chemical removal of dirt and dust was performed. In the ruler of the Telescopic alidade, chemical cleaning was done and finally a protective coating was applied. The wooden parts of the ruler of the Telescopic alidade were cleaned with solvents and coated with a protective wax. All conservation stages were recorded in detail via photographic documentation. At the end of the conservation treatments, the cleaning methods and results were evaluated and the historical and exhibition value of the four objects was enhanced.

## Περιεχόμενα:

Περιεχόμενα: .....	4
1. Εισαγωγή.....	7
2. Ιστορικά στοιχεία: .....	10
2.1. Εισαγωγικά στοιχεία συλλογής:.....	10
2.2. Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο: 150 χρόνια ιστορίας .....	10
2.3. Η συλλογή των αντικειμένων .....	13
3. Θεωρητικό υπόβαθρο συλλογής .....	20
3.1. Ιστορία, τυπολογία και αρχή λειτουργίας του συνόλου: .....	20
3.1.1. Τοπογραφικοί άξονες: .....	20
3.1.2. Ταυτοποίηση και λειτουργία οργάνων.....	20
4. Περιγραφή των τοπογραφικών οργάνων και ανάλυση τεχνολογίας κατασκευής .....	26
4.1. Περιγραφή των οργάνων.....	26
4.1.1. Θεοδόλιχος .....	26
4.1.2. Μαύρος χωροβάτης.....	39
4.1.3. Μικρός χωροβάτης: .....	46
4.1.4. Διόπτρα μετροτράπεζας:.....	49
4.2. Τεχνολογία κατασκευής οργάνων: .....	54
4.2.1. Υλικά και τεχνικές .....	54
4.2.2. Χύτευση σε άμμο.....	54
4.2.3. Τόρνευση τμημάτων .....	57
4.2.4. Πατίνα ορείχαλκου: .....	63
4.2.5. Επικαλυπτικά οργάνων: .....	63
4.3. Διαγνωστική διερεύνηση τεχνολογικών χαρακτηριστικών οργάνων συλλογής.....	66
4.3.1. Ακτινογράφιση αντικειμένων με ακτίνες-Χ:.....	66
<i>Αρχή της μεθόδου:</i> .....	67
<i>Διαδικασία ακτινογράφισης:</i> .....	68
4.3.2. Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης με φασματοφωτόμετρο ενεργειακής διασποράς ακτίνων- Χ (SEM-EDAX): .....	76
<i>Αρχή της μεθόδου:</i> .....	76
4.3.3. Φάσμα ανάκλασης υπέρυθρου: .....	88
4.3.4. Φασματοσκοπία Ακτίνων-Χ Φθορισμού (XRF):.....	99



4.3.5. Σύγκριση αποτελεσμάτων SEM-EDAX και XRF:.....	116
5. Παθολογία αντικειμένων: .....	117
5.1. Θεωρία διάβρωσης:.....	117
5.1.1. Ατμοσφαιρική διάβρωση:.....	119
5.1.2. Διάβρωση μετάλλων από οργανικά οξέα.....	121
5.1.3. Αμαύρωση του ορείχαλκου.....	121
5.1.4. Αποψευδαργύρωση.....	123
5.1.5. Διάβρωση ορείχαλκου από επικαλυπτικά.....	124
5.1.6. Διάβρωση σιδήρου σε εσωτερικές συνθήκες .....	125
5.1.7. Υποβάθμιση του επικαλυπτικού.....	125
5.1.8. Η ανθρώπινη χρήση ως φθοροποιοός παράγοντας .....	129
5.2. Μακροσκοπική παρατήρηση .....	131
5.3. Παθολογία αντικειμένων .....	133
5.3.1. Θεοδόλιχος: .....	133
5.3.2. Μαύρος χωροβάτης:.....	137
5.3.3. Μικρός χωροβάτης: .....	138
5.3.4. Διόπτρα μετροτράπεζας:.....	140
5.4. Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης με φασματοφωτόμετρο ενεργειακής διασποράς ακτίνων- Χ (SEM-EDAX):.....	143
6. Μεθοδολογία επεμβάσεων.....	149
6.1. Επιλογή επιφάνεια διατήρησης: .....	149
6.2. Επιλογή μέσων καθαρισμού.....	150
6.3. Δοκιμές καθαρισμού ρύπων, προϊόντων διάβρωσης και αφαίρεσης βερνικιού.....	152
Σύγκριση αποτελεσματικότητας μεταξύ γέλης και κομπρέσας .....	160
7. Μεθοδολογία επεμβάσεων συντήρησης: .....	168
7.1. Αποσυναρμολόγηση αντικειμένων:.....	168
.....	169
7.2. Μέθοδοι και Υλικά που επιλέχθηκαν: .....	169
7.3. Πίνακες αντικειμένων πριν και μετά τις επεμβάσεις συντήρησης: .....	171
8. Αποτίμηση επεμβάσεων:.....	203
8.1. Εκτίμηση των επεμβάσεων συντήρησης: .....	203
Βιβλιογραφία: .....	206

Ελληνόγλωσση βιβλιογραφία: .....	206
Ξενόγλωσση βιβλιογραφία: .....	207
Παράρτημα αναλύσεων .....	211
Ευρετήριο εικόνων και σχεδίων .....	224
Υλικά και προμηθευτές .....	226
Ασφάλεια και υγεία .....	226

## 1. Εισαγωγή

Η παρούσα μελέτη πραγματεύεται έναν αριθμό επιστημονικών οργάνων μίας ιστορικής συλλογής του 19ου-20ου αιώνα που ανήκει στο Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, αποτελούμενη από τοπογραφικό εξοπλισμό και ανασκαφικά όργανα και εργαλεία. Στόχος της είναι η αναγνώριση της λειτουργίας των επιλεγμένων αντικειμένων, ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών τους, του τρόπου κατασκευής τους, καθώς και της παθολογίας τους, για την καλύτερη κατανόηση, χειρισμό και ανάδειξή τους. Έχουν μεγάλη ιστορική και συναισθηματική αξία για το Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, μιας και είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με την ιστορία του.

Για την περάτωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας, επιλέχθηκαν τέσσερα τοπογραφικά επιστημονικά όργανα, από την προαναφερθείσα συλλογή. Τα αντικείμενα αποτελούν ένα σύνθετο σύνολο, καθώς είναι κατασκευασμένα από υλικά όπως μέταλλο, γυαλί, δέρμα, ξύλο και ύφασμα. Συγκεκριμένα, πρόκειται για έναν **θεοδόλιχο**, δύο **χωροβάτες** και μία **διόπτρα μετροτράπεζας**. Ο **θεοδόλιχος** αποτελείται από δύο μέρη που εφάπτονται και είναι κατασκευασμένος κυρίως από ορείχαλκο, ενώ διαθέτει και κάποια τμήματα από άργυρο και σίδηρο. Είναι τοπογραφικό, επιστημονικό, φορητό, οπτικό όργανο ακριβείας και χρησιμεύει στην μέτρηση γωνιών μεταξύ προκαθορισμένων ορατών σημείων σε ανοικτό πεδίο, είτε στο οριζόντιο, είτε στο κάθετο επίπεδο. (Thyer 1961; Στεργιάδη 1984; Βλάχος 2012) Οι δύο **χωροβάτες** είναι διαφορετικών μεγεθών και κατασκευασμένοι σχεδόν εξ' ολοκλήρου από ορείχαλκο, ενώ διαθέτουν και κάποια τμήματα από σίδηρο. Ο **μεγάλος χωροβάτης** δόθηκε χωρίς τον τρίποδά του και αποτελείται από ένα τμήμα. Ο **μικρός χωροβάτης** αποτελείται από δύο μέρη που ενώνονται μεταξύ τους και αποθηκεύεται μέσα σε ξύλινη θήκη, με εσωτερική υφασμάτινη επένδυση. Η συντήρηση της θήκης δεν περιλαμβάνεται στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Βασική λειτουργία του χωροβάτη είναι να υλοποιεί την ευθεία, η οποία είναι κάθετη προς τον κατακόρυφο άξονα του σημείου στάσης, δηλαδή πρόκειται για ένα υψομετρικό όργανο (Βλάχος 2012). Η **διόπτρα μετροτράπεζας** αποτελείται σχεδόν εξ' ολοκλήρου από ορείχαλκο, ενώ διαθέτει και κάποια τμήματα από άργυρο, σίδηρο και ξύλο. Εκτός από όργανο μέτρησης είναι και όργανο σχεδίασης. Το όργανο αυτό χρησιμεύει ιδιαίτερα όταν πραγματοποιείται η χαρτογράφηση ενός χώρου (Wainwright 1915). Είναι και αυτή λοιπόν ένα γωνιομετρικό όργανο, το οποίο φέρει κανόνα, όπου μέσω αυτού προσδιορίζονται γραφικώς οι γωνίες που σχεδιάζονται άμεσα στο τραπέζι σχεδίασης [(Μαυροκορδάτου 1888), (Δρίβα 1963)].

Ένα από τα πιο βασικά προβλήματα που χρειάστηκε να αντιμετωπιστεί στην παρούσα μελέτη, ήταν η επιλογή της επιφάνειας διατήρησης και η προστασία της τελικής επιφάνειας. Τα αντικείμενα αυτά, εδώ και αρκετό χρονικό διάστημα, δεν είναι λειτουργικά στο πεδίο των ανασκαφών και χρησίμευαν ως διακοσμητικά αντικείμενα στα γραφεία και τους κοινόχρηστους χώρους του Ινστιτούτου. Λόγω αυτού, η επαφή της επιφάνειάς τους με γυμνά χέρια, ήταν συχνή και συνεχής. Το ίδιο ίσχυε και για την εποχή που χρησιμοποιούνταν για την μέτρηση γωνιών και την σχεδίαση στις ανασκαφές. Αυτή ήταν και η κύρια αιτία φθοράς τους, μιας και το βερνίκι με το οποίο ήταν επικαλυμμένα από την κατασκευή τους, απολεπίστηκε, οξειδώθηκε και προκάλεσε διάβρωση του μετάλλου. Τα όργανα αυτά εξαιτίας της συνθετότητας, των ποικίλων υλικών, της ανομοιογένειας των διαστάσεων, των πολλών τμημάτων και

εξαρτημάτων τους καθίστανται ιδιαίτερα πολύπλοκά αντικείμενα όσον αφορά τη συντήρησή τους. (Lemos and Tissot 2020)

Είναι γενικώς αποδεκτό στις μέρες μας ότι η μελέτη συνόλων ή ομάδων επιστημονικών ιστορικών αντικειμένων με βάση τα τεχνολογικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά τους και τις αναλυτικές τεχνικές συμβάλλει ουσιαστικά στην αναγνώριση και τον προσδιορισμό στοιχείων που διαμορφώνουν μεταξύ άλλων το προφίλ του εξεταζόμενου αντικειμένου. Η διερεύνηση και η ταξινόμηση των τεχνολογικών/μορφολογικών χαρακτηριστικών προέκυψε μέσω της εξέτασης με οπτική παρατήρηση και της εφαρμογής μη καταστρεπτικών διαγνωστικών τεχνικών, όπως: Ακτινογράφιση με Ακτίνες-Χ, Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης με Φασματοφωτόμετρο Ενεργειακής Διασποράς Ακτίνων- Χ (SEM-EDAX), Φασματοσκοπία Ακτίνων-Χ Φθορισμού (XRF) και Φάσμα Ανάκλασης Υπέρυθρου (reflectance IR). Βασική προϋπόθεση για τη μελέτη του δείγματος και την αποκάλυψη των πληροφοριών που φέρει, είναι η διατήρηση της ακεραιότητας των επιφανειακών χαρακτηριστικών των οργάνων, μέσα από τη δημιουργία και εφαρμογή ενός προγράμματος ολοκληρωμένης διαχείρισης, συντήρησης και προστασίας του συνόλου. Αφού ελήφθησαν υπόψιν τα δεδομένα που συλλέχθηκαν, από τις προαναφερθείσες αναλύσεις, σχεδιάστηκε και εφαρμόστηκε ένα ορθολογικό και επιστημονικό πρόγραμμα ολοκληρωμένης συντήρησης, προστασίας και ανάδειξης των επιστημονικών οργάνων, με βάση τα προβλήματα και τις ανάγκες που αναδείχθηκαν.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η πολυετής και πολυποίκιλη ιστορία του Γερμανικού Αρχαιολογικού Ινστιτούτου Αθηνών (ΓΑΙ), που εδρεύει στην οδό Φειδίου 1, στο κέντρο της Αθήνας. Έπειτα γίνεται αναφορά στα διάφορα τοπογραφικά, ανασκαφικά όργανα και εργαλεία που απαρτίζουν την συλλογή τους, και αποτελούν ένα σύνθετο σύνολο. Παράλληλα, γίνεται και μια πρώτη παρουσίαση των τεσσάρων τοπογραφικών επιστημονικών οργάνων που επιλέχθηκαν από τη συλλογή του ΓΑΙ, για την εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Συγκεκριμένα, έναν Θεοδόλιχο, δύο Χωροβάτες και μία Διόπτρα μετροτράπεζας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά το θεωρητικό υπόβαθρο των εν λόγω τοπογραφικών οργάνων κι αναφέρεται η ιστορία, η τυπολογία και η αρχή λειτουργίας του συνόλου. Τα όργανα ταυτοποιούνται και παρουσιάζεται η αρχή λειτουργίας τους και οι τοπογραφικοί άξονές τους. Απαντώνται ερωτήματα σχετικά με το πότε εμφανίστηκαν τέτοιου είδους όργανα, σε τι χρησίμευαν, πως λειτουργούσαν, τι πλεονεκτήματα επέφερε η χρήση τους έναντι άλλων οργάνων χωρομέτρησης, καθώς και πως εξελίχθηκαν ανά τα χρόνια.

Στο τρίτο κεφάλαιο, αναλύονται, περιγράφονται και παρουσιάζονται εκτεταμένα τα διάφορα μέρη των τεσσάρων επιστημονικών οργάνων που επιλέχθηκαν για την συγκεκριμένη εργασία. Παράλληλα παρατίθενται πληροφορίες για τα υλικά και τις τεχνικές κατασκευής τους, τα οποία ταυτοποιήθηκαν μέσω Ακτινογράφισης με Ακτίνες-Χ, Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης με Φασματοφωτόμετρο Ενεργειακής Διασποράς Ακτίνων- Χ (SEM-EDAX) και Φάσματος Ανάκλασης Υπέρυθρου (reflectance IR). Το βασικό μέταλλο κατασκευής τους, είναι ο ορείχαλκος, ενώ υπάρχουν και τμήματα από σίδηρο, άργυρο και ξύλο. Επιπλέον, γίνεται μνεία για την χύτευση σε άμμο και την τόννευση τμημάτων, τεχνικές που αποδείχθηκε ότι χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή και μορφοποίηση των αντικειμένων. Τέλος, αναφορά γίνεται και στην γομαλάκα, το επικαλυπτικό που φαίνεται να χρησιμοποιήθηκε για την προστασία των οργάνων μετά την κατασκευή τους.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται εκτεταμένα η παθολογία των τεσσάρων επιστημονικών αντικειμένων. Τα αποτελέσματα προέκυψαν από μακροσκοπική παρατήρηση και αναλύσεις με την μέθοδο της Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης με Φασματοφωτόμετρο Ενεργειακής Διασποράς Ακτίνων- Χ (SEM-EDAX). Δημιουργήθηκαν χάρτες των διάφορων τύπων διάβρωσης του κάθε αντικειμένου, καθώς και σχεδιαγράμματα της παθολογίας τους, τα οποία βασίστηκαν τόσο στην μακροσκοπική παρατήρηση, όσο και στη θεωρία της διάβρωσης. Επίσης, αναλύονται οι τύποι διάβρωσης του ορείχαλκου από επικαλυπτικά, καθώς και η αμαύρωση και η αποψευδαργύρωσή του, η διάβρωση του σιδήρου σε εσωτερικές συνθήκες, καθώς και το πως επιδρούν η ατμόσφαιρα, τα οργανικά οξέα και η ανθρώπινη χρήση.

Στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφεται η μεθοδολογία των επεμβάσεων συντήρησης. Απαντώνται ερωτήματα σχετικά με την επιφάνεια διατήρησης και το γιατί προτιμήθηκε η διατήρησή τους ως ιστορικά εκθεσιακά αντικείμενα και όχι ως χρηστικά επιστημονικά όργανα. Ακόμη, αναφέρονται όλες οι δοκιμές που έγιναν για την απομάκρυνση των ρύπων και την αφαίρεση του οξειδωμένου βερνικιού με χημικό (μείγματα ακετόνης και αιθανόλης, κιτρικό τριαμμώνιο, μυρμηκικό οξύ, βενζυλική αλκοόλη διαφόρων συγκεντρώσεων με εφαρμογή με ξανθάνη, κομπρέσα και βαμβακοφόρο στυλέο και υποβοήθηση μηχανική με ανθρακικό ασβέστιο) και μηχανικό τρόπο (dremel και σύρμα ψιλό N.12), καθώς και η αξιολόγησή των αποτελεσμάτων τους.

Στο έκτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η μεθοδολογία των επεμβάσεων συντήρησης και η έκταση του καθαρισμού που τελικά σχεδιάστηκαν και εφαρμόστηκαν, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, τις δοκιμές και τις πληροφορίες που αντλήθηκαν από την αξιολόγηση αυτών. Έγινε αποσυναρμολόγηση των αντικειμένων για τον καλύτερο καθαρισμό όλων των τμημάτων τους. Προτιμήθηκε ο μηχανικός καθαρισμός του βερνικιού με λεπτό σύρμα N.12 και μείγμα μυρμηκικού οξέος 5% σε απιονισμένο νερό. Στο τέλος, στα ορειχάλκινα σημεία που καθαρίστηκαν, εφαρμόστηκε προστατευτικό βερνίκι (Paraloid B72 15% σε τολουόλιο). Στα σιδερένια τμήματα, επιλέχθηκε καυστικό Νάτριο 5% σε απιονισμένο νερό, το οποίο εφαρμόστηκε με ψιλό σύρμα N.12, ενώ έγινε και μηχανικός καθαρισμός με την χρήση dremel. Στα τμήματα, που έφεραν βαφή, έγινε επιφανειακός καθαρισμός των ρύπων, με διάλυμα ακετόνης-αιθανόλης-απιονισμένου νερού 1:1:1. Στον κανόνα της Διόπτρας μετροτράπεζας, χρησιμοποιήθηκε διάλυμα κιτρικού τριαμμώνιου 5% σε απιονισμένο νερό, ανθρακικό ασβέστιο με ακετόνη και τέλος εφαρμόστηκε προστατευτικό επικαλυπτικό διάλυμα Paraloid B72 15% σε τολουόλιο. Τα ξύλινα τμήματα του κανόνα της Διόπτρας μετροτράπεζας καθαρίστηκαν με απιονισμένο H<sub>2</sub>O και αιθανόλη και επικαλύφθηκαν με προστατευτικό κερί (Renaissance micro-crystalline wax polish).

Στο έβδομο κεφάλαιο γίνεται η αποτίμηση των μεθόδων καθαρισμού, καθώς και των υλικών που επιλέχθηκαν για την ολοκλήρωσή τους. Απαντώνται ερωτήματα, για το αν η τελική εμφάνιση των αντικειμένων είναι ικανοποιητική, αν είναι η αναμενόμενη και αν αναβαθμίστηκε η αξία τους. Αναφέρονται, επίσης, προτεινόμενοι τρόποι χειρισμού και ανάδειξης.

## 2. Ιστορικά στοιχεία:

### 2.1. Εισαγωγικά στοιχεία συλλογής:

Τα μελετώμενα τοπογραφικά όργανα αποτελούν μέρος μιας κατηγορίας επιστημονικών οργάνων. Ο στόχος της μελέτης και συντήρησής τους είναι η κατανόηση της λειτουργίας και η ανάδειξη των εν λόγω αντικειμένων, καθώς και η επαναφορά τους στην προγενέστερη κατάστασή τους.

Τα όργανα αυτά εξαιτίας της συνθετότητας, των ποικίλων υλικών, της ανομοιογένειας των διαστάσεων, των πολλών τμημάτων και εξαρτημάτων τους καθίστανται ιδιαίτερα πολύπλοκά αντικείμενα όσον αφορά τη συντήρησή τους. Τα βασικά προβλήματα που συναντώνται στη συντήρηση των επιστημονικών οργάνων εξαιτίας των χαρακτηριστικών των ίδιων των αντικειμένων είναι τα υλικά κατασκευής, οι διαστάσεις, η λειτουργία τους και η ύπαρξη κινούμενων μηχανισμών. Αυτά τα χαρακτηριστικά των τοπογραφικών οργάνων εγείρουν δυσκολίες για τη συντήρηση και γενικά τη διαχείρισή τους (Lemos and Tissot 2020).

Χαρακτηριστικά τοπογραφικών οργάνων	Δυσκολίες στη συντήρηση
Σύνθετα υλικά κατασκευής	Τα υλικά διαβρώνονται αλληλεπιδρώντας
Ανομοιογένεια διαστάσεων	Δυσκολία διαχείρισης και καθυστέρηση χρονική των επεμβάσεων
Λειτουργία οργάνων	Περιορισμός επεμβάσεων
Κινητοί μηχανισμοί	Διατήρηση της κίνησης τους

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε προέκυψε από εκτενή βιβλιογραφική αναζήτησή. Αρχικά, μέσω των πληροφοριών που συλλέχθηκαν για την ταυτοποίηση, χρήση και λειτουργία των αντικειμένων, καθώς και από τη γνώση και κατανόηση όλων των μερών που τα απαρτίζουν, έγινε εφικτή η αποσυναρμολόγηση, ώστε να συντηρηθούν εξ' ολοκλήρου. Η μακροσκοπική και μικροσκοπική παρατήρηση, καθώς και οι διάφορες αναλύσεις που διενεργήθηκαν, έδωσαν απαντήσεις σε διάφορα ερωτήματα σχετικά με την τεχνολογία κατασκευής, τα υλικά και την κατάσταση διατήρησης των αντικειμένων. Τα προαναφερθέντα χρησίμευσαν στην επιλογή και καθορισμό σημείων εξέτασης και δοκιμών, στον σχεδιασμό των επόμενων βημάτων, καθώς και στον σχεδιασμό της μεθοδολογίας των επεμβάσεων συντήρησης. Έπειτα πραγματοποιήθηκαν διάφορες δοκιμές καθαρισμού, για να προσδιορισθούν οι κατάλληλες μέθοδοι και υλικά για κάθε αντικείμενο και επιφάνεια, πάντα με γνώμονα τη διατήρηση της αυθεντικότητάς τους, καθώς και την μη πρόκληση φθοράς στις επιφάνειες.

### 2.2. Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο: 150 χρόνια ιστορίας

Το παράρτημα του Γερμανικού Αρχαιολογικού Ινστιτούτου (ΓΑΙ) ιδρύθηκε στην Αθήνα το 1874, χάρη στις προσπάθειες ονομαστών Γερμανών λογίων, όπως οι Ernst Curtius και Friedrich Thiersch, και ήταν το δεύτερο, μετά την Ρώμη, εξωτερικό παράρτημα του Ινστιτούτου. Το ΓΑΙ είναι ομοσπονδιακός οργανισμός, διατηρεί ακόμη τα κεντρικά γραφεία του στο Βερολίνο και υπάγεται στο Υπουργείο Εξωτερικών (Sporn 2018).

Το Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο Αθηνών καλύπτει ένα ευρύ θεματικό φάσμα στη διερεύνηση του αρχαίου πολιτισμού της Ελλάδας μέσω των δραστηριοτήτων του. Στα παγκοσμίως αναγνωρισμένα ερευνητικά προγράμματα του παραρτήματος του Ινστιτούτου, συγκαταλέγονται τα ιερά της Ολυμπίας, της Σάμου και του Καλαποδίου, η μυκηναϊκή ακρόπολη της Τίρυνθας και ο Κεραμεικός, σημαντική αρχαία νεκρόπολη της Αθήνας (Sporn 2018). Στους τόπους αυτούς διεξάγονται ανασκαφές μεγάλης κλίμακας που αναπτύχθηκαν με την συνδρομή πολλών γενεών ερευνητών. Οδήγησαν σε σημαντικές ανακαλύψεις, άνοιξαν δρόμους στην έρευνα και συνέβαλαν σε κεντρικά ζητήματα της ελληνικής αρχαιολογίας. Παρόλα αυτά, άφησαν πίσω τους ένα μεγάλο αριθμό δεδομένων, πολλά από τα οποία παραμένουν ακόμη και τώρα μη προσβάσιμα και αναξιόπιστα. Έτσι, στο προσκήνιο των τωρινών δραστηριοτήτων του ΓΑΙ, βρίσκεται η αναδρομική καταγραφή, η ασφαλής μακροπρόθεσμη αποθήκευση και η ανακτησιμότητα τέτοιων παλαιού τύπου δεδομένων έρευνας, μέσω δημιουργίας συστήματος αρχειοθέτησης και βάσης δεδομένων για τις έρευνες πεδίου του Ινστιτούτου. (Γρηγόροπουλος 2019). Πέρα από τις ανασκαφές, η προσοχή του ΓΑΙ στρέφεται ολοένα και περισσότερο στην μελέτη του πλούσιου ανασκαφικού υλικού, στην τεκμηρίωση, στη δημοσίευση, αλλά και στη διάδοση με διδακτικό τρόπο των ανασκαφικών αποτελεσμάτων. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω μαθημάτων για νέους επιστήμονες που ενισχύουν την πρόσβαση στα αρχαία πολιτιστικά κατάλοιπα και την κατανόησή τους, ενώ παράλληλα συμβάλλουν στις γερμανο-ελληνικές ανταλλαγές. Το Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο είναι υπεύθυνο και για τη συντήρηση και παρουσίαση των αρχαιοτήτων στο αρχαιολογικό πεδίο. Η “περιήγηση και η έρευνα”, αποτελούν το κέντρο βάρους του ΓΑΙ (Sporn 2018).

Στην αρχή, το παράρτημα είχε ως βάση ενοικιαζόμενους χώρους στην οδό Ακαδημίας. Αργότερα όμως, το 1887 για την ακρίβεια, χάρη στον πλούσιο επιχειρηματία και αρχαιολόγο Heinrich Schliemann, απέκτησε δικό του χώρο. Ο Schliemann αγόρασε, ως προίκα για την κόρη του, την οικία και το κτήμα του πρώτου Αυστριακού επιτετραμμένου στην Αθήνα, Anton Prokesch von Osten, στην οδό Καραμίχου, η οποία λίγα χρόνια αργότερα μετονομάστηκε σε Φειδίου, προς τιμήν του φημισμένου γλύπτη της αρχαιότητας Φειδία. Άμεσα, ο Schliemann προσέγγισε τον μόλις διορισμένο Α' Γραμματέα του παραρτήματος, Wilhelm Dorpfeld, που γνώριζε ήδη από τις ανασκαφές στην Τροία, για να ανεγείρει στο οικόπεδο ένα κτίσμα ειδικά για το ΓΑΙ που θα το νοίκιαζε στο γερμανικό κράτος για 25 χρόνια. Εντός ενός μόνο έτους το κτίσμα κατασκευάστηκε με σχέδια των Wilhelm Dorpfeld και Ernest Ziller και εγκαινιάστηκε το 1888. Το κτήριο του ΓΑΙ, μέσω πολλών διακοσμητικών και κατασκευαστικών λεπτομερειών, συνδέεται με την μεγαλοπρεπή οικία του Schliemann στην οδό Πανεπιστημίου που χτίστηκε το 1879 και σήμερα στεγάζει το Νομισματικό Μουσείο. Τέτοιες λεπτομέρειες είναι η μαρμάρινη κλίμακα με τις προβολικά τοποθετημένες βαθμίδες που στηρίζονται μόνο στον τοίχο, καθώς και τα χυτοσιδηρά κιγκλιδώματα στις σκάλες και στους εξώστες. Το 1899, το γερμανικό κράτος αγόρασε το κτήριο και το οικόπεδο στην οδό Φειδίου. Όλα τα χρόνια που μεσολάβησαν από την κατασκευή του κτιρίου υπήρξαν πολυκύμαντα. Σημαντικό γεγονός αποτελεί το ότι το 1972 χαρακτηρίστηκε το κτήριο του Ινστιτούτου ως προστατευόμενο μνημείο, το οποίο το 2018 συμπλήρωσε 130 χρόνια από την ανέγερσή του (Sporn 2018).

Η πιο σημαντική προσωπικότητα του ΓΑΙ, μέχρι τον Α' Παγκόσμιο Πόλεμο, ήταν ο Wilhelm Dorpfeld, ο οποίος μέσω των γνωριμιών του έφερε το παράρτημα στο προσκήνιο και στο κέντρο της πολιτιστικής ζωής της πόλης. Αυτό επιτεύχθηκε μέσω τακτικών συνεδρίων (διαλέξεων), οι οποίες προσέλκυαν τόσο τους ειδικούς όσο και το ευρύτερο κοινό. Επιπλέον,

αργότερα, λάμβαναν χώρα και συναντήσεις συγγενών ιδρυμάτων, όπως για παράδειγμα του γερμανο-ελληνικού συλλόγου “Φιλαδέλφεια”, αλλά ακόμη και χοροεσπερίδες που γνώριζαν μεγάλη δημοσιότητα. Παράλληλα, κάθε Σάββατο, ο ίδιος ο Dorpfeld πραγματοποιούσε ξεναγήσεις για τους ενδιαφερόμενους στις σημαντικότερες αρχαίες θέσεις (Sporn 2018).

Το 2024 είναι η 150ή επετειος του Γερμανικού Αρχαιολογικού Ινστιτούτου Αθηνών. Αποτελεί ορόσημο στην ιστορία του παρατηρήματος και οφείλει να εορταστεί και να τιμηθεί, όπως πρέπει. Για τον λόγο αυτό, από το 2021 έχουν ξεκινήσει διεργασίες για τον εορτασμό της επετείου, αλλά και διενεργείται ένα πρόγραμμα που στοχεύει να ρίξει νέο φως στην ιστορία του παρατηρήματος των Αθηνών (Brandt 2021). Μέσω της έρευνας της ιστορίας του, έχουν συγκεντρωθεί πλήθος αρχαιολογικού υλικού και φωτογραφιών προσώπων που στο πέρασμα των χρόνων ήρθαν σε επαφή με το ΓΑΙ με τον πλέον διαφορετικό τρόπο. Η ιστορία του ΓΑΙ και των πρωταγωνιστών της είναι γεμάτη εναλλαγές και πρόκειται να παρουσιαστεί αναλυτικότερα σε επιμέρους έργα και δημοσιεύσεις μέχρι το 2024 (Brandt 2021).

Μέρος της ιστορίας αυτής είναι και τα 4 μεταλλικά τοπογραφικά αντικείμενα που πραγματεύεται αυτή η πτυχιακή εργασία, τα οποία χρησιμοποιούνταν από Γερμανούς αρχαιολόγους στα τέλη του 19ου αιώνα. Εικάζεται κιόλας, πως το αντικείμενο που αποκαλείται “Θεοδόλιχος”, ανήκε στον ίδιο τον Wilhelm Dorpfeld.



### 2.3. Η συλλογή των αντικειμένων

Το Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο Αθηνών, διαθέτει μια πολυάριθμη συλλογή, τόσο επιστημονικών οργάνων όσο και χρηστικών αντικειμένων. Ανάμεσά τους συγκαταλέγονται, φωτιστικά, μαρμάρινα τζάκια, ξύλινες καρέκλες και τραπέζια, μεταλλικά τοπογραφικά και επιστημονικά όργανα, ξύλινες κλίμακες και θήκες, όλα της περιόδου του 19<sup>ου</sup> και 20<sup>ου</sup> αιώνα.



Εικόνα 1 Πολυέλαιος από το κτήριο του Γ.Α.Ι. στη Φειδίου 1 (©Αρχείο Γ.Α.Ι., D-DAI-ATH-2019-00028).



Εικόνα 2 Καρέκλες και τραπέζι καθιστικού από το κτήριο του Γ.Α.Ι. στη Φειδίου 1 (©Αρχείο Γ.Α.Ι., D-DAI-ATH-2019-00042).



Εικόνα 3 Μαρμάρινο τζάκι από το κτήριο του Γ.Α.Ι. στη Φειδίου 1 (©Αρχείο Γ.Α.Ι., D-DAI-ATH-2019-00001).



Εικόνα 4 Διόπτρα με τη θήκη της (©Αρχείο Γ.Α.Ι., D-DAI-ATH-2019-00021).



Εικόνα 5 Χωροβάτης. (©Αρχείο Γ.Α.Ι., D-DAI-ATH-2019-00003)



Εικόνα 6 Διαβήτης (κουμπάσο). (©Αρχείο Γ.Α.Ι., D-DAI-ATH-2019-00017)



Εικόνα 7 Φακός ευθυγράμμισης. (©Αρχείο Γ.Α.Ι., D-DAI-ATH-2019-00018)



Εικόνα 8 Θεοδόλιχος. (©Αρχείο Γ.Α.Ι., D-DAI-ATH-2019-00007)



Εικόνα 9 Μη καθορισμένο όργανο. (©Αρχείο Γ.Α.Ι., D-DAI-ATH-2019-00015)



Εικόνα 10 Χωροβάτης. (©Αρχείο Γ.Α.Ι., D-DAI-ATH-2019-00011)



Εικόνα 11 Σταδία. (©Αρχείο Γ.Α.Ι., D-DAI-ATH-2019-00023)



Εικόνα 12 Αεροστάθμη. (©Αρχείο Γ.Α.Ι., D-DAI-ATH-2019-00023)

Από αυτή την πολυάριθμη και πολυποίκιλη συλλογή, δόθηκαν για την εκπόνηση της συγκεκριμένης πτυχιακής, τέσσερα αντικείμενα. Πρόκειται για μεταλλικά τοπογραφικά όργανα που χρησιμοποιούνταν στο πεδίο από τους Γερμανούς αρχαιολόγους. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για έναν Θεοδόλιχο, δύο Χωροβάτες και μία Διόπτρα μετροτράπεζας.



Εικόνα 13 Θεοδόλιχος. (©Αρχείο Γ.Α.Ι., D-DAI-ATH-2019-00019)

Ο θεοδολίχος αποτελείται από δύο μέρη που εφάπτονται και είναι κατασκευασμένος κυρίως από ορείχαλκο, ενώ διαθέτει και κάποια τμήματα από άργυρο και σίδηρο. Είναι τοπογραφικό, επιστημονικό, φορητό, οπτικό όργανο ακριβείας και χρησιμεύει στη μέτρηση γωνιών μεταξύ προκαθορισμένων ορατών σημείων σε ανοικτό πεδίο, είτε στο οριζόντιο, είτε στο κάθετο επίπεδο. (Thyer 1961; Στεργιάδη 1984; Βλάχος 2012)



Εικόνα 14 Μαύρος χωροβάτης πάνω σε τρίποδο( ©Αρχείο Γ.Α.Ι., D-DAI-ATH-2019-00034)



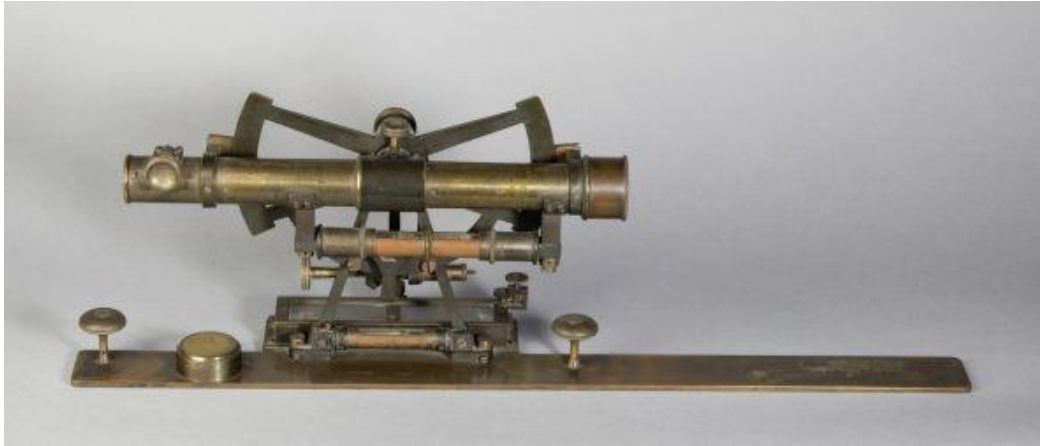
Εικόνα 15 Κοντινή άποψη του Μαύρου χωροβάτη. (©Αρχείο Γ.Α.Ι., D-DAI-ATH-2019-00035)



Εικόνα 16 Μικρός χωροβάτης μέσα στην θήκη του. (©Αρχείο Γ.Α.Ι., D-DAI-ATH-2019-00014)

Οι δύο Χωροβάτες είναι διαφορετικών μεγεθών και κατασκευασμένοι σχεδόν εξ' ολοκλήρου από ορείχαλκο, ενώ διαθέτουν και κάποια τμήματα από σίδηρο. Ο μεγάλος χωροβάτης δόθηκε χωρίς τον τρίποδά του και αποτελείται από ένα τμήμα. Ο Μικρός χωροβάτης, αποτελείται από δύο μέρη που ενώνονται μεταξύ τους και αποθηκεύεται μέσα σε ξύλινη θήκη με εσωτερική υφασμάτινη επένδυση. Η συντήρηση της θήκης δεν περιλαμβάνεται στο πλαίσιο των

εργασιών συντήρησης της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Είναι ένα βασικό όργανο της γεωμετρικής χωροστάθμησης ακριβείας (Μπαλοδήμος *et al.*). Βασική λειτουργία του χωροβάτη είναι να υλοποιεί την ευθεία, η οποία είναι κάθετη προς τον κατακόρυφο άξονα του σημείου στάσης, δηλαδή πρόκειται για ένα υψομετρικό όργανο (Βλάχος 2012).



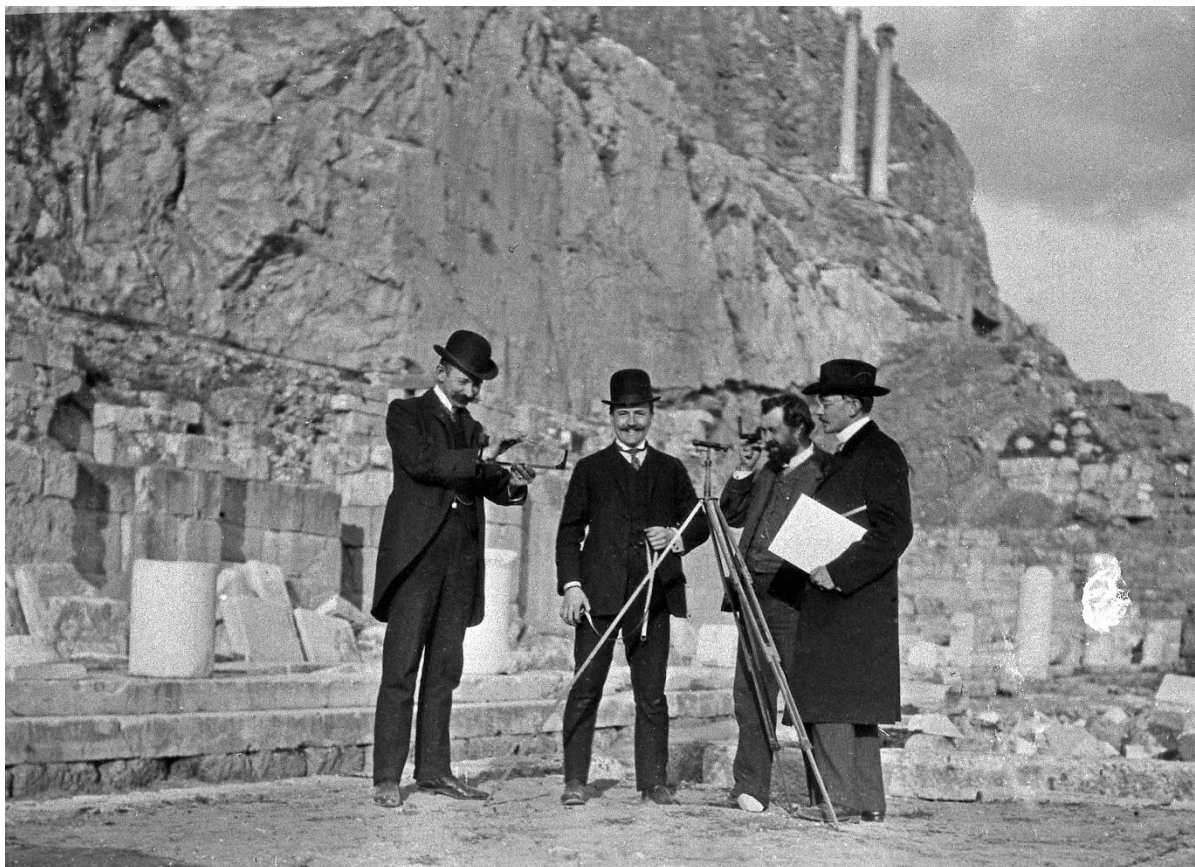
Εικόνα 17 Διόπτρα μετροτράπεζας. (©Αρχείο Γ.Α.Ι., D-DAI-ATH-2019-00026)

Η Διόπτρα μετροτράπεζας αποτελείται σχεδόν εξολοκλήρου από ορείχαλκο, ενώ διαθέτει και κάποια τμήματα από άργυρο, σίδηρο και ξύλο. Εκτός από όργανο μέτρησης είναι και όργανο σχεδίασης. Το τηλεσκόπιο χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό κλίσεων και διευθύνσεων και αμέσως με την χρήση χάρακα που βρίσκεται στη βάση του οργάνου σχεδιάζονται. Το όργανο αυτό εξυπηρετεί ιδιαίτερα όταν πραγματοποιείται η χαρτογράφηση ενός χώρου (Wainwright 1915). Είναι και αυτή λοιπόν ένα γωνιομετρικό όργανο, το οποίο φέρει κανόνα, όπου μέσω αυτού προσδιορίζονται γραφικώς οι γωνίες. Οι γωνίες και οι κλίσεις που μετρούνται στο πεδίο σχεδιάζονται άμεσα στο τραπέζι σχεδίασης [(Μαυροκορδάτου 1888), (Δρίβα 1963)].



*Εικόνα 18 Φωτογραφία από την ανασκαφή του 1893, στην Τροία. Διακρίνεται ο Wilhelm Wilberg, να στέκεται στα τείχη μιας οικίας. (Αρχείο Γ.Α.Ι, D-DAI-ATH-TROJA-0181\_2109741)*

Τα αντικείμενα αυτά έχουν μεγάλη ιστορική και συναισθηματική αξία για το Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, μιας και είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με την ιστορία του. Στο αρχείο τους διαθέτουν αρκετό φωτογραφικό υλικό της περιόδου εκείνης και σε έναν αριθμό των φωτογραφιών αυτών έχουν αποτυπωθεί και τα συγκεκριμένα επιστημονικά όργανα κατά την χρήση τους στο πεδίο από τους αρχαιολόγους. Πριν δοθούν τα τέσσερα αυτά αντικείμενα για συντήρηση στο πλαίσιο της παρούσας πτυχιακής εργασίας, κοσμούσαν γραφεία και κοινόχρηστους χώρους του κτηρίου του ΓΑΙ, στο κέντρο της Αθήνας, στην οδό Φειδίου 1.



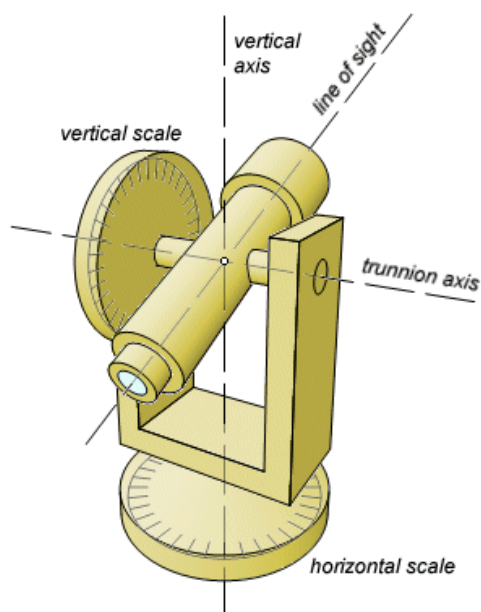
*Εικόνα 19 Φωτογραφία από ανασκαφή του 1906, στην Νότια Κλιτή της Ακρόπολης των Αθηνών. Αριστερά διακρίνεται ο Herman Struck, υπάλληλος του Γ.Α.Ι. Δεξιά, βρίσκεται ο Kurt Ferdinand Muller, υπότροφος αρχαιολόγος του Γ.Α.Ι. Οι δύο άντρες στο κέντρο δεν έχουν ταυτοποιηθεί. (Αρχείο Γ.Α.Ι, D-DAI-ATH-1973-1141)*

### 3. Θεωρητικό υπόβαθρο συλλογής

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει η ταυτοποίηση των οργάνων, ενώ παράλληλα θα παρουσιαστεί αναλυτικά η λειτουργία και ο τρόπος χρήσης τους. Επιπλέον, θα αναλυθούν οι διάφοροι τύποι διάβρωσης των υλικών από τα οποία έχουν κατασκευαστεί.

#### 3.1. Ιστορία, τυπολογία και αρχή λειτουργίας του συνόλου:

##### 3.1.1. Τοπογραφικοί άξονες:



Εικόνα 20 Οι τοπογραφικοί άξονες όπως προσαρμόζονται στο θεοδόλιχο. © (Paul Kunkel 2012, <http://whistleralley.com/surveying/theodolite/>).

Οι τοπογραφικοί άξονες πρόκειται για τους άξονες διεύθυνσης των οριζόντων, με βάση αυτούς υπολογίζονται τα ύψη, οι γωνίες κ.λ.π.. Σε συσχέτιση με αυτούς τους άξονες κινούνται και αναλόγως τα εξαρτήματα των οργάνων και ρυθμίζεται η λειτουργία τους. Οι άξονες αποτελούνται από κάθετους, οριζόντιους και τον σκοπευτικό άξονα. Ο κάθετος άξονας αναφέρεται και ως πρωτεύων άξονας και άξονας περιστροφής. Ο κάθετος άξονας αφορά την περιστροφή του οργάνου. Οι οριζόντιοι άξονες αφορούν την περιστροφή του τηλεσκοπίου. Ο οριζόντιος άξονας ονομάζεται αλλιώς δευτερεύων άξονας και άξονας αντιστροφής. Η περιστροφή του οριζόντιου άξονα επιτυγχάνεται μέσω του κάθετου/κατακόρυφου κύκλου μέτρησης. Ενώ, η περιστροφή του οργάνου σύμφωνα με τον κάθετο άξονα επιτυγχάνεται μέσω του οριζόντιου κύκλου. Ο σκοπευτικός άξονας ονομάζεται και άξονας ευθυγράμμισης και είναι ο άξονας/γραμμή που ενώνει το κέντρο του αντικειμενικού φακού με το σταυρόνημα (το στόχο) (Λυρώνης 2011) και διέρχεται κατά μήκος όλου του τηλεσκοπίου. Επιπλέον, ο άξονας αυτός για να έχει σκοπευ-

τική διάταξη πρέπει να είναι δυνατή η περιστροφή του προς όλα τα σημεία του χώρου (Δρίβα 1963).

##### 3.1.2. Ταυτοποίηση και λειτουργία οργάνων

Όταν τα αντικείμενα ανατέθηκαν για τη μελέτη και τη συντήρησή τους, η ταυτότητά τους, καθώς και η χρήση τους, δεν ήταν πλήρως διευκρινισμένη. Λαμβάνοντας υπόψιν ορισμένα στοιχεία από το Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, πραγματοποιήθηκε μελέτη για επιστημονικά όργανα ανασκαφής. Μέσω της μελέτης των σχημάτων των αντικειμένων και της ενδελεχούς μελέτης στη βιβλιογραφία, τα αντικείμενα ταυτοποιήθηκαν ως τοπογραφικά όργανα. Συγκεκριμένα τα αντικείμενα πρόκειται για θεοδόλιχο, χωροβάτη και τηλεσκοπική διόπτρα.

Ο **θεοδόλιχος** είναι ένα φορητό οπτικό όργανο ακριβείας και χρησιμοποιείται για τη μέτρηση γωνιών μεταξύ προκαθορισμένων ορατών σημείων σε ανοικτό πεδίο, τόσο στο οριζόντιο, όσο και στο κάθετο επίπεδο (Thyer 1961; Στεργιάδη 1984; Βλάχος 2012). Η παραδοσιακή χρήση του θεοδόλιχου είναι στην τοπογραφική μελέτη (τοπογράμηση) και στη γεωδαισία, αλλά χρησιμοποιείται πολύ και στα δομικά έργα, όπως και σε κάποιες ειδικές εφαρμογές (π.χ. μετεωρολογία, εκτοξεύσεις πυραύλων) (Thyer 1961). Ετυμολογείται πιθανότατα από τις ελληνικές



λέξεις θεώμαι και δολιχώς (που στην αρχαία ελληνική σήμαινε «από μακριά», δηλαδή «βλέπω από μακριά»), ή από τις λέξεις θέα + οδός + λιτός (Turner 2000). Ο θεοδόλιχος είναι ένα τοπογραφικό εργαλείο, το οποίο υπολογίζει με μεγάλη ακρίβεια την οριζόντια και κατακόρυφη γωνία που σχηματίζεται από τη νοητή οπτική γραμμή που συνδέει ένα χαρακτηριστικό σημείο του οργάνου (κέντρο σκόπευσης) και το σημείο λεπτομέρειας (σημείο σκόπευσης), επί του αντικειμένου που παρατηρείται μέσω του οπτικού συστήματός του.

Ως πρωϊμότερος πρόγονος του σύγχρονου θεοδόλιχου μπορεί να θεωρηθεί η διόπτρα του Ήρωνος της Αλεξάνδρειας (1<sup>ος</sup> αι. π.Χ.) (Βλάχος 2012; Nadolinets 2017). Πριν τη διόπτρα του Ήωνα, αρχαίοι ερευνητές εφαρμόζαν πρωτογωνικά γωνιομετρικά όργανα για την μελέτη των άστρων και για την μελέτη οικοδομικών έργων (Nadolinets 2017). Ουσιαστικά πρόκειται για ένα γεωδαιτικό όργανο, το οποίο εφαρμόζονταν για την ακριβή μέτρηση της οριζόντιας, της κατακόρυφης και της γωνιακής απόστασης δύο ουράνιων ή γήινων σημείων. Το όργανο αποτελούνταν από ένα στυλίσκο, ο οποίος έφερε μια οριζόντια οδοντωτή βάση που μπορούσε να περιστραφεί μέσω ενός ατέρμονα κοχλίου. Πάνω σε αυτή την οριζόντια βάση τοποθετείτο ένα ακριβές σύστημα διόπτρευσης που αποτελούνταν από έναν κατακόρυφο (πιθανόν βαθμονομημένο) ημικυκλικό δίσκο, ο οποίος μπορούσε να περιστραφεί με ακρίβεια με τη βοήθεια ενός ατέρμονα κοχλίου και από έναν οριζόντιο (πιθανόν βαθμονομημένο) δίσκο που έφερε μία σταυρωτή περιστρεφόμενη σκοπευτική διάταξη (Kotsanas 2022). Ο χειριστής του οργάνου μπορούσε να σκοπεύσει οποιοδήποτε σημείο στο χώρο και να σημειώσει τις γωνιακές συντεταγμένες του. Επιπλέον, πριν από το θεοδόλιχο, όργανα όπως το γεωμετρικό τετράγωνο και διάφοροι βαθμολογημένοι κύκλοι και ημικύκλια χρησιμοποιήθηκαν για να ληφθούν κατακόρυφες ή οριζόντιες μετρήσεις γωνίας. Ήταν μόνο θέμα χρόνου πριν κάποιος βάλει δύο συσκευές μέτρησης σε ένα μόνο όργανο που θα μπορούσε να μετρήσει και τις δύο γωνίες ταυτόχρονα.



Εικόνα 21 Αναπαράσταση της διόπτρας του Ήρωνος, (©Kostas Kotsanas 2022)

Ο Gregorius Reisch έδειξε ένα τέτοιο όργανο στο προσάρτημα του βιβλίου του *Margarita Philosophica*, το οποίο δημοσίευσε στο Στρασβούργο το 1512. Περιγράφηκε στο προσάρτημα από τον Martin Waldseemüller, έναν Γερμανό τοπογράφο και χαρτογράφο, ο οποίος κατασκεύασε τη συσκευή το ίδιο έτος και αποκάλεσε το όργανό του πολύμετρο. Η πρώτη εμφάνιση της λέξης "θεοδόλιχος" απαντάται στο βιβλίο ερευνών «Μια γεωμετρική πρακτική που ονομάζεται Pantometria» (1571) του Leonard Digges. Μερικοί προσδιορίζουν τον πρώιμο θεοδόλιχο ως όργανο αζιμούθιου, ενώ άλλοι το καθορίζουν ως όργανο αλταζιμουθιακό. Μέχρι τον 19ο αιώνα, το όργανο μέτρησης μόνο οριζόντιων γωνιών ονομαζόταν απλώς (simple) θεοδόλιχος και το όργανο του αλταζιμούθιου, "plain" θεοδόλιχος.

Το πρώτο όργανο που μοιάζει περισσότερο με έναν αληθινό θεοδόλιχο είναι πιθανότατα αυτό που κατασκευάστηκε από τον Joshua Habermel (de: *ErasmusHabermehl*) στη Γερμανία το 1576, πλήρης με πυξίδα και τρίποδο (Avram *et al.* 2016). Τον 18<sup>ο</sup> αιώνα και συγκεκριμένα

το 1787, παράχθηκε από τον κατασκευαστή οπτικών οργάνων Ramsden ο «μεγάλος θεοδολιχός» που είχε τη δυνατότητα να σκοπεύει σε μεγάλες αποστάσεις, οι οποίες σε καλές καιρικές συνθήκες ξεπερνούσαν τα 100 km. Η δημιουργία τέτοιου οργάνου στόχευε στη προσπάθεια σύνδεσης των αστεροσκοπειών του Greenwich και του Παρισιού με τριγωνισμό (Βλάχος 2012). Με τη πάροδο του χρόνου, στα γωνιομετρικά όργανα τοποθετήθηκε πυξίδα για προσανατολισμό, ενώ το αλφάδι σε σωληνωτή αεροστάθμη και ένα τηλεσκόπιο Kerpler αποτελούσαν τα βασικά μέρη του θεοδολιχού. Τη δεκαετία του 1920, πολλές κατασκευαστικές εταιρίες ξεκίνησαν την πρόσθεση γυάλινων μελών στους θεοδολιχούς τους. Παρόλο αυτά, η ύπαρξη μεταλλικών μερών στους θεοδολιχούς συνεχίστηκε μέχρι τη δεκαετία του 1960 (Nadolinetz *et al.* 2017).

Τα πρώτα αλταζιμουθιακά όργανα αποτελούνταν από μία βάση βαθμονομημένη στο χείλος της με πλήρη κύκλο και από μία διάταξη για τη μέτρηση κάθετων γωνιών, συχνότερα ένα ημικύκλιο. Μια περιστρεφόμενη πλάκα (γνωστή ως διόπτρα) στη βάση χρησίμευε για τη μέτρηση της οριζόντιας γωνίας ενός στόχου, ενώ μία δεύτερη τέτοια πλάκα ήταν προσαρμοσμένη πάνω στο κάθετο ημικύκλιο. Μεταγενέστερα όργανα είχαν μία μόνο περιστρεφόμενη πλάκα, αυτή στο κάθετο ημικύκλιο, και ολόκληρο το ημικύκλιο στηριζόταν σε περιστρεφόμενη βάση, έτσι ώστε να δίνει μετρήσεις και των οριζόντιων γωνιών. Τελικά, η απλή πλάκα αντικαταστάθηκε με ένα τηλεσκόπιο διοπτρεύσεων (διόπτρα), με πρωτοπόρο τον Τζόνθαν Σίσσον (Jonathan Sisson) το 1725. Την περίοδο προς τα τέλη του 19<sup>ου</sup> και τις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα, το τηλεσκόπιο Kerpler μπορούσε να προσφέρει μόνο εξωτερική εστίαση. Αυτό σήμαινε πώς έπρεπε να αφαιρείται ο προσοφθάλμιος φακός (ocular lens/eyepiece), ανάλογα με τον οπτικό άξονα του τηλεσκοπίου. Το 1725, ο Jonathan Sisson έκανε εφικτή την τοποθέτηση τηλεσκοπίου σε θεοδολιχό. Στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα, το όργανο αποτελείτο από μεταλλικά μέρη και κύκλους. Οι μετρήσεις γίνονταν από δύο, διαμετρικά αντίθετα μικροσκόπια. Κατά αυτό το τρόπο η εκκεντρότητα (η απόκλιση σχηματισμού καμπυλότητας-κύκλου) από τους κύκλους μειώθηκε (μείωση εκκεντρότητας σημαίνει πιο εύκολος σχηματισμός κύκλου)<sup>1</sup>. Κύριο χαρακτηριστικό των τμημάτων του συγκεκριμένου τύπου θεοδολιχού είναι η ύπαρξη τριών ή τεσσάρων ανυψωτικών κοχλιών (Nadolinetz *et al.* 2017). Ο θεοδολιχός έγινε ένα σύγχρονο, ακριβές όργανο το 1787 με την εισαγωγή του διάσημου μεγάλου θεοδολιχού του Τζέσι Ράμσντεν που τον δημιούργησε χρησιμοποιώντας ένα πολύ ακριβές διαχωρισμό μηχανής δικού του σχεδιασμού. Καθώς η τεχνολογία εξελίχθηκε, στη δεκαετία του 1840, το κάθετο μερικώς κυκλικό τμήμα αντικαταστάθηκε με ένα πλήρες κυκλικό, αυτός ήταν ο “transit” θεοδολιχός. Στις αρχές του 20ου αιώνα, ο Heinrich Wild παρήγαγε θεοδολιχούς που έγιναν δημοφιλείς στους

---

<sup>1</sup> Όσο πιο μικρή εκκεντρότητα έχουμε, τόσο λιγότερη παραμόρφωση παρουσιάζεται, ειδικά στα αντικείμενα όπου βρίσκονται σε μακρινή απόσταση. Με μεγάλη εκκεντρότητα υπάρχει παραμόρφωση των αντικειμένων. Όταν έχουμε μηδενική εκκεντρότητα τότε μέσα στο φακό έχουμε έναν τέλειο κύκλο με ίση απόσταση (ακτίνα) από κάθε σημείο. Όταν έχουμε υψηλότερη εκκεντρότητα  $> 0$ , τότε υπάρχει άνιση απόσταση όπου θα διανύσει το φως, καθώς δεν έχουμε κύκλο πλέον, αλλά ωοειδές σχήμα. Τότε η διαφορετική απόσταση διάνυσης από δύο διαφορετικά σημεία θα προκαλέσει παραμόρφωση, ιδιαίτερα σε αυτό όπου είναι πιο μακριά. Δηλαδή εάν δεν είναι τέλειος κύκλος στον φακό, τότε το φως έχει να διανύσει επιπλέον εσωτερική απόσταση σε διαφορετική απόσταση προκαλούν παραμόρφωση, θέλουμε οι εξωτερικές αποστάσεις που διάνυσε το φως μέχρι το φακό να μείνουν ανεπηρέαστες ή να επηρεάζονται όλες ανάλογα και ίσα (Λυρώνης 2011).

επιθεωρητές (surveyors). Με συνεχείς βελτιώσεις τα όργανα εξελίχθηκαν σταθερά στο σύγχρονο θεοδόλιχο που χρησιμοποιείται από τους ερευνητές σήμερα (Avram *et al.* 2016).

Με την πάροδο των χρόνων, η τεχνολογία λειτουργίας και κατασκευής των θεοδόλιχων τροποποιήθηκε, καθώς σημαντικές αλλαγές σημειώθηκαν την δεκαετία του 1960. Εκείνη την περίοδο κατασκευάστηκε ένας νέος τύπος θεοδόλιχου, ο οποίος περιείχε εσωτερικό τηλεσκόπιο εστίασης. Επιπλέον, αφαιρέθηκε η πυξίδα και στη θέση της τοποθετήθηκε ένα μικρότερο κυκλικό αλφάδι, η σφαιρική αεροστάθμη. Η πυξίδα ήταν πλέον φορητή. Τα ξεχωριστά μικροσκόπια αντικαταστάθηκαν με ένα κοινό και ο προσοφθάλμιος φακός τοποθετήθηκε δίπλα στο προσοφθάλμιο του τηλεσκοπίου. Στη βάση προστέθηκε το τρικόχλιο, ενσωματωμένο πλέον σε μια κυκλική διάταξη. Η αντικατάσταση του αλφαδιού στο κάθετο κύκλο με ένα οπτικό και μηχανικό αντισταθμιστή, αποτελούσε την τελευταία τροποποίηση του θεοδόλιχου. Πιο προηγμένοι θεοδόλιχοι έχουν ομοαξονικούς κοχλίες σύσφιξης και εστίασης. Οι κατασκευάστρες εταιρίες συνέχισαν τις βελτιώσεις στους οπτικούς θεοδόλιχους μέχρι τη δεκαετία του 1990 και παρόλο που διατίθενται μέχρι και σήμερα, έχει σταματήσει η παραγωγή τους (Nadolnits *et al.* 2017). Ο κύριος λόγος για τον οποίο σταμάτησε η παραγωγή και χρήση του οπτικομηχανικού θεοδόλιχου, είναι η επικράτηση του ηλεκτρονικού.

#### Αρχή λειτουργίας Θεοδόλιχου:

Με κατάλληλη περιστροφή του κατακόρυφου δίσκου και της διόπτρας σκοπεύει ο χειριστής διαδοχικά τις δυο θέσεις, των οποίων ζητείται η γωνία. Η διαφορά των ενδείξεων των δυο βελόνων (αυτής που συνοδεύει το δίσκο και αυτής που συνοδεύει τη διόπτρα στην περιστροφή τους) μεταξύ των δύο θέσεων, δίνει την ακριβή γωνία τους (Avram *et al.* 2016).

#### Αρχή χρήσης Θεοδόλιχου:

- ❖ Σημείωση του σημείου που θα τοποθετηθεί ο θεοδόλιχος, ώστε αυτό το σημείο να είναι η βάση για τη μέτρηση γωνιών και αποστάσεων.
- ❖ Στήσιμο του θεοδόλιχου σε τρίποδο με προσεγγιστική τοποθέτηση στο σημείο και προσανατολισμό.
- ❖ Τοποθέτηση των ποδιών του τρίποδου στο έδαφος χρησιμοποιώντας τις αγκύλες στις πλευρές του καθενός ποδιού.
- ❖ Τοποθέτηση του θεοδόλιχου, προσαρμόζοντάς τον πάνω στο τρίποδο και βιδώνοντάς τον στη θέση του με το πόμολο στήριξης.
- ❖ Μέτρηση του ύψους μεταξύ του εδάφους και του οργάνου. Αυτό θα χρησιμοποιηθεί σε αναφορά με άλλους σταθμούς.
- ❖ Ισοστάθμιση του θεοδόλιχου ρυθμίζοντας τα πόδια του τριπόδου και χρησιμοποιώντας το επίπεδο των ματιών και διεξαγωγή απαραίτητων ρυθμίσεων, ώστε το όργανο να παραμείνει σταθερό.
- ❖ Στόχευση των διασταυρώσεων στο κύριο πεδίο του σημείου που πρέπει να μετρηθεί. Χρήση των κουμπιών ασφάλισης στο πλάι του θεοδόλιχου για να κρατήσει το σηματοδεδυμένο σημείο.
- ❖ Καταγραφή της οριζόντιας και κάθετης γωνίας, χρησιμοποιώντας το εύρος προβολής που βρέθηκε από την πλευρά του θεοδόλιχου (Avram *et al.* 2016).

Πλεονεκτήματα έναντι άλλων οργάνων χωρομέτρησης:

- ❖ Μεγαλύτερη ακρίβεια.
- ❖ Εσωτερικό μεγεθυντικό οπτικό σύστημα.
- ❖ Ηλεκτρονικές αναγνώσεις.
- ❖ Οι οριζόντιοι κύκλοι μπορούν άμεσα να μηδενιστούν ή να οριστούν σε οποιαδήποτε άλλη τιμή.
- ❖ Μπορούν να ληφθούν ενδείξεις οριζόντιου κύκλου είτε στα αριστερά είτε στα δεξιά του μηδέν.
- ❖ Οι επαναλαμβανόμενες αναγνώσεις δεν είναι απαραίτητες (Avram *et al.* 2016).

Ο **χωροβάτης** αποτελεί ένα βασικό όργανο της γεωμετρικής χωροστάθμησης ακριβείας (Μπαλοδήμος *et al.*). Βασική λειτουργία του χωροβάτη είναι να υλοποιεί μια ευθεία, συγκεκριμένα την ευθεία, η οποία είναι κάθετη προς τον κατακόρυφο άξονα του σημείου στάσης. Δηλαδή πρόκειται για ένα υψομετρικό όργανο (Βλάχος 2012). Ο χωροβάτης στρέφεται γύρω από τον κατακόρυφο άξονα, κάνει δηλαδή κυκλική στροφή προς τα δεξιά και αριστερά. Κατά την στροφή του γύρω από τον κατακόρυφο άξονα, η σκοπευτική του γραμμή διαγράφει ένα οριζόντιο επίπεδο. Ο κατακόρυφος άξονας ονομάζεται και πρωτεύοντα άξονας (ΠΠ'). Στον χωροβάτη ο οριζόντιος άξονας ονομάζεται σκοπευτικός άξονας (ΣΣ') και είναι μια νοητή ευθεία, η οποία διέρχεται οριζόντια μέσα από το τηλεσκόπιο. Με τη βοήθεια του τηλεσκοπίου ορίζεται αυτός ο σκοπευτικός άξονας και μπορεί να οριζοντιωθεί με ακρίβεια. Η υλοποίηση του σκοπευτικού άξονα γίνεται από το κέντρο του σταυρονήματος, το οποίο είναι χαραγμένο στο τηλεσκόπιο του χωροβάτη και μέσω του οπτικού κέντρου του αντικειμενικού φακού του τηλεσκοπίου. Για να λειτουργήσει ο χωροβάτης χρειάζονται να εξασφαλιστούν δύο βασικές συνθήκες.

- Ο σκοπευτικός άξονας (ΠΠ') πρέπει να είναι παράλληλος με την κανονική ευθεία (ΚΚ') της αεροστάθμης.
- Η κανονική ευθεία (ΚΚ') της αεροστάθμης πρέπει να είναι κάθετη στον πρωτεύοντα άξονα.

Για να επιτευχθούν τα παραπάνω είναι αναγκαία η οριζοντίωση του οργάνου. Η οριζοντίωση του σκοπευτικού άξονα γίνεται με σωληνωτή αεροστάθμη. Όταν επιτευχθεί η οριζοντίωση, τότε ο σκοπευτικός άξονας είναι παράλληλος στο οριζόντιο επίπεδο που ορίζει ο μηχανισμός οριζοντίωσης. Η ανάγνωση της μέτρησης που έχει ληφθεί με οπτικομηχανικό χωροβάτη γίνεται απευθείας από τον παρατηρητή, πάνω στον αριθμημένο χωροσταθμικό πήχη (σταδία) (Κολοβού 2016).

Υπάρχει μια ποικιλία στα σχέδια και στη διαμόρφωση χωροβατών, ανάλογα την μηχανολογική τους χρήση, τον κατασκευαστή και τις απαιτήσεις από τους μελετητές-αγοραστές (Stanley 1890). Πέρα όμως από τις διαφοροποιήσεις που υπάρχουν στις λεπτομέρειες, ο χωροβάτης διατηρεί ένα βασικό μορφολογικό σχήμα. Εν τέλει, ο χωροβάτης αποτελείται από δύο βασικά μέρη, από το τηλεσκόπιο και το τρικόχλιο. Η σύνδεση του τηλεσκοπίου με το τρικόχλιο δημιουργούν ένα ενιαίο σώμα, παρόλο αυτά το τηλεσκόπιο μπορεί ανεξάρτητα να περιστρέφεται μόνο γύρω από τον κατακόρυφο άξονα ή πρωτεύοντα άξονα (Κολοβού 2016).

Από την κατασκευή του κάθε χωροβάτη πρέπει να πληροί ορισμένες προϋποθέσεις, ώστε να είναι άρτιος και λειτουργικός. Αυτές οι προϋποθέσεις είναι:

- Το μέταλλο κατασκευής του χωροβάτη να έχει κατανεμηθεί αναλόγως, ώστε να είναι ελαφρύ όργανο, αλλά να έχει μια στιβαρότητα, ώστε να αντέξει από φθορές ατυχήματος και από τις δονήσεις.
- Όλη η δομή του οργάνου πρέπει να ισορροπεί περίπου στη περιοχή του κάθετου άξονα, όταν εκτείνεται το τηλεσκόπιο στο μέσο εύρος του.
- Θα πρέπει να υπάρχει επαρκής φωτισμός για το τηλεσκόπιο και να στηρίζεται σε ένα σταθερό και ανθεκτικό στήριγμα.

Οι συγκεκριμένες προϋποθέσεις εξασφαλίζουν τη σταθερότητα και την ισορροπία του χωροβάτη, καθώς και την σωστή δομή για την ορθή λήψη μετρήσεων.

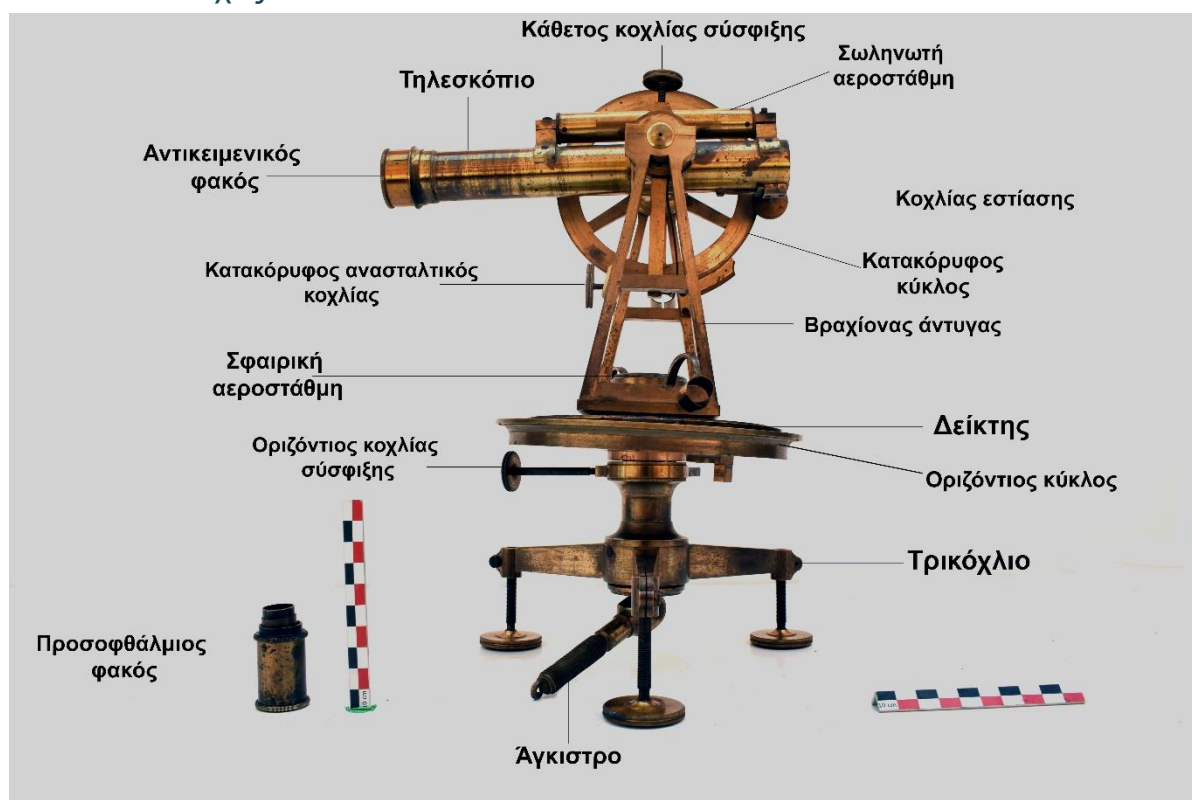
Η **Διόπτρα μετροτράπεζας**, συγκριτικά με τα υπόλοιπα αντικείμενα, παρουσιάζει μια βασική διαφοροποίηση. Ουσιαστικά, εκτός από όργανο μέτρησης, είναι και όργανο σχεδίασης. Το τηλεσκόπιο χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό κλίσεων και διευθύνσεων, οι οποίες άμεσα με την χρήση του χάρακα που βρίσκεται στη βάση του οργάνου σχεδιάζονται. Το όργανο αυτό εξυπηρετεί ιδιαίτερα όταν πραγματοποιείται η χαρτογράφηση ενός χώρου (Wainwright 1915). Η διόπτρα είναι και αυτή λοιπόν ένα γωνιομετρικό όργανο που φέρει κανόνα, μέσω του οποίου προσδιορίζονται γραφικώς οι γωνίες. Οι γωνίες και οι κλίσεις που μετρούνται στο πεδίο σχεδιάζονται άμεσα στο τραπέζι σχεδίασης [(Μαυροκορδάτου 1888), (Δρίβα 1963)]. Το τραπέζι σχεδίασης πρόκειται για μια **μετροτράπεζα** με πινακίδα σχεδίασης, τοποθετημένη πάνω σε υποστάτη (Στεργιάδη 1984). Χρησιμοποιείται στο πεδίο για τη συμπλήρωση κυρίως τοπογραφικών διαγραμμάτων μικρών κλιμάκων από 1:10000 έως 1:250000. Χάριν στη μετροτράπεζα οι γωνίες ή οι διευθύνσεις μπορούν να σχεδιαστούν αμέσως στην ύπαιθρο. Η μετροτράπεζα στηρίζεται σε τρίποδα και πάνω σε αυτή τοποθετείται η διόπτρα. Για αυτό το λόγο το όργανο έχει ως βάση ένα επίπεδο, τον χάρακα, γιατί από την κατασκευή του δεν είναι όργανο που τοποθετείται μόνο του σε τρίποδα, αλλά λειτουργεί ως όργανο σχεδίασης (Μπαλοδήμος *et al.* χ.η.).

## 4. Περιγραφή των τοπογραφικών οργάνων και ανάλυση τεχνολογίας κατασκευής

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν αναλυτικά τα διάφορα μέρη των τεσσάρων επιστημονικών οργάνων. Επιπλέον, παρατίθενται πληροφορίες για τα υλικά και τις τεχνικές κατασκευής τους, τα οποία ταυτοποιήθηκαν μέσω Ακτινογράφησης με Ακτίνες-Χ και Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης με Φασματοφωτόμετρο Ενεργειακής Διασποράς Ακτίνων-Χ (SEM-EDAX).

### 4.1. Περιγραφή των οργάνων

#### 4.1.1. Θεοδόλιχος

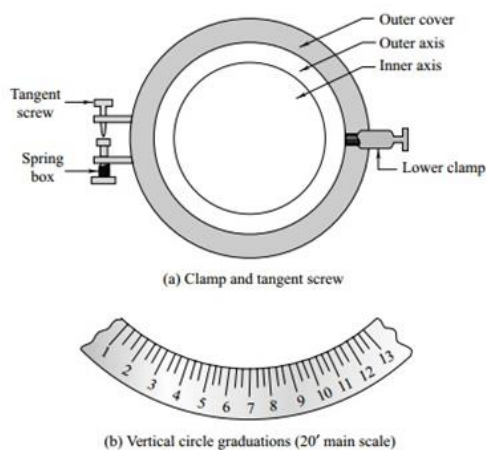


Εικόνα 22 Τα επιμέρους μέρη του "κίτρινου θεοδόλιχου", ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

Ο θεοδόλιχος χωρίζεται σε δύο βασικά μέρη, το πάνω μέρος και το κάτω μέρος. Ο διαχωρισμός τους γίνεται στο σημείο όπου τα στηρίγματα προσαρμόζονται επάνω στο δείκτη του οριζόντιου κύκλου. Το κάτω μέρος είναι σταθερό και στηρίζεται σε βάση, ενώ το άνω μέρος είναι κινητό, δηλαδή περιστρέφεται περί τον άξονα του [(Βλάχος 2012), (Παναγιωτόπουλος και Καριώτης 2001)]. Ξεκινώντας την περιγραφή από το κάτω μέρος του θεοδόλιχου, το κάτω τμήμα αρχίζει από τη βάση του οπτικού οργάνου και τον οριζόντιο κύκλο και καταλήγει στο τρικόχλιο (Παναγιωτόπουλος και Καριώτης 2001).

**Κάτω μέρος θεοδόλιχου:**

Αναλυτικότερα, στο ανώτερο σημείο του κάτω μέρους του θεοδόλιχου τοποθετείται ο **οριζόντιος κύκλος**, ο οποίος είναι κατασκευασμένος κυρίως από ορείχαλκο. Βασική λειτουργία του οριζόντιου κύκλου μέτρησης είναι να παραμένει σταθερός κατά την κίνηση του πρωτεύοντα άξονα: ο πρωτεύων άξονας αφορά την περιστροφή του άνω μέρους του οργάνου [(Δρίβα 1963), (Παναγιωτόπουλος και Καριώτης 2001), (Λυρώνης 2011)]. Επειδή ο κύκλος διατηρείται σε ένα οριζόντιο επίπεδο αποκτά και την ονομασία οριζόντιος κύκλος. Ο κύκλος έχει πλήρες κυκλικό σχήμα και το άνω εσωτερικό μέρος του διατηρείται κενό, καθώς σε αυτό τοποθετείται ο δείκτης του οργάνου. Στο συγκεκριμένο θεοδόλιχο, ο κύκλος μπορεί να κινηθεί ανεξάρτητα από το τρικόχλιο, ενώ σε άλλα όργανα παραμένει σταθερό (Δρίβα 1963). Επιπλέον, μεταξύ οριζόντιου κύκλου και δείκτη, στο συγκεκριμένο όργανο υπάρχει ένα μαύρο συνθετικό υλικό που εξυπηρετεί ως μαλακή υποστήριξη του άντυγα, όταν εφαρμόζεται επάνω στο κύκλο. Στο άνω εξωτερικό μέρος, στις άκρες του κύκλου που είναι σαν το στεφάνι του, μπορεί να έχει επικλινή επιφάνεια ή και κάθετη. Αυτό το μέρος συνηθίζεται να καλύπτεται με άργυρο, ο οποίος σφυρηλατείται πάνω στην επιφάνεια και συνήθως σε αυτό το σημείο αναγράφονται οι διαιρέσεις του κύκλου [(Δρίβα 1963), (Stanley 1890)]. Ο οριζόντιος κύκλος συνδέεται με το υπόλοιπο κάτω σώμα του θεοδόλιχου μέσω μεταλλικών συνδέσμων (σιδερένιες βίδες) που τοποθετούνται κυκλικά γύρω από το κέντρο του κύκλου. Ο κύκλος, σε κάθετη τομή μπορεί να έχει ένα ορθογώνιο σχήμα, αλλά μπορεί να έχει και σχήμα τραπέζιου. Το εσωτερικό μέρος του κύκλου είναι κενό και δημιουργείται χώρος, ώστε να τοποθετηθεί ο σφιγκτήρας των βιδών που τον ενώνουν με το υπόλοιπο όργανο (Stanley 1890).



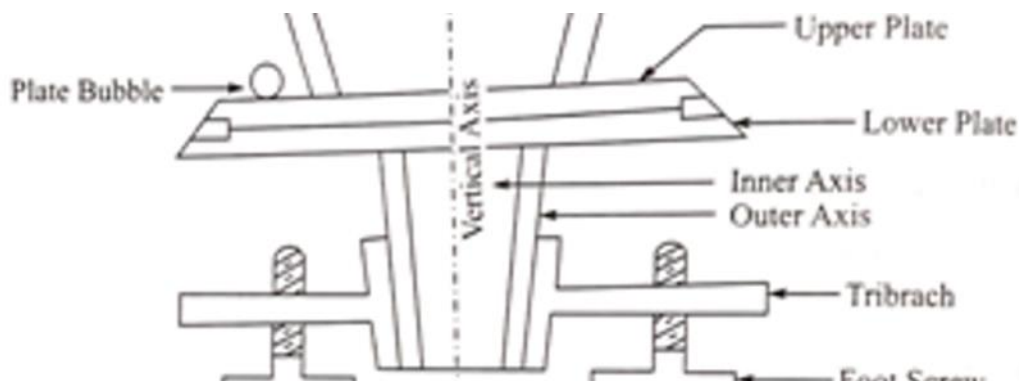
Εικόνα 23 Σχεδιαστική αποτύπωση μερών στο εσωτερικό του κύκλου.



Εικόνα 24 Ο οριζόντιος κύκλος του Θεοδόλιχου. ,©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

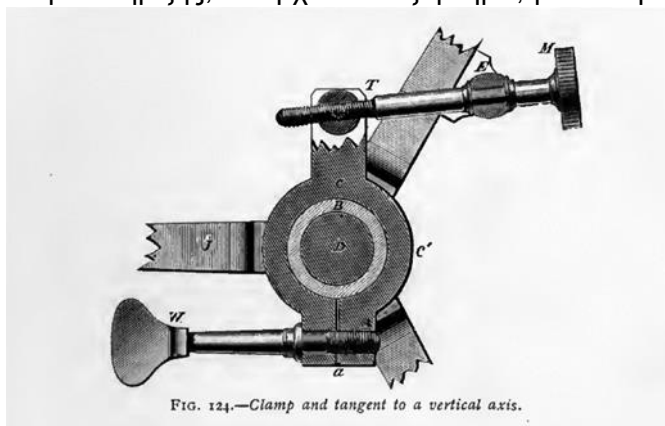
Στο κάτω μέρος του θεοδόλιχου, μεταξύ του οριζόντιου κύκλου και του τρικόχλιου, υπάρχει το **σώμα στήριξης**, το οποίο στο συγκεκριμένο θεοδόλιχο είναι χονδροειδούς κυλινδρικού σχήματος. Το σώμα στήριξης είναι ένα πιο σύνθετο κομμάτι του θεοδόλιχου από ότι φαίνεται. Αποτελείται από δύο μέρη, τους λεγόμενους **εσωτερικό** και **εξωτερικό άξονα**, οι οποίοι βρίσκονται αντίστοιχα στο σώμα στήριξης. Ονομάζονται άξονες, επειδή τοποθετούνται έχοντας την ίδια κατεύθυνση με τον πρωτεύοντα άξονα και προσαρμόζονται σύμφωνα με αυτόν. Αυτοί

οι άξονες έχουν κωνικό σχήμα και η κλίση τους οξύνεται και κατευθύνεται από το οριζόντιο κύκλο προς το εσωτερικό του τριχοχλίου. Το σχήμα τους δεν είναι πλήρως κωνικό, καθώς κόβεται η μύτη και σχηματίζεται στο τέλος μια επίπεδη επιφάνεια, αποκτώντας σχήμα κόλουρου κώνου. Οι δύο άξονες ενώνονται στο κάτω μέρος του κώνου, ενώ ο εσωτερικός άξονας διεισδύει περισσότερο μέσα σε μία εσοχή στο τρικόχλιο. Στο άνω μέρος, ο δείκτης εφαρμόζει και συνδέεται με του άξονες μέσω των κεντρικών μεταλλικών συνδέσμων. Στο άνω μέρος των αξόνων, κάτω από τον οριζόντιο κύκλο, τοποθετείται ένα τετράγωνο στήριγμα, το οποίο έχει πολύ συγκεκριμένο βάρος. Το βάρος, είναι ιδιαίτερα καθορισμένο, ώστε να συγκρατεί το όργανο, χωρίς όμως να αποτρέπει την προσαρμογή των αξόνων και την κίνησή τους. Μία τετράγωνη σπή και μια βίδα τοποθετούνται στο κάτω μέρος των αξόνων, ώστε να εφάπτεται με το τρικόχλιο. Αυτή η επαφή εξασφαλίζει την στερέωση του οργάνου, όταν μπορεί να σηκωθεί. Στους θεοδόλιχους συνηθίζεται οι άξονες στο σώμα στήριξης να είναι το πιο αδύναμο σημείο του οργάνου, ώστε σε περίπτωση ατυχήματος να επηρεαστεί μόνο το σώμα στήριξης και κανένα άλλο μέρος του θεοδόλιχου που βρίσκεται στην ίδια ευθεία με το κάθετο άξονα. Επιπλέον, οι άξονες αποτελούν ένα εύκολα αντικαταστάσιμο εξάρτημα, καθώς είναι ανεξάρτητοι από τα υπόλοιπα μέρη του οργάνου (Stanley 1890).



Εικόνα 25 Σχεδιαστική τομή του σώμα στήριξης, Διακρίνονται ο εσωτερικός και εξωτερικός άξονας όπου αποτελούν το εσωτερικό του σώμα στήριξης. © (CIVIL ENGG. TIPS, 2020, <https://civiltips98.blogspot.com/2020/03/verious-part-of-transit-theodolite.html>).

Ανάμεσα στον οριζόντιο κύκλο και στο σώμα στήριξης, υπάρχει ένα εξάρτημα, βασικό για την κίνηση και την σταθεροποίηση του θεοδόλιχου. Οι κοχλίες σύσφιξης μαζί με τους ανασταλτικούς κοχλίες κίνησης συνυπάρχουν στο ίδιο εξάρτημα, το οποίο αποκαλείται **συσφιγκτήρας ή σφιγκτήρας**. Στον θεοδόλιχο, έχει διαπιστωθεί η παρουσία κατακόρυφου και οριζόντιου σφιγκτήρα, οι οποίοι τοποθετούνται αντίστοιχα στον κατακόρυφο και οριζόντιο κύκλο. Συγκεκριμένα, στο κάτω μέρος του θεοδόλιχου και κάτω από τον οριζόντιο κύκλο βρίσκεται ο **οριζόντιος σφιγκτήρας**. Στον οριζόντιο σφιγκτήρα, ο σφιγκτήρας έχει κυκλική



Σχέδιο 1 Σχεδιαστική απεικόνιση οριζόντιου σφιγκτήρα παράλληλα στο κατακόρυφο άξονα, με τους δύο κοχλίες. © (Stanley 1890 p.193).



διατομή και περιβάλλει τον κάθετο άξονα, δηλαδή την αρχή του σώματος στήριξης. Ο **κοχλίας σύσφιξης άξονα**, στο Θεοδόλιχο, τοποθετείται κάθετος προς το κυκλικό σώμα του συσφιγκτήρα, χωρίς να βρίσκεται σε κάποιο άκρο προέκτασης ή πέδης. Σε πιο παλαιούς θεοδόλιχους, η κεφαλή έχει πιο πλατύ σχήμα, διευκολύνοντας τον χρήστη να χειριστεί τον κοχλία (εικ. 13). Η κεφαλή του κοχλία περίσφιξης δεν είναι απαραίτητα πλατιά, μπορεί έχει και άλλο σχήμα, αναλόγως του τύπου του εξαρτήματος (βλ. *Γαλλικό τύπο*), καθώς σταδιακά διαμορφώθηκε η κεφαλή κυκλική, για να έχει πιο εύχρηστη περιστροφή. Η προσαρμογή του κοχλία σύσφιξης στο εξάρτημα γίνεται μέσω ενός παρεμβύσματος, το οποίο συγκρατεί τον κοχλία, επιτρέποντας όμως την περιστροφή του (Stanley 1890). Όταν εκτελείται μια σκόπευση, κατευθύνεται το τηλεσκόπιο προς το αντικείμενο σκόπευσης μέσω της μετακίνησης του οριζόντιου κύκλου. Αφού πραγματοποιηθεί η χονδρική σκόπευση, συσφίγγεται ο κοχλίας σύσφιξης για να σταματήσει η κίνηση και η περεταίρω περιστροφή του οργάνου (Δρίβα 1963). Στον οριζόντιο σφιγκτήρα τοποθετείται και ο **ανασταλτικός ή μικρομετρικός κοχλίας**, όπου στο συγκεκριμένο θεοδόλιχο, η κεφαλή του τοποθετείται με την ίδια κατεύθυνση όπως του κοχλία σύσφιξης. Ο ανασταλτικός κοχλίας τοποθετείται στο άκρο μιας ορειχάλκινης προεξοχής κάθετη προς τον συσφιγκτήρα (Stanley 1890). Ο ανασταλτικός κοχλίας προορίζεται για μικρές μετατοπίσεις του δείκτη ή των άλλων περιστρεφόμενων τμημάτων (π.χ. οριζόντιος κύκλος) (Δρίβα 1963). Μέσω του ανασταλτικού κοχλία γίνεται επιτρεπτή η περιστροφή του οργάνου, ακόμα και όταν έχει ακινητοποιηθεί από τον κοχλία σύσφιξης (Στεργιάδη 1984). Βασική λειτουργία του συνδυασμού αυτών των δύο κοχλίων, είναι η συγκράτηση του οργάνου και η σταθεροποίηση των τμημάτων του. Συγκεκριμένα, οι κύκλοι, όπως έχουν τοποθετηθεί, έχουν ελευθερία κίνησης περί τον άξονα τους. Όμως, ο σφιγκτήρας εξασφαλίζει την σταθεροποίηση των κύκλων, ώστε η κίνηση τους να είναι ελεγχόμενη. Η ύπαρξη αυτού του εξαρτήματος εξασφαλίζει την υποστήριξη της οριζόντιας περιοχής του επιστημονικού οργάνου και κατασκευάζεται ανεξάρτητα από τον κύκλο και τον βερνιέρο. Γενικά, μέσω αυτού του εξαρτήματος περισφίγγεται ο πρωτεύοντας άξονας του θεοδόλιχου<sup>2</sup>. Ενώ, ο κοχλίας σύσφιξης κυρίως σφίγγει τον σφιγκτήρα, οι ανασταλτικοί κοχλίες επιτρέπουν ή αναστέλλουν την κίνηση. Γενικά, οι κοχλίες παρέχουν την δυνατότητα κατεύθυνσης του οπτικού άξονα με ακρίβεια προς τον επιλεγμένο στόχο (Λυρώνης 2011). Δηλαδή, με τη χρήση των κοχλίων κινείται το όργανο και το τηλεσκόπιο και προσαρμόζεται ανάλογα για να στοχεύσει τον επιθυμητό στόχο. Μια επιπλέον ιδιότητα του οριζόντιου σφιγκτήρα, είναι η διαδικασία σύσφιξης όλου του σώματος στήριξης. Όταν σφίγγεται ο κοχλίας σύσφιξης, τότε όλη η κωνική διατομή του εσωτερικού και εξωτερικού άξονα στο σώμα στήριξης σταθεροποιείται σαν ενιαίο σύστημα. Όταν έχουν σταθεροποιηθεί οι άξονες, μπορεί να τους δοθεί μόνο λίγη ελαφριά κίνηση από τον ανασταλτικό κοχλία. Κατά αυτόν τον τρόπο, ο σφιγκτήρας μαζί με τους κοχλίες προσφέρει την σταθερότητα σε όλο το άνω μέρος του θεοδόλιχου και γενικά ο θεοδόλιχος έχει την ελευθερία κίνησης, μόνο όταν χαλαρώσει ο σφιγκτήρας (Stanley 1890).

---

<sup>2</sup> Ο οριζόντιος κύκλος εξασφαλίζει την περιστροφή του θεοδόλιχου προς τον κάθετο άξονα. Όποτε, εφόσον ο σφιγκτήρας σφίγγει τον κάθετο άξονα, παρέχει και σταθερότητα στον οριζόντιο κύκλο (Δρίβα 1963; Στεργιάδη 1984).

Στον οριζόντιο σφιγκτήρα παρατηρείται η ύπαρξη ενός μεταλλικού ελάσματος, το οποίο περικλείει μια πλευρά του σφιγκτήρα. Αυτό παραπέμπει τυπολογικά τον οριζόντιο σφιγκτήρα στη **Γερμανική τροποποίηση**. Πρόκειται για μια μικρή τροποποίηση στον οριζόντιο σφιγκτήρα και η χρήση της παρατηρείται έντονα στη Γερμανία στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα. Οι τροποποιήσεις πραγματοποιήθηκαν, καθώς ο σφιγκτήρας και οι κοχλίες μετά από επανειλημμένη χρήση, άρχιζαν να φθείρονται και μειωνόταν η ελαστικότητα του μετάλλου. Η εκδήλωση μείωσης ελαστικότητας του μετάλλου υποδηλώνει πως το μέταλλο δεν έχει σφυρηλατηθεί κατάλληλα, ώστε να αυξηθεί η μηχανική του αντοχή. Οι τροποποιήσεις που πραγματοποιούνται στο γερμανικό τύπο είναι συγκεκριμένες. Πρώτον, ο κοχλίας σύσφιξης έρχεται κατακόρυφα και εισέρχεται στο εσωτερικό του σφιγκτήρα, εφαρμόζοντας πάνω στους εσωτερικούς δακτυλίους του σφιγκτήρα και έτσι συνδέεται με τα εξαρτήματα του κάθετου άξονα. Εφόσον, ο κοχλίας σύσφιξης σφίγγει τους εσωτερικούς δακτυλίους, το εξωτερικό μέρος του σφιγκτήρα έχει πλέον πιο χαλαρή σύνδεση. Το δεύτερο βασικό εξάρτημα της γερμανικής έκδοσης είναι ένα μεταλλικό έλασμα με κυρτή διαμόρφωση που περιτρέχει την μία πλευρά του σφιγκτήρα. Στο ένα άκρο του βιδώνεται μέσω δύο βιδών στο σφιγκτήρα και λειτουργεί ως υπομόχλιο. Το υπόλοιπο μέρος του ελάσματος αφήνεται ελεύθερο και καταλήγει στο πίσω μέρος του ανασταλτικού κοχλίου κίνησης. Σε αυτό τον τύπο, ο ανασταλτικός κοχλίας δεν χρειάζεται ιδιαίτερες προσαρμογές για να σφίξει τον σφιγκτήρα, κατά αυτόν τον τρόπο ο κοχλίας δεν περιστρέφεται συχνά, οπότε και φθείρεται πιο δύσκολα. Το έλασμα, συνηθίζεται να είναι κατασκευασμένο από σκληρό γερμανικό άργυρο (Stanley 1890). Στο θεοδόλιχο όμως, το μέταλλο του ελάσματος είναι από σίδηρο, επικαλυπτόμενο με μαύρο χρώμα.

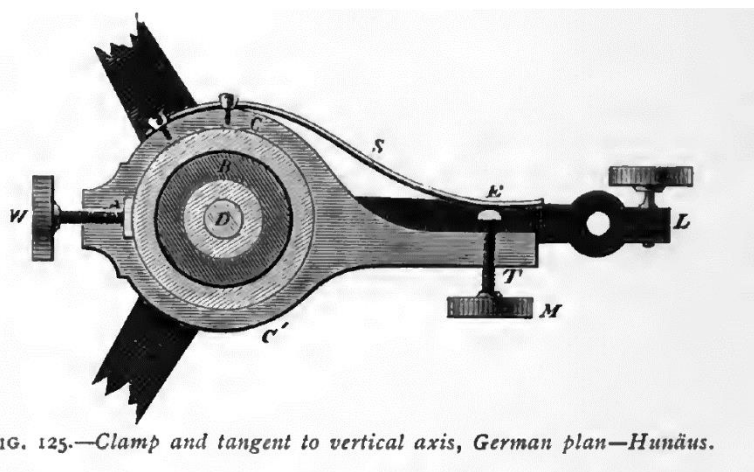


FIG. 125.—Clamp and tangent to vertical axis, German plan—Hunäus.

Σχέδιο 2 Η Γερμανική τροποποίηση του οριζόντιου σφιγκτήρα. © (Stanley 1890 p. 194).

του μετάλλου υποδηλώνει πως το μέταλλο δεν έχει σφυρηλατηθεί κατάλληλα, ώστε να αυξηθεί η μηχανική του αντοχή. Οι τροποποιήσεις που πραγματοποιούνται στο γερμανικό τύπο είναι συγκεκριμένες. Πρώτον, ο κοχλίας σύσφιξης έρχεται κατακόρυφα και εισέρχεται στο εσωτερικό του σφιγκτήρα, εφαρμόζοντας πάνω στους εσωτερικούς δακτυλίους του σφιγκτήρα και έτσι συνδέεται με τα εξαρτήματα του κάθετου άξονα. Εφόσον, ο κοχλίας σύσφιξης σφίγγει τους εσωτερικούς δακτυλίους, το εξωτερικό μέρος του σφιγκτήρα έχει πλέον πιο χαλαρή σύνδεση. Το δεύτερο βασικό εξάρτημα της γερμανικής έκδοσης είναι ένα μεταλλικό έλασμα με κυρτή διαμόρφωση που περιτρέχει την μία πλευρά του σφιγκτήρα. Στο ένα άκρο του βιδώνεται μέσω δύο βιδών στο σφιγκτήρα και λειτουργεί ως υπομόχλιο. Το υπόλοιπο μέρος του ελάσματος αφήνεται ελεύθερο και καταλήγει στο πίσω μέρος του ανασταλτικού κοχλίου κίνησης. Σε αυτό τον τύπο, ο ανασταλτικός κοχλίας δεν χρειάζεται ιδιαίτερες προσαρμογές για να σφίξει τον σφιγκτήρα, κατά αυτόν τον τρόπο ο κοχλίας δεν περιστρέφεται συχνά, οπότε και φθείρεται πιο δύσκολα. Το έλασμα, συνηθίζεται να είναι κατασκευασμένο από σκληρό γερμανικό άργυρο (Stanley 1890). Στο θεοδόλιχο όμως, το μέταλλο του ελάσματος είναι από σίδηρο, επικαλυπτόμενο με μαύρο χρώμα.



Εικόνα 26 Η ύπαρξη σιδερένιου ελάσματος πίσω από τον ανασταλτικό κοχλία. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης)

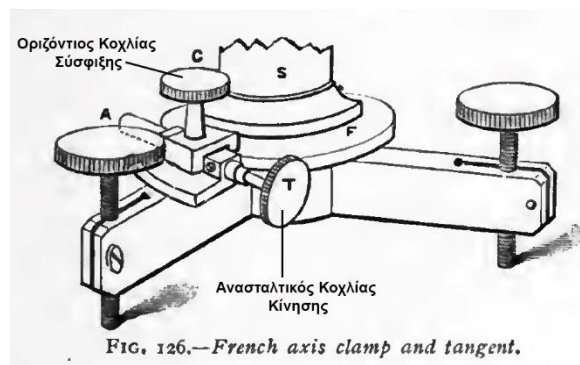


Εικόνα 27 Η Γερμανική τροποποίηση στο Θεοδόλιχο. Ο κοχλίας σύσφιξης κάθετος στον συσφιγκτήρα και το μεταλλικό έλασμα πίσω από τον ανασταλτικό κοχλία. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης)

Υπάρχει και η **Γαλλική έκδοση** αυτού του εξαρτήματος. Σύμφωνα με αυτή, ένα παρέμβυσμα προεξέχει στο κάτω μέρος του θεοδόλιχου, λίγο πιο πάνω από το τρικόχλιο. Μέσα στο παρέμβυσμα τοποθετείται οριζόντια κοχλίας με στρογγυλή κεφαλή. Πρόκειται για τον ανασταλτικό κοχλία και η όλη τοποθέτηση του εξαρτήματος είναι κατά μήκος του άξονα. Κάθετα σε αυτόν και από πάνω, βρίσκεται ο κοχλίας σύσφιξης άξονα. Αυτός ο τύπος κατασκευής του σφιγκτήρα, αποτελεί την βέλτιστη επιλογή για μεγάλα όργανα. Ιδιαίτερα, όταν τα μεγέθη είναι μεγάλα, το παρέμβυσμα μπορεί να κατασκευαστεί και αυτό μεγαλύτερο, καθιστώντας το πιο εύχρηστο<sup>3</sup>. Στον θεοδόλιχο, δεν υιοθετείται ακριβώς αυτή η διάταξη του συσφιγκτήρα, είναι όμως κοινή με τον Γαλλικό τύπο η θέση και η φορά του ανασταλτικού κοχλία.

Συνοπτικά, ο γαλλικός τύπος του σφιγκτήρα, ομοιάζει μορφολογικά με τους σφιγκτήρες του θεοδόλιχου και έχει κοινή μορφολογία στο τρικόχλιο. Παρόλα αυτά, η τοποθέτηση και η διάταξη του οριζόντιου ανασταλτικού κοχλία και του κοχλία σύσφιξης, ομοιάζουν με την γερμανική τροποποίηση. Σύμφωνα με αυτήν, γίνεται αντιληπτή η θέση των κοχλιών και είναι δυνατό ο προσδιορισμός του κάθε κοχλία.

Ο κοχλίας σύσφιξης άξονα και ο ανασταλτικός κοχλίας τοποθετούνται και στους Χωροβάτες και στις δίοπτρες και εξυπηρετούν την ίδια διαδικασία (Λυρώνης 2011).



Σχέδιο 3 Σχεδιαστική απεικόνιση οριζόντιου σφιγκτήρα και κοχλιών σύμφωνα με το Γαλλικό τύπο. © (Stanley 1890 p.195).

Γενικά, το κάτω μέρος του θεοδόλιχου είναι σταθερό και στηρίζεται σε βάση, όπου και αυτή με τη σειρά της στηρίζεται στο τρικόχλιο. Το **τρικόχλιο** είναι η βάση που καταλήγει σε τρία κοχλιωτά πόδια [(Βλάχος 2012), (Στεργιάδη 1984)]. Πρόκειται για ένα εξάρτημα όπου επιτυγχάνει τη σύνδεση του θεοδόλιχου με το τρίποδο, αυτή η σύνδεση γίνεται με τη βοήθεια τριών κοχλιών, οι οποίοι επιπλέον οριζοντιώνουν το όργανο (Παναγιωτόπουλος και Καριώτης 2001; Λυρώνης 2011). Οι συγκεκριμένοι κοχλίες ονομάζονται **ρυθμιστικοί κοχλίες** και μέσω αυτών κατακορυφώνεται ο πρωτεύοντας άξονας που καταλήγει και στην οριζοντίωση του οριζόντιου κύκλου. Για αυτό το λόγο η διαδικασία αυτή ονομάζεται και οριζοντίωση του «θεοδόλιχου» (Βλάχος 2012; Δρίβα 1963). Επιπλέον, το τρικόχλιο υποστηρίζει το ανώτερο μέρος του θεοδόλιχου και εξασφαλίζει την ένωση του με αυτό, ακριβώς στο σημείο διέλευσης του κάθετου άξονα. Από το βασικό σώμα του εξαρτήματος προεξέχουν κατά μήκος τρεις βραχιόνες, όπου στο τέλος τους φέρουν ο καθένας ένα βιδωτό κοχλία με στρογγυλό πόδι, τους ρυθμιστικούς κοχλίες. Τα άκρα των βραχιόνων του τρικόχλιου είναι διχοτομημένα και υπάρχουν εσοχές προιονισμένες, μέσα στις οποίες διαπερνά ο κοχλίας. Η κίνησή του καθορίζεται από μία εξωτε-



Εικόνα 28 Το τρικόχλιο στο κίτρινο θεοδόλιχο, με εμφανή τους τρεις κοχλίες ως πόδια. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης)

ρική σιδερένια με κεφαλή βίδα, όπου ανάλογως την πίεση σύσφιξης της εξωτερικής βίδας καθορίζεται και η ελευθερία κίνησης των ρυθμιστικών κοχλιών. Αυτές οι εσοχές εξασφαλίζουν την περιστροφή των κοχλιών με ευκολία. Τα κατώτερα μέρη των κοχλιών που είναι στρογγυλά αποκαλούνται και πόδια του τρικόχλιου (Δρίβα 1963; Stanley 1890). Οι κοχλίες του τρικόχλιου πατάνε σε μεταλλική πλάκα, η οποία έχει στο κέντρο της οπή, όπου βιδώνεται ο κοχλίας που συνδέει το όργανο με τον τρίποδα και το στερεώνει πάνω σε αυτόν.

Το τελευταίο μέρος που συνθέτει το κάτω μέρος του θεοδόλιχου είναι το **άγκιστρο**. Πρόκειται για μια κυλινδρική σπειροειδής απόληξη κάτω από το σώμα του τρικόχλιου που στο κάτω άκρο του φέρει ένα άγκιστρο. Από αυτό κρέμεται το νήμα της στάθμης ή λιναίη και έτσι ελέγχεται η ισορροπία του οργάνου, καθώς και η κέντρωσή του. Το άγκιστρο σε κάποια όργανα ήταν σταθερό και κάθετο, με επίπτωση να μετατοπίζεται συχνά το τρικόχλιο για την καθετότητα του θεοδόλιχου. Όμως στο συγκεκριμένο όργανο, το άγκιστρο μετακινείται και γύρω από τον εαυτό του και κατά μήκος. Η ελευθερία κίνησής του διευκολύνει τη ρύθμιση της βάσης, ώστε να κινούνται λιγότερα εξαρτήματα και να υπολογίζεται η κέντρωση του



Εικόνα 29 Το άγκιστρο κάτω από το τρικόχλιο. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης)

θεοδόλιχου με περισσότερη ευκολία (Βλάχος 2012).

Ο θεοδόλιχος δεν τοποθετείται στο πεδίο μόνος του, αλλά στηρίζεται σε έναν τρίποδα. Ο **τρίποδας** είναι σχεδιασμένος με τέτοια μορφή, ώστε να επιτρέπει στον κάθε παρατηρητή να φέρει το όργανο σε κατάλληλο ύψος με ταχύτητα, αυξομειώνοντας το μήκος των ποδιών, ώστε να χειρίζεται το όργανο με ευχέρεια. Ο θεοδόλιχος τοποθετείται πάνω από κάποιο συγκεκριμένο σημείο, εκ του οποίου γίνονται οι παρατηρήσεις γωνιών καθώς και λοιπές τοπογραφικές εργασίες (Παναγιωτόπουλος και Καριώτης 2001; Λυρώνης 2011).

### **Άνω μέρος θεοδόλιχου:**

Συνεχίζοντας την περιγραφή του αντικειμένου, καταλήγουμε στο πάνω μέρος του θεοδόλιχου. Το πάνω μέρος του θεοδόλιχου είναι κινητό και σε αυτό βρίσκεται το **τηλεσκόπιο**. Το άνω κινητό μέρος περιστρέφεται γύρω από τον κατακόρυφο άξονα που λέγεται άξων περιστροφής ή πρωτεύων άξων. Το όργανο φέρει και οριζόντιο άξονα που λέγεται άξων αντιστροφής ή δευτερεύων άξων, στον οποίο είναι στερεωμένο το τηλεσκόπιο και ο κατακόρυφος κύκλος (Λυρώνης 2011). Το **τηλεσκόπιο** ονομάζεται σκοπευτικό, διότι έχει σκοπευτικό άξονα, ο οποίος ορίζεται από δύο σταθερά σημεία, το οπτικό κέντρο του αντικειμενικού φακού και το σταυρόνημα. Μέσω του σκοπευτικού άξονα γίνεται δυνατό να σκοπεύσουμε προς ένα συγκεκριμένο αντικείμενο (Δρίβα 1963; Στεργιάδη 1984). Το τηλεσκόπιο πρόκειται για ένα οπτικό σύστημα που δίνει τη δυνατότητα να παρατηρούνται σε μεγέθυνση και ευκρίνεια τα απομακρυσμένα αντικείμενα. Το βασικό σώμα του τηλεσκοπίου αποτελείται από έναν κεντρικό κυλινδρικό σωλήνα και από τον αντικειμενικό φακό όπου μέσα σε αυτόν εισέρχεται με ελαφρά τριβή ένας δεύτερος σωλήνας, ο σωλήνας διαφράγματος. Τέλος, στην άκρη του σωλήνα διαφράγματος προσαρμόζεται τρίτος μικρότερος σωλήνας που είναι ο προσοφθάλμιος φακός (Δρίβα 1963). Οπότε, συνολικά στο εσωτερικό του το τηλεσκόπιο αποτελείται από τρεις σωλήνες που προσαρμόζονται μεταξύ τους. Οι σωλήνες αυτοί πρέπει να έχουν πλήρως κυλινδρικό σχήμα και απόλυτα ίσια διεύθυνση, ώστε να προσαρμόζονται οι κύλινδροι ο ένας μέσα στον άλλον. Ο εσωτερικός σωλήνας κανονικά πρέπει να είναι όσο μακρύτερος είναι δυνατό, ώστε να παραμένει σταθερός όταν βγαίνει προς τα έξω για να επιμηκυνθεί το μήκος του τηλεσκοπίου. Το άκρο του τηλεσκοπίου, στο οποίο τοποθετείται ο αντικειμενικός φακός, διατηρεί μεγάλη διατομή. Αυτό συμβαίνει διότι ο φακός πρέπει να έχει το κατάλληλο μέγεθος και να μικραίνει βεβιασμένα. Ο φακός συγκρατείται στο σωλήνα μέσω σπειροειδούς εσοχής που υπάρχει εσωτερικά στο άκρο του σωλήνα και σε αυτή τοποθετείται ο φακός κάθετα. Αυτή η εσοχή επιτρέπει την αφαίρεση του φακού, σε περίπτωση όπου είναι επιθυμητός ο καθαρισμός του (Stanley 1890). Το τηλεσκόπιο αποτελείται από δύο φακούς, τον αντικειμενικό και τον προσοφθάλμιό που βρίσκονται στερεωμένοι στα άκρα δύο σωλήνων. Ο προσοφθάλμιος φακός τοποθετείται στο ένα άκρο του τηλεσκοπίου, μέσω του οποίου ο χρήστης κοιτάζει μέσα για να βρει τον στόχο που είναι ορατός. Επιπλέον, ο προσοφθάλμιος φακός μετακινείται μέσα στο σωλήνα του διαφράγματος, η κίνηση υλοποιείται με ολίσθηση ή περιστροφή, ακολουθώντας ελικοειδές αυλάκι που υπάρχει μεταξύ των τοιχωμάτων των δύο σωλήνων. Κοντά στο προσοφθάλμιό φακό υπάρχει ένας **κοχλίας εστίασης** που χρησιμοποιείται για να μετακινηθεί ο ένας σωλήνας του τηλεσκοπίου μέσα στον άλλο, έτσι καθιστάται το αντικείμενο παρατήρησης καθαρό και σαφές (Βλάχος 2012). Ο κοχλίας εστίασης επιπλέον ρυθμίζει το **διάφραγμα**, το οποίο έχει στην κορυφή του ένα οπτικό τμήμα για να ευθυγραμμίζει τον στόχο. Ένας αντικειμενικός φακός βρίσκεται επίσης στο τηλεσκόπιο, αλλά στο αντίθετο άκρο από τον προσοφθάλμιό φακό. Ο αντικειμενικός φακός χρησιμοποιείται για να γίνει ορατό το αντικείμενο και με

τη βοήθεια των καθρεπτών στο εσωτερικό, επιτρέπει στο αντικείμενο να είναι μεγεθυμένο (Avram *et al.* 2016). Ο αντικειμενικός είναι ένας φακός μεγάλης εστιακής απόστασης που δίνει για κάθε απομακρυσμένο αντικείμενο αβ ένα ανεστραμμένο είδωλο α'β' κοντά στο εστιακό επίπεδο. Το είδωλο αυτό παρατηρείται μέσα από έναν δεύτερο φακό, τον προσοφθάλμιο που είναι μικρής εστιακής απόστασης και για την εικόνα α'β' δίνει ένα είδωλο α''β'', σε μεγέθυνση. Οι δύο φακοί τοποθετούνται σε σωλήνα, ώστε οι οπτικοί άξονες να συμπίπτουν. Πρακτικά, ο σωλήνας είναι διπλός, ώστε να αυξομειώνεται η απόσταση των δύο φακών, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται ο σχηματισμός του τελικού ειδώλου στην ελάχιστη απόσταση ευκρινούς οράσεως του κάθε παρατηρητή. Αν κοντά στο εστιακό επίπεδο του αντικειμενικού φακού υλοποιηθεί σημείο που βρίσκεται στον κοινό οπτικό άξονα των δύο φακών, τότε το τηλεσκόπιο λέγεται σκοπευτικό. Το σημείο υλοποιείται ως η τομή δύο καθέτων ευθειών, το λεγόμενο **σταυρόνημα**. Είναι χαραγμένο πάνω σε γυάλινη πλάκα, με μηχανική ή φωτογραφική μέθοδο, το σχήμα του συχνά αφορά ένα σταυρό ή περισσότερες ευθείες όπου τέμνονται σε ένα κεντρικό σημείο (Παναγιωτόπουλος και Καριώτης 2001; Λυρώνης 2011).

Για την ακριβή οριζοντίωση, το όργανο είναι εφοδιασμένο με ευαίσθητη **σωληνωτή αεροστάθμη**, η οποία είναι προσαρμοσμένη στο επάνω μέρος του οργάνου (Λυρώνης 2011). Ουσιαστικά πρόκειται για ένα κυλινδρικό αλφάδι, το οποίο τοποθετείται συνήθως πάνω από το τηλεσκόπιο Kepler. Το αλφάδι που έχει κυλινδρικό σχήμα και το υγρό που περιέχεται σε αυτό και τοποθετείται σε σωλήνα ονομάζεται **σωληνωτή αεροστάθμη**. Η σωληνωτή αεροστάθμη του τηλεσκοπίου είναι η κυριότερη αεροστάθμη του οργάνου και ενώνεται μέσω δύο σταθερών σιδερένιων βιδών στο κεντρικό σώμα του τηλεσκοπίου. Οι βίδες περιβάλλονται και από περικόχλια, τα οποία εξασφαλίζουν πιο σταθερή σύσφιξη και ένωση. Στις δύο άκρες του ορειχάλκινου σωλήνα υπάρχουν εσωτερικά κενά για να χωρέσουν οι βίδες. Η αεροστάθμη τοποθετείται μέσα σε ένα ορειχάλκινο σωλήνα, με γυαλί στο πάνω μέρος, το οποίο φέρει και κάθεται διαγράμμιση. Τα περικόχλια προσαρμόζουν την σωληνωτή αεροστάθμη, ώστε να είναι παράλληλη με το τηλεσκόπιο (Stanley 1890).

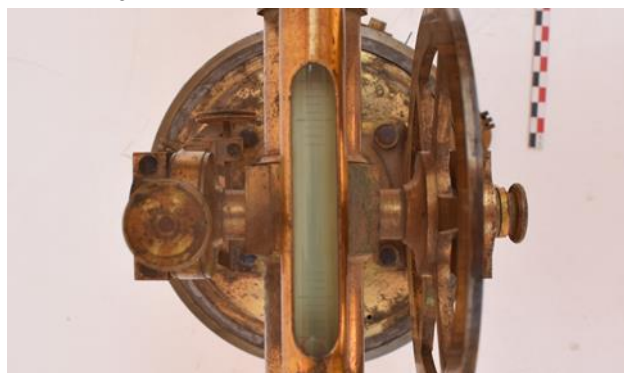


Εικόνα 30 Σωληνωτή αεροστάθμη, για ακριβή οριζοντίωση, επάνω από το τηλεσκόπιο. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης)



Εικόνα 32 Ο βραχίονας άντυγα εξασφαλίζει την συγκράτηση του τηλεσκοπίου και την σύνδεση του άνω μέρους του θεοδόλιχου με τη βάση του. ,©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης)

Στο ανώτερο μέρος των στηριγμάτων και ανάμεσα του τοποθετείται ένας μεταλλικός **άξονας περιστροφής-Transit axis**. Το μεταλλικό εξάρτημα, ο άξονας περιστροφής περιβάλλει και συγκρατεί το τηλεσκόπιο. Στο κέντρο του άξονα περιστροφής δημιουργείται ένα κυλινδρικό άνοιγμα



Εικόνα 31 Ο άξονας περιστροφής, κάτω από την σωληνωτή αεροστάθμη, στον κίτρινο θεοδόλιχο. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης)

περίπου τριών εκατοστών πάχους, όπου σε αυτό προσαρμόζεται το τηλεσκόπιο. Ο άξονας περιστροφής αποτελεί το εξάρτημα, όπου μέσω αυτού εξασφαλίζεται η σύνδεση του τηλεσκοπίου με τους βραχίονες, ο οποίοι στη συνέχεια στηρίζουν το άνω μέρος. Ο ίδιος ο άξονας στηρίζεται σε δύο στρόφιγγες (trunnion, pivots), όπου υπάρχουν στα δύο άκρα του άξονα, πάνω από τους βραχίονες άντυγα. Οι στρόφιγγες κατασκευάζονται έχοντας με απόλυτη ακρίβεια το ίδιο σχήμα, ώστε να προσφέρουν και τις ίδιες ιδιότητες. Συγκεκριμένα, όταν περιστρέφονται βοηθούν να υπάρχει ευθυγράμμιση χωρίς απόκλιση από μία πλευρά. Η μοναδική διαφορά κίνησης αυτών των στρόφιγγων είναι πως η μια ασκεί ελάχιστη παραπάνω πίεση κατά την περιστροφή της, καθώς φέρει το βάρος του κατακόρυφου κύκλου, κάτι όπου η άλλη στρόφιγγα δεν φέρει (Stanley 1890). Το συνολικό προαναφερθέν κινητό μέρος του άξονα περιστροφής ονομάζεται άντυγα. Ο άξονας περιστροφής της άντυγας κατά την χρήση του οργάνου πρέπει να είναι κατακόρυφος, να κινείται και να έχει θέση σύμφωνα με τον πρωτεύοντα/κατακόρυφο άξονα. Σε αντίθεση, ο άξονας περιστροφής του τηλεσκοπίου είναι κάθετος προς τον πρωτεύοντα, οπότε το τηλεσκόπιο κινείται σύμφωνα με τον δευτερεύοντα/οριζόντιο άξονα (Βλάχος 2012).

Στη συνέχεια, ο άξονας περιστροφής συνδέεται με τα **στηρίγματα** του θεοδόλιχου που αποκαλούνται και **βραχίονες άντυγα**. Τα στηρίγματα ή οι βραχίονες άντυγα έχουν μήκος περίπου 17 εκατοστά και είναι κατασκευασμένα με χύτευση ορείχαλκου ως ολόκληρα τμήματα. Τοποθετούνται πάνω στο δείκτη, με τον οποίο είναι συνδεδεμένα μέσω τεσσάρων βιδών με στρογγυλή κεφαλή. Αυτό καθιστά το άνω μέρος αρκετά σταθερό (Stanley 1890). Κάθε βραχίονας αποτελείται από δύο επικλινή στηρίγματα με μειούμενο πάχος προς τα πάνω. Στον θεοδόλιχο, οι βραχίονες αποκτούν μια τριγωνική διαμόρφωση, με μια οριζόντια ακτίνα στο κέντρο για την συγκράτηση και ένωση των στηριγμάτων, και κατά αυτόν τον τρόπο αποκτούν ένα σχήμα «Α» και για αυτό στην αγγλική ορολογία ονομάζονται και **A-frames**. Στο τέλος των στηριγμάτων υπάρχει ορειχάλκινη πλάκα, στην οποία συγκρατούνται στα δύο άκρα οι βραχίονες άντυγα. Αυτή η πλάκα συνδέεται με τη υπόλοιπη βάση μέσω τεσσάρων βιδών, από τη μια πλευρά οι βίδες φέρουν περικόχλια, ενώ από την άλλη είναι χωρίς. Η βάση των στηριγμάτων εξασφαλίζει τη μηχανική ένωση του άνω μέρους με το υπόλοιπο όργανο.

Από τα βασικότερα εξαρτήματα που υπάρχουν στο άνω μέρος του θεοδόλιχου είναι ο **κατακόρυφος κύκλος**. Παρατηρείται εσωτερικά ή εξωτερικά των βραχιόνων άντυγα και τοποθετείται σε ένα από τα δύο στηρίγματα. Εσωτερικά, 3 ακτίνες με διασταυρούμενες ενώσεις συγκρατούν τον κατακόρυφο κύκλο. Στο κέντρο ενώνονται με τον άξονα περιστροφής, σχηματίζοντας μια κυκλική ένωση. Σε αυτή την κυκλική μηχανική ένωση συνενώνονται με τη σειρά προς τα έξω, ο άξονας περιστροφής, ο κατακόρυφος κύκλος, ο βραχίονας άντυγας και τέλος ο βραχίονας του κάθετου μικροσκοπίου. Η ένωση τους επιτυγχάνεται με μία βίδα κεφαλής (Stanley 1890). Βασική λειτουργία του κατακόρυφου κύκλου είναι η περιστροφή του τηλεσκοπίου και γενικότερα του θεοδόλιχου στον οριζόντιο άξονα (Λυρώνης 2011). Δηλαδή, με την περιστροφή του κάθετου κύκλου, ανεβαίνει και κατεβαίνει η κλίση του τηλεσκοπίου. Επιπλέον, πάνω στον κατακόρυφο κύκλο υπάρχουν ενδείξεις βερνιέρου, όπου μαζί με το κατακόρυφο πλαίσιο βερνιέρου υπολογίζονται οι μετρήσεις. Μπροστά από τον κατακόρυφο κύκλο υπάρχει ένας κυκλικός δακτύλιος, ο οποίος περιβάλλει περιμετρικά τον κατακόρυφο κύκλο. Ο δακτύλιος αυτός φέρει το κατακόρυφο πλαίσιο με βερνιέρο, το οποίο είναι κεντραρισμένο προς το δακτύλιο. Το **πλαίσιο βερνιέρου** ενώνεται μηχανικά μέσω τριών σιδερένιων βιδών στον κατακόρυφο κύκλο. Στο θεοδόλιχο, το πλαίσιο βερνιέρου τοποθετείται εξωτερικά και δίπλα στον κατακόρυφο κύκλο. Ο βερνιέρος συνήθως έχει ακρίβεια χιλιοστών και μπορεί να αναγνωστεί και από την αριστερή και από τη δεξιά πλευρά (Stanley 1890).



Εικόνα 33 Ο κατακόρυφος κύκλος στο κίτρινο θεοδόλιχο. Ο μεταλλικός βραχίονας του μικροσκοπίου φαίνεται μπροστά από τον κύκλο. ,©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης)

Μπροστά από το στηρίγμα με τον κατακόρυφο κύκλο βρίσκεται μεταλλικός βραχίονας που συγκρατεί **μικροσκόπιο** για την ανάγνωση των τιμών του βερνιέρου που υπάρχουν πάνω στον κύκλο. Στον κατακόρυφο κύκλο μπορεί να υπάρξουν δύο βραχίονες και μικροσκόπια, τα οποία τοποθετούνται αντιδιαμετρικά, όπως στον οριζόντιο κύκλο. Όμως, μπορεί και από



κατασκευής να υπάρχει μόνο ένα μικροσκόπιο, για την ανάγνωση μίας τιμής στο βερνιέρο. Όπως και στο συγκεκριμένο θεοδόλιχο διατηρείται μόνο ένας βραχίονας, χωρίς όμως να διασώζεται το μικροσκόπιο.

Ένα ακόμη εξάρτημα είναι ο **συνδετικός βραχίονας**. Συνηθίζεται να βρίσκεται μεταξύ του κατακόρυφου κύκλου και του βραχίονα άντυγα. Ο συνδετικός βραχίονας ενώνεται με τον άξονα περιστροφής και είναι κεντραρισμένος σε αυτόν. Στο άνω μέρος του υπάρχει η μηχανική ένωση με πολυγωνική βίδα τύπου «Τ» που ενώνει το συνδετικό βραχίονα με τα στηρίγματα και με τον άξονα περιστροφής. Είναι προσαρμοσμένος κατάλληλα, ώστε να επιτυγχάνεται η ελεύθερη κίνησή του, η οποία παρέχει την δυνατότητα στο τηλεσκόπιο να έχει και αυτό ευχέρεια κίνησης.

Στον θεοδόλιχο, εσωτερικά του βραχίονα άντυγα, υπάρχει ένας ακόμη σφιγκτήρας. Τοποθετημένος στο άλλο άκρο του άξονα περιστροφής, εκεί όπου δεν έχει τοποθετηθεί ο κατακόρυφος κύκλος. Όπως έχει προαναφερθεί, στο θεοδόλιχο υπάρχουν δύο σφιγκτήρες, ένας για κάθε κύκλο αντίστοιχα. Ο **κατακόρυφος σφιγκτήρας** περικλείει το ένα κυλινδρικό άκρο του άξονα περιστροφής και σφίγγει ιδιαίτερα τον εξωτερικό άξονα του, για να προσφέρει σταθερότητα. Ο κατακόρυφος σφιγκτήρας έχει μικρές μορφολογικές διαφοροποιήσεις από τον οριζόντιο. Αρχικά, η στρογγυλή διατομή δεν βρίσκεται στο κέντρο,



Εικόνα 35 Η γερμανική τροποποίηση, του κατακόρυφου σφιγκτήρα. Το μεταλλικό έλασμα πίσω από τον ανασταλτικό κοχλία. ,©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης)

αλλά στο ανώτερο άκρο του εξαρτήματος και επιτυγχάνεται η σύνδεση με τον άξονα περιστροφής. Διαφορετική είναι και η τοποθέτηση των δύο κοχλιών, του κατακόρυφου ανασταλτικού κοχλία κίνησης και του κατακόρυφου κοχλία σύσφιξης. Και οι δύο κοχλίες έχουν κυκλική κεφαλή. Ο κοχλίας σύσφιξης εισέρχεται κάθετα στο σφιγκτήρα πάνω στο άνω μέρος του. Ενώ ο ανασταλτικός κοχλίας βρίσκεται με οριζόντια διεύθυνση στο κάτω μέρος του σφιγκτήρα. Ο ανασταλτικός κοχλίας συγκρατείται στο σφιγκτήρα, μέσω μίας προεξοχής, η οποία ενώνεται μέσω μικρών βιδών στη μέση του βραχίονα άντυγα (Στεργιάδη 1984). Στο κατακόρυφο σφιγκτήρα εντοπίζεται και εδώ η γερμανική τροποποίηση, δηλαδή τοποθετείται μεταλλικό έλασμα περίξ του σφιγκτήρα και πίσω από τον ανασταλτικό κοχλία. Όσο σφίγγεται ο ανασταλτικός κοχλίας, τόσοσ πλη-

λίζεται σταθερότητα στην περιστροφή του τηλεσκοπίου (Stanley 1890). Ο κατακόρυφος σφιγκτήρας παρέχει παρόμοια λειτουργία με τον οριζόντιο, αλλά η βασική διαφορά τους είναι



Εικόνα 34 Ο κατακόρυφος σφιγκτήρας. Πάνω ο κοχλίας σύσφιξης και κάτω ο ανασταλτικός κοχλίας. ,©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης)

πως ο κατακόρυφος σφικκτήρας σταθεροποιεί τον άξονα περιστροφής και τον κατακόρυφο κύκλο, ενώ ο οριζόντιος σφικκτήρας σταθεροποιεί τον οριζόντιο κύκλο.

Στο χαμηλότερο τμήμα του άνω μέρους του θεοδόλιχου, βρίσκεται η βάση. Πρόκειται για μια κυκλική βάση, η οποία προσαρμόζεται στον οριζόντιο κύκλο. Επάνω σε αυτή, στηρίζονται οι βραχίονες άντυγα, όπου ανάμεσα τους τοποθετείται, πάνω στη βάση, ένα κυκλικό αλφάδι. Στους παλαιότερους τύπους θεοδόλιχου, ακριβώς σε αυτή τη θέση τοποθετείτο η πυξίδα (Nadolinets *et al.* 2017). Αργότερα, σε ορισμένους τύπους θεοδόλιχου, αντί της πυξίδας, ανάμεσα στους βραχίονες άντυγας, μπορεί να τοποθετηθεί η **σφαιρική αεροστάθμη**. Η σφαιρική αεροστάθμη πρόκειται ουσιαστικά για το κυκλικό αλφάδι, αποτελείται από κυλινδρικό δοχείο σε σχήμα σφαίρας, επικαλυμμένο με υάλινη πλάκα. Μέσα το δο-



Εικόνα 36 Σφαιρική αεροστάθμη, για χονδρική οριζόντιωση, ανάμεσα των βραχιόνων άντυγα. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης)



Εικόνα 37 Η κάτω πλευρά του δείκτη με την οποία εφαρμόζεται πάνω από τον οριζόντιο κύκλο. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

ξονα, αλλά κατευθύνεται και σημειώνει τη θέση του τηλεσκοπίου ως προς τον οριζόντιο κύκλο. Ο δείκτης αποτελεί την κύρια βάση όλου του άνω μέρους του θεοδόλιχου και προσαρμόζεται στο εσωτερικό άνοιγμα του οριζόντιου κύκλου (Δρίβα 1963; Stanley 1890). Σε δύο εξωτερικές αντιδιαμετρικές θέσεις στο δείκτη, τοποθετείται

τον χείο είναι πλήρες με υγρό και διατηρείται ελάχιστος κενός χώρος για τη δημιουργία φυσαλίδας (Δρίβα 1963). Η σφαιρική αεροστάθμη, υπάρχει για την χονδρική οριζόντιωση του επιστημονικού οργάνου (Λυρώνης 2011). Συγκεκριμένα, στο θεοδόλιχο, η σφαιρική αεροστάθμη περιβάλλεται από μια ορειχάλκινη βάση, η οποία μέσω τεσσάρων απλών σιδερένιων βιδών ενώνεται με τη βάση του άνω μέρους

Πάνω από τον οριζόντιο κύκλο, στη βάση του άνω μέρους του θεοδόλιχου, υπάρχει μια κυκλική πλάκα. Η συγκεκριμένη πλάκα ονομάζεται **δείκτης** και βρίσκεται συνήθως πάνω από τον οριζόντιο κύκλο. Ο δείκτης τοποθετείται σύμφωνα με

τον  
κατα-  
κό-  
ρυφο  
ά-



Εικόνα 38 Ο αργυρός θερμιέρος στο δείκτη, κατά τη συντήρηση. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης)

**βερνιέρος** σε αργυρή ταινία. Ο βερνιέρος είναι μία βοηθητική κλίμακα που κινείται κατά μήκος της κύριας κλίμακας, ξεκινώντας από το δείκτη και η ανάγνωση γίνεται όταν συμβαδίζουν οι τιμές από τον βερνιέρο και την κύρια κλίμακα (Βλάχος 2012; Στεργιάδη 1984). Τα δύο αργυρά σημεία βερνιέρου αποτελούν δύο αφετηρίες, ώστε με μία θέση που λαμβάνει το τηλεσκόπιο να παρέχονται δύο αναγνώσεις. Η ανάγνωση γίνεται κανονικά με τη βοήθεια των διαιρέσεων του οριζόντιου κύκλου και υπολογίζεται η γωνία της περιστροφής του τηλεσκοπίου/σκοπευτικού άξονα (Δρίβα 1963). Τόσο ο οριζόντιος κύκλος όσο και ο δείκτης είναι ανεξάρτητα τμήματα και έχουν ελευθερία κίνησης. Ο δείκτης ακουμπάει ελαφρώς με τα υπόλοιπα εξαρτήματα οριακά, ώστε να επιτυγχάνεται η σύνδεσή τους, χωρίς όμως να περιορίζεται η κίνηση. Παρόλο αυτά, η κίνηση του συνάδει με τη κίνηση του άνω μέρους του θεοδόλιχου (Stanley 1890).

Επάνω από το δείκτη και περιμετρικά της σφαιρικής αεροστάθμης βρίσκεται τοποθετημένο ένα **ζευγάρι μικροσκοπίων**. Τα μικροσκόπια είναι οπτικά συστήματα, όπου με την χρήση τους διαβάζονται οι διηρημένες κλίμακες των θεοδόλιχων σε μεγέθυνση. Τα μικροσκόπια αποτελούνται από έναν αχρωματικό αντικειμενικό φακό και από ένα σύστημα προσοφθάλμιων φακών. Οι χαραγές των βερνιέρων επάνω στους μεταλλικούς κύκλους είναι ιδιαίτερα μικρές, για αυτό τα μικροσκόπια λειτουργούν ως μεγεθυντικοί φακοί (Βλάχος 2012; Στεργιάδη 1984).

Τα μικροσκόπια συγκρατούνται περιμετρικά της σφαιρικής αεροστάθμης, μέσω ορειχάλκινων πλατιών συρμάτων ή αλλιώς βραχίονα μικροσκοπίων. Η τοποθέτησή τους στα άκρα της πλάκας είναι αντιδιαμετρική. Ο σχεδιασμός τοποθέτησής τους είναι ορισμένος κατά αυτόν τον τρόπο, ώστε όταν με το ένα μικροσκόπιο διαβάζονται οι γραμμές του βερνιέρου όπου έχουν ευθυγραμμιστεί, με το άλλο μικροσκόπιο διαβάζονται άλλοι βερνιέροι που έχουν τοποθετηθεί σε αντίθετο μέρος του δείκτη. Η προσαρμογή των βερνιέρων και η προετοιμασία τους προς ανάγνωση επιτυγχάνεται, όταν το τηλεσκόπιο σκοπεύει με ακρίβεια στο αντικείμενο, του οποίου πρέπει να υπολογιστεί η γωνιομετρική του θέση σε σχέση με τον μαγνητικό βορά ή σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο αντικείμενο (Stanley 1890). Στο θεοδόλιχο έχει διατηρηθεί μόνο ο βραχίονας των μικροσκοπίων, επομένως εξαιτίας της έλλειψης των φακών είναι αδύνατη η ακριβής ταυτοποίηση του τύπου του μικροσκοπίου που τοποθετείται στο όργανο.



Εικόνα 39 Ο ένας βραχίονας του μικροσκοπίου. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης)

Η προσαρμογή των βερνιέρων και η προετοιμασία τους προς ανάγνωση επιτυγχάνεται, όταν το τηλεσκόπιο σκοπεύει με ακρίβεια στο αντικείμενο, του οποίου πρέπει να υπολογιστεί η γωνιομετρική του θέση σε σχέση με τον μαγνητικό βορά ή σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο αντικείμενο (Stanley 1890). Στο θεοδόλιχο έχει διατηρηθεί μόνο ο βραχίονας των μικροσκοπίων, επομένως εξαιτίας της έλλειψης των φακών είναι αδύνατη η ακριβής ταυτοποίηση του τύπου του μικροσκοπίου που τοποθετείται στο όργανο.

#### 4.1.2. Μαύρος χωροβάτης

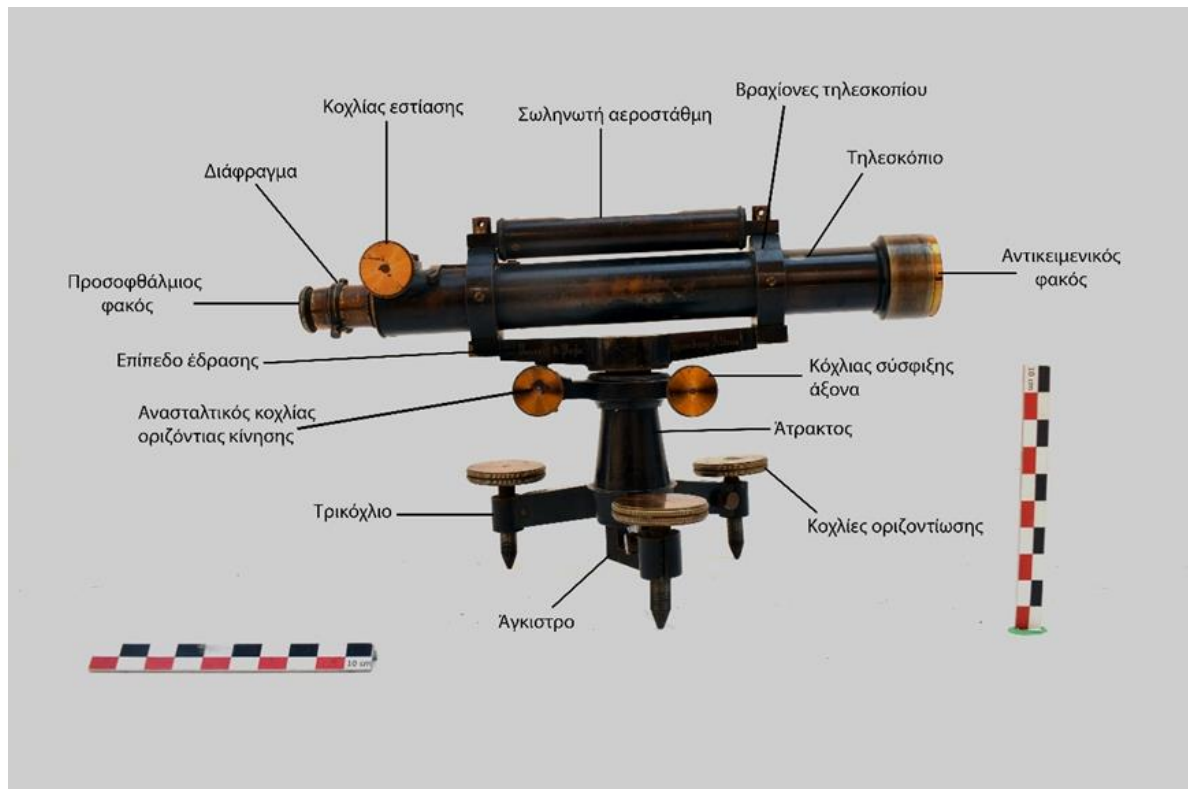
##### Χωροβάτης-Υ

Από τους παλαιότερους τύπους χωροβάτη που έχουν κατασκευαστεί είναι ο χωροβάτης-Υ. Η ονομασία του προκύπτει από τα δύο στηρίγματα του που έχουν σχήμα «Υ». Από θέμα

οπτικής, ο χωροβάτης-Υ διαθέτει όλες τις κατασκευαστικές τελειοποιήσεις, καθιστώντας τον εύχρηστο και προσαρμόσιμο. Τα στηρίγματα Υ αποτελούν το ανώτερο μέρος των βραχιόνων. Οι βραχίονες στηρίζονται στην οριζόντια βάση του χωροβάτη και καταλήγουν στο τηλεσκόπιο, όπου και το συγκρατούν. Η συγκράτηση του τηλεσκοπίου από τους βραχίονες επιτυγχάνεται μέσω δύο κυλινδρικών περιβλημάτων(κολλάρων). Τα περιβλήματα αυτά έχουν ένα τέλειο κυλινδρικό σχήμα και είναι απολύτως παράλληλα στην επιφάνεια του τηλεσκοπίου, το οποίο έχει την κατεύθυνση του σκοπευτικού άξονα. Η διατομή των κυλινδρικών περιβλημάτων έχει με ακρίβεια ένα κατάλληλο μέγεθος, ώστε να επιτρέπει την κίνηση του τηλεσκοπίου μέσω των στηριγμάτων, χωρίς όμως να αλλοιώνεται η ευθυγράμμιση του οργάνου με τους άξονες. Στο εσωτερικό των κυλινδρικών διατομών υπάρχουν παρεμβύσματα που προσφέρουν επιπλέον σταθερότητα στο τηλεσκόπιο και δεν επιτρέπουν την κατά μήκος κίνησή του. Οι βραχίονες του χωροβάτη στηρίζονται στην οριζόντια βάση και κανονικά η σύνδεση τους με τη βάση γίνεται μέσω κοχλίων στο κάτω μέρος (Stanley 1890). Σε αυτό το σημείο παρατηρείται μια βασική διαφοροποίηση στο μαύρο χωροβάτη της συλλογής του Γ.Α.Ι., δηλαδή στο κάτω μέρτησης βάσης η σύνδεση των βραχιόνων με τη βάση επιτυγχάνεται μέσω απλών εσωτερικών βιδών.

Υπάρχει μια **βελτιωμένη μορφή** του **χωροβάτη-Υ**, η οποία βασίζεται σε μία μορφοποίηση του οργάνου. Συγκεκριμένα, η διαφορά από έναν κοινού τύπου χωροβάτη-Υ είναι η διαμόρφωση των βραχιόνων σε κυκλικά περιβλήματα (κολάρο), αλλά διατηρώντας την χρήση του «Υ» υποστηρίγματος. Ουσιαστικά το μέγεθος των περιβλημάτων μικραίνει, οπότε το βάρος του τηλεσκοπίου πλέον στηρίζεται πλήρως στους «Υ» βραχίονες, όμως οι βραχίονες έχουν και άνω κυκλικό μέρος για επιπλέον ασφάλιση του τηλεσκοπίου.

Με την μελέτη του επιστημονικού οργάνου, διαπιστώθηκε πως ο μαύρος χωροβάτης πρόκειται για τον χωροβάτη τύπου Dumpry. Με ορισμένες διαφοροποιήσεις από την τυποποιημένη μορφή, όμως όλα τα επιμέρους μέρη συσχετίζονται με αυτά που συνθέτουν τον συγκεκριμένο τύπο χωροβάτη. Συγκεκριμένα, ο **Dumpry χωροβάτης** αποτελεί μια εξέλιξη και τροποποιημένη μορφή του «Υ» χωροβάτη και η βασική τυπολογία του Dumpry χωροβάτη παρομοιάζει αυτήν του «Υ» χωροβάτη. Ο χωροβάτης, όπως κάθε επιστημονικό όργανο, αποτελείται από διάφορα μέρη, τα οποία ρυθμίζουν και τις λειτουργίες του. Τα μέρη που μελετώνται αφορούν και εξαρτήματα που υπάρχουν και στο μαύρο χωροβάτη.



Εικόνα 40 Ο μαύρος χωροβάτης και τα επιμέρους μέρη του. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

### Άνω μέρη χωροβάτη :

Απλοποιημένα, είναι δυνατό να ειπωθεί, πως όλος ο χωροβάτης αποτελείται από τρία βασικά μέρη: το τηλεσκόπιο, την αεροστάθμη και τη βάση του.

Αναλυτικότερα, ξεκινώντας από το άνω μέρος, βρίσκεται το τηλεσκόπιο. Το **τηλεσκόπιο** είναι ένα όργανο που βρίσκεται στην ίδια θέση σε όλους του τύπους χωροβάτη. Όπως και στα υπόλοιπα όργανα, το τηλεσκόπιο κατέχει κυλινδρική σωληνωτή διάταξη, όπου μέσα σε αυτή προσαρμόνται και οι κύλινδροι του προσοφθάλμιου και αντικειμενικού φακού. Τοποθετείται σε οριζόντια ευθεία με τη **σωληνωτή αεροστάθμη** που φέρει από πάνω. Η ύπαρξη σωληνωτής αεροστάθμης δηλώνει πως το όργανο πρόκειται για κοινό χωροβάτη. Στους παλαιότερους τύπους χωροβάτη, τα είδωλα που παρέχει το τηλεσκόπιο είναι αναστραμμένα. Για αυτό τον λόγο οι αριθμοί της σταδίας, η οποία παρατηρείται μέσω του χωροβάτη, είναι και αυτοί ανεστραμμένοι, ώστε στο οπτικό πεδίο να εμφανίζονται όρθιοι (Βλάχος 2012).



Εικόνα 41 Η σωληνωτή αεροστάθμη πάνω από το τηλεσκόπιο. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

Ο **προσοφθάλμιος φακός** προσαρμόζεται στο τηλεσκόπιο μέσω ενός λεπτότερου και μακρύτερου σωλήνα, ο οποίος εισέρχεται στο εσωτερικό του κεντρικού σωλήνα του τηλεσκοπίου (Βλάχος 2012). Επιπλέον, ο προσοφθάλμιος φακός είναι προσαρμόσιμος και μπορεί να εισέρθει και να εξέλθει από το τηλεσκόπιο μέσω του κοχλία εστίασης. Στο σώμα του τηλεσκοπίου υπάρχουν κοντά στα άκρα του δύο κυκλικά δακτυλιόσχημα περιβλήματα που δημιουργούν προεξοχές προς τα πάνω, με τις οποίες συγκρατείται η σωληνωτή αεροστάθμη πάνω από το τηλεσκόπιο.

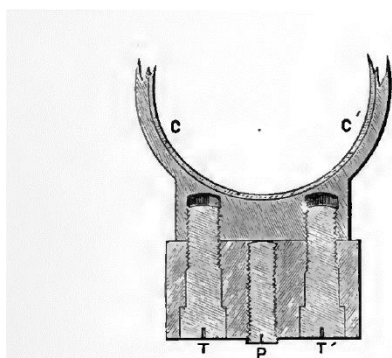


FIG. 59.—Attachment of telescope block to limbs.

Εικόνα 42 Οι εσωτερικές βίδες που ενώνουν τα περιβλήματα με την οριζόντια βάση. (©Stanley 1890 p.113).

λοιπο κατώτερο σώμα μέσω επιπλέον προεκτάσεων των περιβλημάτων που συνδέουν το επίπεδο έδρασης με το τηλεσκόπιο (Stanley 1890). Δηλαδή, υπάρχουν δύο περιβλήματα με κυκλική διατομή που τοποθετούνται στα δύο άκρα του τηλεσκοπίου. Στα περιβλήματα υπάρχουν κάθετες ενιαίες μεταλλικές προεξοχές, τόσο από την πάνω πλευρά όσο και από την κάτω. Από την πάνω πλευρά εξασφαλίζεται η συγκράτηση της σωληνωτής αεροστάθμης και με τις κάτω προεξοχές επιτυγχάνεται η μηχανική ένωση με το

σώμα του τηλεσκοπίου. Στο ανώτερο μέρος των προεξοχών τοποθετούνται δύο κάθετες βίδες με κυκλικά περικόχλια αντίστοιχα. Αυτά εξασφαλίζουν τη μηχανική σύνδεση της σωληνωτής αεροστάθμης με το τηλεσκόπιο και διατηρούν τη σταθερότητα της. Το τηλεσκόπιο συνδέεται με το υπό-



Εικόνα 43 Το διάφραγμα με τις τρεις βίδες προσαρμογής του. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης)

υπόλοιπο σώμα του χωροβάτη. Οι κάτω προεξοχές ενώνουν το τηλεσκόπιο με την οριζόντια βάση μέσω της χρήσης εσωτερικών βιδών. Στις προεξοχές τοποθετείται εσωτερικά μια σιδερένια σπειροειδής βίδα, αυτή η βίδα πιέζει προς τα πάνω την ένωση. Σε άλλους τύπους χωροβάτη, οι βίδες ένωσης μπορεί να είναι ακόμα και τρεις (βλ. εικ. 30). Γενικά, αυτός ο σύνδεσμος είναι αρκετά σταθερός με μικρές πιθανότητες υπολειτουργίας. Το μόνο σφάλμα είναι πως σε περίπτωση άνισου σφιξίματος μπορεί το σώμα και το τηλεσκόπιο του χωροβάτη να παρουσιάσουν διαφορετική συστροφή και να προκληθεί ένα μικρό κενό μεταξύ των δύο εξαρτημάτων. Η σύνδεση της οριζόντιας βάσης με το τηλεσκόπιο αποτελεί μέρος του κάθετου άξονα. Εάν όλα τα εξαρτήματα του χωροβάτη είναι προσαρμοσμένα στον κατακόρυφο άξονα και στο τηλεσκόπιο, τότε δεν υπάρχει περίπτωση να ασκηθεί πρόσθετη τάση σε κάποιο εξάρτημα, έτσι διασφαλίζεται ο χωροβάτης χωρίς να παραμορφωθεί κανένα μέρος του. Η διατήρηση σταθερότητας στο όργανο στη διάρκεια μέτρησης αποτελεί βασικό μέλημα των ερευνητών. Εάν δεν έχει σταθεροποιηθεί κατάλληλα το όργανο, είναι επικίνδυνο ο αντικειμενικός φακός να φθίνει προς τα κάτω. Για αυτόν τον λόγο είναι σημαντικό ο εσωτερικός σωλήνας του τηλεσκοπίου, ο οποίος μπορεί να επιμηκυνθεί, να κατασκευάζεται όσο το δυνατόν μακρύτερος (Stanley 1890).

Το τηλεσκόπιο στο μαύρο χωροβάτη διαθέτει ένα εξάρτημα το **διάφραγμα**, το οποίο τοποθετείται στο εσωτερικό του τηλεσκοπίου, λίγο πιο μπροστά από τον προσοφθάλμιο φακό. Το διάφραγμα ενώνεται με το σώμα του τηλεσκοπίου μέσω τριών βιδών θλίψης. Αυτές οι βίδες παρέχουν την ικανότητα κίνησης του σταυρόνηματος σε ορισμένη κατακόρυφη ή οριζόντια θέση. Το σταυρόνημα συγκρατείται από αυτές τις βίδες, οι οποίες ενώνουν επιπλέον το μο-



Εικόνα 44 Ο κοχλίας εστίασης του τηλεσκοπίου. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης)

νωτικό δακτύλιο του διαφράγματος εξωτερικά με το σωλήνα του προσοφθάλμιου φακού (Βλάχος 2012; Στεργιάδη 1963). Το **σταυρόνημα**, όπως έχει προαναφερθεί, αποτελεί τον στόχο του τηλεσκοπίου. Αποτελείται από λεπτές τεμνόμενες χαραγές πάνω σε ένα κυκλικό γυαλί που σχηματίζουν σταυρό (Βλάχος 2012, Δρίβα 1963 Στεργιάδη 1984; Λυρώνης 2011). Ουσιαστικά το διάφραγμα πρόκειται για μια διαφάνεια, η οποία φέρει το σταυρόνημα και ρυθμίζεται από κάθετες βίδες με στρογγυλά περικόχλια. Με την προσαρμογή των βιδών μετατοπίζεται το σταυρόνημα προς όλες τις κατευθύνσεις, ανάλογα με τις γωνίες των αξόνων του τηλεσκοπίου (Stanley 1890). Οι βίδες που ρυθμίζουν το σταυρόνημα βρίσκονται εξωτερικά και είναι αντιδιαμετρικές μεταξύ τους πάνω και κάτω. Ένα ακόμη εξάρτημα που υπάρχει στο τηλεσκόπιο είναι ο **κοχλίας εστίασης**. Είναι ένας κο-

χλίας με στρογγυλή κεφαλή και έχει κάθετη διεύθυνση προς το τηλεσκόπιο, τοποθετείται πλάγια σε μία πλευρά του τηλεσκοπίου και είναι έμπροσθεν του διαφράγματος. Μέσω αυτού ρυθμίζεται η εστίαση του φακού, η μεγέθυνση των αντικειμένων μέσα στο φακό και επιπλέον μπορεί να προεκτείνει τον προσοφθάλμιο φακό προς τα έξω.

Όπως έχει προαναφερθεί το τηλεσκόπιο συνδέεται με το υπόλοιπο σώμα του χωροβάτη μέσω βραχιόνων ή δακτυλιοφόρων προεξοχών. Το κάτω μέρος των βραχιόνων εδράζονται πάνω σε ένα οριζόντιο επίπεδο, αυτό το **επίπεδο έδρασης (level bar)** βρίσκεται πάντοτε

κάτω από το τηλεσκόπιο και έχει και αυτό οριζόντια διεύθυνση. Κανονικά είναι ένα επίπεδο όπου στο κέντρο του δημιουργείται στρογγυλή εσοχή για να τοποθετηθεί η πυξίδα του χωροβάτη ή σφαιρική αεροστάθμη. Όμως, στα μεταγενέστερα είδη χωροβατών η πυξίδα αφαιρέθηκε και το επίπεδο πλέον λειτουργεί ως τη βάση του τηλεσκοπίου. Επιπλέον, είναι το χαμηλότερο εξάρτημα του άνω μέρους του χωροβάτη και χωρίζει το άνω από το κάτω μέρος στο όργανο.

### Κάτω μέρος χωροβάτη-Προσαρμοσμένο στον κατακόρυφο άξονα:

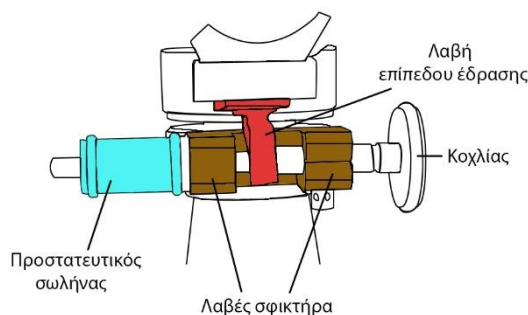
Το κάτω μέρος του χωροβάτη χαρακτηρίζεται ως αυτό που είναι προσαρμοσμένο σύμφωνα με τον κατακόρυφο άξονα και αφορά τα μέρη του οργάνου που αναπτύσσονται από την οριζόντια βάση και κάτω. Δηλαδή, το κάτω μέρος του χωροβάτη αποτελείται από τρία βασικά μέρη: τον σφιγκτήρα και τους κοχλίες του, το σώμα στήριξης και το τρικόχλιο.



Εικόνα 46 Το επίπεδο έδρασης, με τον ανασταλτικό κοχλία αριστερά και το κοχλία σύσφιξης δεξιά. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης)

Ξεκινώντας από τον σφιγκτήρα, στους Χωροβάτες γενικά παρατηρείται η ύπαρξη μόνο **οριζόντιου σφιγκτήρα**. Ο σφιγκτήρας στο μαύρο χωροβάτη περιβάλλει μέσω ενός δακτυλίου τον κάθετο άξονα και έχει δύο κοχλίες οριζόντια τοποθετημένους με την ίδια διεύθυνση. Ο οριζόντιος σφιγκτήρας σφίγγει τον κατακόρυφο άξονα και έτσι γίνεται ελεγχόμενη η περιστροφή του οργάνου. Στο μαύρο χωροβάτη ο **ανασταλτικός κοχλίας κίνησης** συγκρατείται από δύο εξωτερικές λαβές του σφιγκτήρα και μια εσωτερική λαβή του επιπέδου έδρασης. Επιπλέον το τέλος του κοχλία καλύπτεται από ένα κλειστό κυλινδρικό σωλήνα. Αυτός ο σω-

λήνας προστατεύει τον ανασταλτικό κοχλία από επικαθίσεις σκόνης και από διάβρωση που μπορεί να μειώσουν την ικανότητα περιστροφής του κοχλία. Επιπλέον, ο κύλινδρος είναι πιο εύκολος να καθαριστεί από ότι η ελικοειδή δομή του κοχλία. Σε κάποιους ανασταλτικούς κοχλίες μέσα στο κύλινδρο τοποθετείται ελατήριο, κατασκευασμένο από γερμανικό άργυρο ή λευκόχρυσο. Το ελατήριο διευκολύνει στο διαχωρισμό δυνάμεων που προκαλούν οι διαφορετικές λαβές συγκράτησης του κοχλία (Stanley 1890). Ο **κοχλίας σύσφιξης** βρίσκεται στην άλλη πλευρά του σφιγκτήρα και αποτελείται μόνο από τον κοχλία που συγκρατείται από δύο λαβές και ενώνεται μέσω αυτών στο δακτύλιο του σφιγκτήρα. Ο σφιγκτικός κοχλίας περιστρέφεται πιο εύκολα από τον ανασταλτικό,



Εικόνα 45 Ο ανασταλτικός κοχλίας στον μαύρο χωροβάτη και οι λαβές του σφιγκτήρα που τον συγκρατούν. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



εξασφαλίζοντας μεγαλύτερη σταθερότητα στο αντικείμενο και μειώνοντας την περιστροφή του τηλεσκοπίου.

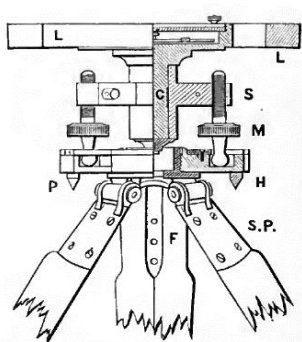


FIG. 68.—Details of Stanley's dumpy level: half elevation to left, half section to right.

Εικόνα 47 Σχεδιαστική τομή κάτω μέρους χωροβάτη. Διακρίνονται τα δύο εσωτερικά μέρη της ατράκτου. © (Stanley 1890 p.128).

Εάν και ο σφιγκτήρας εξασφαλίζει την σύσφιξη και ρύθμιση της περιστροφής του οργάνου, η σύνδεση του άνω και του κάτω μέρους εξασφαλίζεται από την άτρακτο. **Άτρακτος** ονομάζεται ουσιαστικά το σώμα στήριξης, διότι έχει ένα κωνικό και κυλινδρικό σχήμα που μέσα σε αυτό περιέχονται και άλλα εξαρτήματα. Στο ανώτερο σημείο της ατράκτου υπάρχει μια σπειροειδή απόληξη που εξασφαλίζει την εσωτερική βιδωτή ένωση με το άνω μέρος του χωροβάτη. Δηλαδή στο ανώτερο σημείο του σώματος στήριξης προσαρμόζεται η ένωση με το άνω μέρος του οργάνου. Ακριβώς από κάτω, μια κυ-

κλική οδοντωτή κεφαλή περιβάλλει τη σπειροειδή απόληξη και διευκολύνει την προσαρμογή και την συγκράτηση του άνω μέρους. Αυτή η κεφαλή, συνήθως, καλύπτεται από το σφιγκτήρα και του κοχλίες. Στη συνέχεια αναπτύσσεται το υπόλοιπο σώμα στήριξης, με κάθετη διεύθυνση και φθίνουσα την κλίση του προς τα πάνω (Stanley 1890). Το σχήμα δεν είναι απόλυτα κωνικό, καθώς δεν υπάρχει η μύτη του σχήματος. Στο εσωτερικό η άτρακτος αποτελείται από δύο μέρη που εφάπτονται μεταξύ τους. Διατηρείται η ίδια δομή κατασκευής όπως και στο θεοδόλιχο. Τα δύο μέρη είναι κατασκευασμένα σύμφωνα με τον κάθετο άξονα και το εσωτερικό αποτελεί το βασικό στήριγμα του άξονα αυτού. Το εξωτερικό μέρος μπορεί να προεκταθεί και να αποτελέσει την συνέχεια προς το τρικόχλιο.

Το **τρικόχλιο** αποτελείται, όπως και στη περίπτωση του θεοδόλιχου, από τρεις βραχίονες που οι άκρες τους φέρουν έναν κοχλία ή καθεμία. Βασική διαφορά είναι πως στο συγκεκριμένο τρικόχλιο, οι τρεις κοχλίες έχουν κυκλική κεφαλή προς τα πάνω (Στεργιάδη 1984). Οι τρεις κοχλίες του μαύρου χωροβάτη διαθέτουν μυτερές απολήξεις, ακολουθώντας τον τύπο του τρικοχλίου του Everest, οι απολήξεις αυτές εξασφαλίζουν την σύνδεση του τρικοχλίου με τον τρίποδα. Οι μυτερές απολήξεις δίνουν την δυνατότητα στο όργανο να μπορεί να στερεωθεί και μόνο του πάνω στο έδαφος ή σε ένα επίπεδο, στις περιπτώσεις όπου δεν είναι αναγκαία η χρήση τρίποδα. Ο συγκεκριμένος τύπος τρικοχλίου έχει και ορισμένα σφάλματα από κατασκευής. Συγκεκριμένα, όταν το σφίξιμο των κοχλιών είναι άνισο, τότε μπορεί να ασκηθεί τάση στο κάθετο άξονα και να προκληθούν παραμορφώσεις και φθορές στα εξαρτήματα του (Stanley 1890).



Εικόνα 48 Το κάτω μέρος του μαύρου χωροβάτη στηρίζεται στο τρικόχλιο. © Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης)

#### 4.1.3. Μικρός χωροβάτης:



Εικόνα 49 Τα μέρη που απαρτίζουν το "μικρό χωροβάτη", ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

Ο Μικρός χωροβάτης παρομοιάζει τυπολογικά με τα προηγούμενα επιστημονικά όργανα. Αποτελείται από δύο βασικά μέρη, το άνω και το κάτω μέρος. Στο άνω μέρος του οργάνου υπάρχει σε οριζόντια διάταξη το **τηλεσκόπιο** που σχηματίζεται από μια κυλινδρική ένωση του προσοφθάλμιου και του αντικειμενικού φακού. Επιπλέον, όπως προαναφέρθηκε ανάμεσα στον προσοφθάλμιο φακό και το σταυρόνημα υπάρχει ενός ημιδιάφανος φακός. Κάτω από τον προσοφθάλμιο φακό του τηλεσκοπίου τοποθετείται η **σωληνωτή αεροστάθμη** του οργάνου. Η αεροστάθμη βρίσκεται μέσα σε ένα ορειχάλκινο σωλήνα, ο οποίος είναι βιδωμένος πάνω στο σώμα του τηλεσκοπίου. Στο κέντρο του τηλεσκοπίου τοποθετείται ο **βραχίονας** του χωροβάτη, ο οποίος πρόκειται για ένα μόνο κατακόρυφο στήριγμα που ενώνει το άνω με το κάτω μέρος. Ο βραχίονας συγκρατεί το τηλεσκόπιο έχοντας άνοιγμα σχήματος «Υ» στο άνω άκρο του. Από το βραχίονα προεξέχει στο μέσο του ένα οριζόντιο επίπεδο, όπου στο άκρο του τοποθετείται ένας **κοχλίας** που βιδώνει αυτό το επίπεδο με τον αντικειμενικό φακό και στο μήκος του υπάρχει ελατήριο. Πιθανότατα, η περιστροφή του κοχλίου φέρνει το επίπεδο μέχρι ενός σημείου κοντά στον αντικειμενικό φακό και δημιουργεί μια στιβαρή σύνδεση, με αποτέλεσμα να ελέγχεται η κατακόρυφη κίνηση του τηλεσκοπίου. Δίπλα στην κεφαλή του

κοχλία προεξέχει μια κάθετη **λαβή** από το επίπεδο, για την περιστροφή του οργάνου σύμφωνα με τον κατακόρυφο άξονα.

Το κάτω μέρος του μικρού χωροβάτη συνεχίζει ως προέκταση του άνω μέρους και συνδέεται μέσω του βραχίονα, όπου βιδώνει σε αυτόν εσωτερικά. Ουσιαστικά το κάτω μέρος του μικρού χωροβάτη αποτελεί ένα ενιαίο κομμάτι, όπου συνοψίζει τις λειτουργίες του τρικοχλίου. Το βασικό του σώμα αποτελείται στο μέσο του από ένα παχύ κυκλικό κοχλία, τον **κοχλία βάσης** που εξυπηρετεί την προσαρμογή της καθετότητας του οργάνου. Από κάτω, μέσα από τη βάση, προεξέχει ένας πείρος και σχηματίζονται δύο λεπτές οριζόντιες **λαβές**, με την περιστροφή των οποίων βιδώνεται το εξάρτημα στον τρίποδα ή σε οποιαδήποτε άλλη βάση. Στο τέλος του εξαρτήματος υπάρχει μια σπειροειδής απόληξη, ο **ατέρμονας κοχλίας**, ώστε να ενωθεί το όργανο με τη βάση του.

### Χαρακτηριστικά «Μικρού χωροβάτη»:

Στο αντικείμενο, το οποίο έχει καταγραφεί ως μικρός χωροβάτης, αναγράφεται η ονομασία της εταιρίας κατασκευής πάνω από την κυκλική του βάση. Μέσω αναζήτησης της επιγραφής «*GEORG BUTESCHON BAHRENFELB HAMBURG*» ταυτοποιήθηκε η κατασκευαστική εταιρία και η τοποθεσία στην οποία δημιουργήθηκε το αντικείμενο. Η αναζήτηση της εταιρίας απέφερε αρκετές πληροφορίες για το όργανο, την χρήση του και την ιστορία του.

Συγκεκριμένα, η εταιρία Georg Butenschon ιδρύθηκε το 1886 από τον ομώνυμο εφευρέτη και από την ίδρυση της είχε ως υπηρεσία την κατασκευή επιστημονικών οργάνων μέτρησης, προσαρμοσμένων στις γνώσεις γεωδαισίας της εποχής. Η εταιρία πέτυχε την κατασκευή ενός φορητού οργάνου οριζοντίωσης, πιθανότατα χωροβάτη. Η δημιουργία του οργάνου πραγματοποιήθηκε τον Φεβρουάριο του 1886 και βρήκε ιδιαίτερη αποδοχή και αναγνώριση. Πρόκειται για το πρώτο όργανο παραγωγής της εταιρίας και μετά την επιτυχία του η εταιρία επεκτάθηκε και στη κατασκευή άλλων τοπογραφικών οργάνων. Το αντικείμενο προσδιορίζεται ως χωροβάτης μικρού μεγέθους, ο οποίος εξυπηρετεί στην εύκολη μετακίνηση του στην ύπαιθρο. Η δύσκολη μεταφορά επιστημονικών οργάνων στο ανασκαφικό περιβάλλον αποτελούσε σύνηθες πρόβλημα των αρχαιολόγων της εποχής, όμως το μικρός μέγεθος του συγκεκριμένου οργάνου το έκανε ιδιαίτερα φορητό σε όλα τα μέρη. Ανεξάρτητα από την φορητή του ιδιότητα, το όργανο φέρει μια ακόμα καινοτομία που σχετίζεται με την οπτική του λειτουργία. Ένας προσοφθάλμιος φακός, στον οποίο είναι προσαρμοσμένο σταυρόνημα μέσω



Εικόνα 50 Η επιγραφή της κατασκευαστικής εταιρίας επάνω στη βάση του αντικειμένου. Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 52 Διαφημιστικό της εταιρίας σε περιοδικό κατασκευαστικών το 1923. © (Heer n.d. p.7).

ενός ημιδιαφανούς φακού, βοήθα τον χρήστη να παρατηρεί και να κεντράρει καλύτερα το στόχο (Remmert *n.d.*). Δηλαδή, ο κατασκευαστής είχε τροποποιήσει το εσωτερικό του τηλεσκοπίου του οργάνου, τοποθετώντας έναν ημιδιαφανή φακό μεταξύ προσοφθάλμιου φακού και του σταυρονήματος, με αποτέλεσμα ο χρήστης να παρατηρεί από το φακό ταυτόχρονα το σταυρόνημα και το αντικείμενο παρατήρησης (Heimatverein Grevenbruck Ev 2022) .

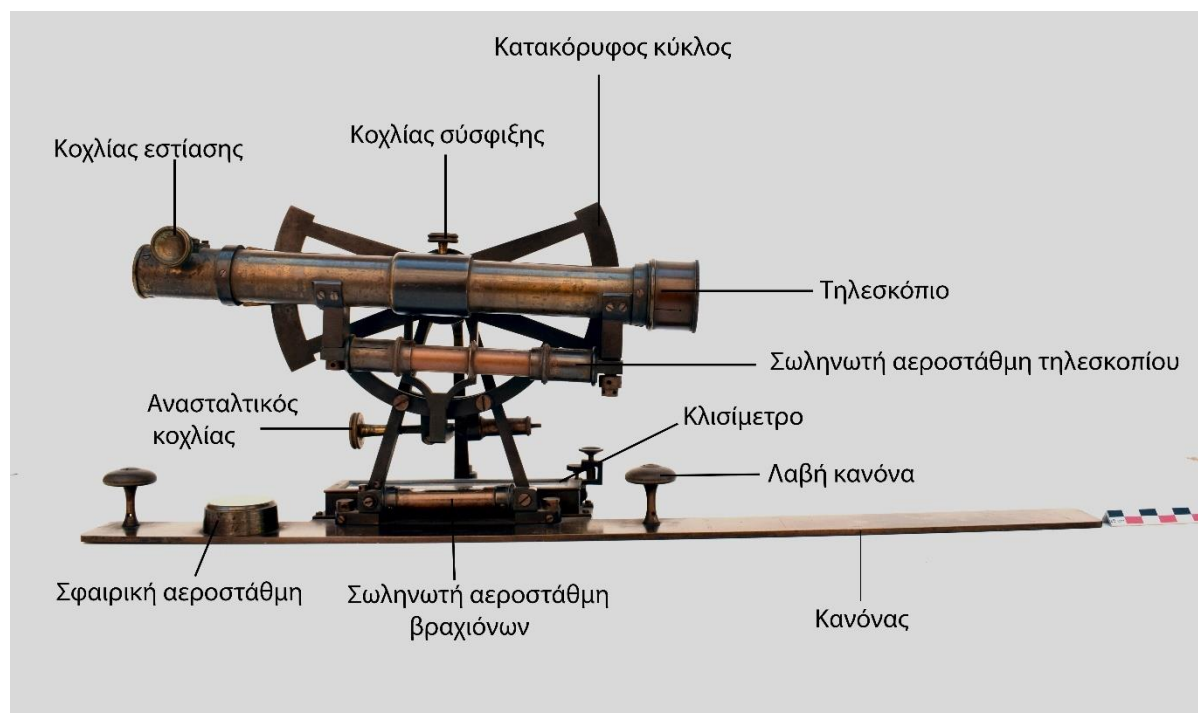


Εικόνα 50 Το αντικείμενο όπως εκτίθεται σε άλλες συλλογές. © Heimatverein Grevenbruck eV (2022)  
<http://www.heimatverein-grevenbrueck.de/Archive/243>



Εικόνα 51 Το αντικείμενο από τη συλλογή του Γ.Α.Ι.. Απουσιάζει η ύπαρξη ενός τρίτου στελέχους. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

#### 4.1.4. Διόπτρα μετροτράπεζας:



Εικόνα 53 Τα μέρη σύνθεσης της διόπτρας μετροτράπεζας (telescoping alidade), ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

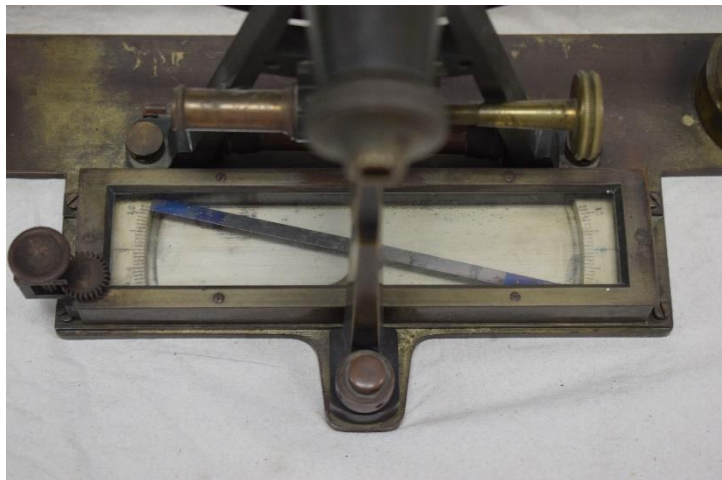
#### Κάτω μέρος Διόπτρας μετροτράπεζας:

Η τηλεσκοπική διόπτρα μετροτράπεζας ουσιαστικά αποτελείται από δύο βασικά μέρη, το άνω μέρος που πρόκειται για το τηλεσκόπιο και τα εξαρτήματα της διόπτρας και το κάτω μέρος που είναι ένας επιμήκης κανόνας και τα στηρίγματα του οργάνου. Ο **κανόνας** είναι ουσιαστικά ένας χάρακας και ως εξάρτημα του οργάνου διαφοροποιείται από τα υπόλοιπα, καθώς πέρα από όργανο μέτρησης γίνεται και όργανο σχεδίασης. Ο κανόνας αποτελεί το πιο βασικό μέρος του οργάνου, ώστε πολλές φορές το όργανο να αποκαλείται κανόνας με τηλεσκόπιο. Το μήκος του κανόνα συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 50-70 cm. Ο κανόνας της διόπτρας πρέπει να έχει αρκετό μήκος και να είναι σε απόλυτη ευθεία, ώστε να εξυπηρετεί την σχεδίαση γραμμών. Στην πράξη, οι κανόνες δεν ξεπερνούν τα 65 cm, μεγαλύτερα όργανα δεν είναι ιδιαίτερα φορητά και δεν είναι εύχρηστα πάνω στη μετροτράπεζα (Wilson 1902). Στους κανόνες της διόπτρας στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αι. συνηθιζόταν το κάτω μέρος τους να είναι επικαλυμμένο με νικέλιο (Wainwright 1915). Τέλος, στο άνω μέρος του κανόνα διακρίνονται αναγραφόμενες τιμές και σχεδιαγράμματα. Επάνω και δίπλα από τον κανόνα προσαρμόζονται επιπλέον εξαρτήματα για την διευκόλυνση της λειτουργίας του. Αρχικά, ο κανόνας φέρει δύο κάθετες **λαβές** με κυκλικό άκρο, ώστε ο χρήστης να μπορεί να μεταφέρει την τηλεσκοπική διόπτρα με ευκολία. Επιπλέον, στο ένα άκρο του κανόνα πριν τη διόπτρα τοποθετείται μια σφαιρική αεροστάθμη. Η **σφαιρική αεροστάθμη** πρόκειται, όπως έχει προαναφερθεί, για ένα κυλινδρικό δοχείο, όπου στο επάνω μέρος είναι τορνευμένο σε σχήμα σφαίρας, πληρωμένο εσωτερικά με υγρό και από επάνω σφραγισμένο με κεκαμμένη υάλινη πλάκα και όλο αυτό το εξάρτημα εδράζεται σε ένα επίπεδο (Δρίβα 1963; Στεργιάδη 1984). Στο δοχείο έχει δοθεί ελάχιστος εναπομείναν

κενός χώρος για τη δημιουργία φυσαλίδας. Στην υάλινη πλάκα είναι χαραγμένοι ομόκεντροι κύκλοι, ώστε όταν η φυσαλίδα εισέρχεται στο κοινό τους κέντρο, τότε το όργανο να έχει οριζοντιωθεί. Η συγκεκριμένη σφαιρική αεροστάθμη εξυπηρετεί τη χονδρική οριζοντίωση του κανόνα, όταν αυτός εφάπτεται στη μετροτράπεζα. Η σφαιρική αεροστάθμη προσαρμόζεται στο επίπεδο του κανόνα μέσω τριών βιδών. Τέλος, παράλληλα με το κανόνα, κάτω από τα στηρίγματα της διόπτρας, υπάρχει ένα **κλισίμετρο**. Το κλισίμετρο αποτελεί σημαντικό εξάρτημα του οργάνου και πάντα σε όλους τους τύπους του το συνοδεύει. Αποτελείται από μία επίμηκη ορειχάλκινη ορθογώνια θήκη, ενώ μέσα στη θήκη βρίσκεται μια μαγνητική βελόνα με διπλές ακμές στα άκρα της, με τέτοια κατασκευή ώστε να υπολογίζονται κλίσεις από 0°-15°. Η βελόνα συγκρατείται στο κέντρο από μια βίδα που ενώνεται με τη βάση της θήκης. Το κλισίμετρο είναι βιδωμένο μέσω τεσσάρων βιδών σε μία προέκταση του χάρακα (Μαυροκορδάτου 1888; (Wainwright 1915). Στη μία πλευρά της θήκης του κλισιμέτρου τοποθετούνται δύο κοχλίες που συνδέονται μέσω των αξόνων τους και η κίνηση του ενός προσφέρει κίνηση στον άλλον. Οι συγκεκριμένοι κοχλίες προσφέρουν τη ρύθμιση της βελόνας του κλισιμέτρου και την προσαρμογή της σε περίπτωση απόκλισής της. Χρησιμεύει στον παραλληλισμό της μετροτράπεζας σύμφωνα με μεγάλες πλευρές. Όταν έχει παραλληλιστεί η μετροτράπεζα, το κλισίμετρο ρυθμίζεται μέσω των κοχλιών, ώστε η μαγνητική βελόνα να αντιστοιχηθεί ακριβώς προς τη χαραγή που βρίσκεται επί του τμήματος της άντυγας του οργάνου. Επιπλέον εξυπηρετεί και ως πυξίδα, για να προσανατολίζεται η διόπτρα και η μετροτράπεζα πάντα σε σχέση με το μαγνητικό βορρά. Όταν χρησιμοποιείται η διόπτρα, πρέπει το βόρειο άκρο της βελόνας να κατευθύνετε προς ένα σημείο Ο (Στεργιάδη 1984). Το σημείο Ο αναγράφεται συνήθως μαζί με τις τιμές των μοιρών.

#### **Άνω μέρος Διόπτρας μετροτράπεζας:**

Τα υπόλοιπα μέρη του οργάνου και ολόκληρη η διόπτρα τοποθετείται πάνω από τον κανόνα, διαμορφώνοντας το άνω μέρος του οργάνου. Αρχικά, η στήριξη της διόπτρας επιτυγχάνεται μέσω ενός συνδυασμού στηριγμάτων που συνδέουν όλα τα επιμέρους μέρη του οργάνου. Αρχικά, η στήριξη γίνεται μέσω δύο εσωτερικών **βραχιόνων** που σχηματίζουν τρίγωνο και παρομοιάζουν τα στηρίγματα του θεοδόλιχου. Στη βάση αυτών των δύο κοινών στηριγμάτων τοποθετείται μια **μικρή σωληνωτή αεροστάθμη**, ώστε να ελεγχθεί η καθετότητα των βραχιόνων. Επιπλέον, υπάρχει και ένα εξωτερικός κάθετος βραχίονας που είναι συνδεδεμένος μέσω ενός κοχλίου με περικόχλιο στον κανόνα, αλλά στο άνω του μέρος έρχεται και συνδέεται οριζόντια με τον άξονα περιστροφής της διόπτρας (Wainwright 1915). Η τοποθέτηση της τηλεσκοπικής διόπτρας επάνω στον κανόνα διαφέρει ανά χώρα. Στο συγκεκριμένο όργανο, το τηλεσκόπιο



Εικόνα 54 Το κλισίμετρο δίπλα από τον κανόνα και ανάμεσα από τους βραχίονες. Αριστερά διακρίνονται οι κοχλίες ρύθμισης της βελόνας. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

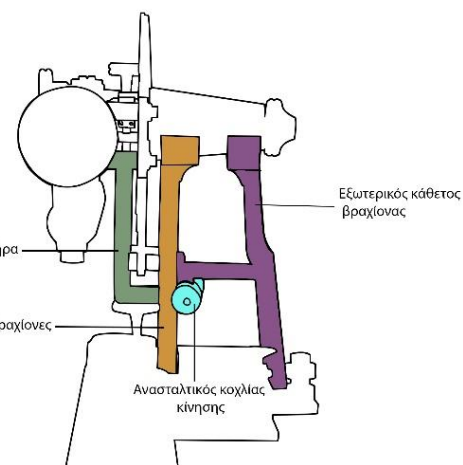
τοποθετείται προς το ένα άκρο του χάρακα. Αυτή η τοποθέτηση παρέχει ένα προτέρημα, την πιο εύκολη ανάγνωση του κανόνα. Στους γερμανικούς τύπους, παρατηρούνται τροποποιήσεις στους βραχίονες του οργάνου, ώστε να φέρουν τον οριζόντιο άξονα παράλληλο με τη κίνηση του κανόνα του οργάνου, με αποτέλεσμα το τηλεσκόπιο να κινείται και στη κλίση του αζιμούθιου. Η συγκεκριμένη ρύθμιση διευκολύνει την κίνηση του οργάνου πάνω στην επιφάνεια του χαρτιού στη μετροτράπεζα, όσο ανώμαλη και αν είναι η επιφάνεια του (Stanley 1890). Αυτό έχει μεγάλη σημασία, εφόσον η χαρτογράφηση γίνεται στο πεδίο και είναι πολύ πιθανό το χαρτί και η μετροτράπεζα να παραμορφωθούν, να προκληθούν ανομοιογένειες στην επιφάνεια τους και αυξομειώσεις στον όγκο τους, καθώς το χαρτί χαρτογράφησης και το ξύλο κατασκευής της μετροτράπεζας αποτελούν το επίπεδο έδρασης της διόπτρας. Η απουσία ομαλής επιφάνειας μπορεί να προκαλέσει απόκλιση απόλυτης οριζοντίωσης του οργάνου. Οπότε χάρη στις τροποποιήσεις στα στηρίγματα του, το όργανο μπορεί να παραμένει παράλληλο στον οριζόντιο άξονα.

Η συγκράτηση της διόπτρας επιτυγχάνεται μέσω και ενός επιπλέον βραχίονα, ο οποίος τοποθετείται στο εσωτερικό του οργάνου, μεταξύ της σωληνωτής αεροστάθμης και των δύο τριγωνικών στηριγμάτων. Αυτός ο βραχίονας ουσιαστικά αποτελεί μέρος του σφιγκτήρα της



Εικόνα 55 Ο ανασταλτικός κοχλίας με το κύλινδρο ελατηρίου, όπως τοποθετείται ανάμεσα των βραχιόνων. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

διόπτρας. Σαν **σφιγκτήρας** περιέχει δύο κοχλίες με κοινή διάταξη, όπως παρατηρείται στον κατακόρυφο κύκλο του υεοδόλιχου. Τοποθετείται ένας **κατακόρυφος κοχλίας σύσφιξης** στο ανώτερο μέρος του εξαρτήματος, ενώ ο **ανασταλτικός κοχλίας κίνησης** και εδώ έχει οριζόντια διεύθυνση και είναι παράλληλος με την κατεύθυνση του τηλεσκοπίου. Ο κοχλίας σύσφιξης εισέρχεται στο άνω



Εικόνα 56 Σχεδιαστική αναπαράσταση των βραχιόνων που συγκρατούν την διόπτρα.

σιδερένιο πύρο, ο οποίος εισέρχεται μέσα στο κυλινδρικό ορειχάλκινο σωλήνα που εσωτερικά περιέχει ελατήριο. Όσο σφίγγεται ο ανασταλτικός κοχλίας, τόσο ο πυρός εισέρχεται εσωτερικά του σωλήνα και πιέζει το ελατήριο. Το συγκεκριμένο σύστημα σφικτήρα διαφοροποιείται από τους υπόλοιπους τύπους. Η διαφορά είναι ότι το κυκλικό μέρος καταλήγει σε δύο λεπτούς βραχίονες, οι οποίοι συγκρατούν τον σφικτήρα περίπου σε σχήμα «Υ». Στο τέλος ο σφικτήρας καταλήγει σε ένα πλέον ενιαίο βραχίονα, ο οποίος σχηματίζει ένα εσωτερικό «Γ» και συγκρατεί τον ανασταλτικό κοχλία. Από την άλλη πλευρά, ο ανασταλτικός κοχλίας συγκρατείται και από τον εξωτερικό κάθετο βραχίονα μέσω μιας προέκτασης του που έρχεται και εφάπτεται κάθετα με τον κοχλία. Συνοπτικά, η στήριξη της δίοπτρας επιτυγχάνεται μέσω τριών συνολικά μερών βραχιόνων.

1. Έναν εξωτερικό κάθετο βραχίονα που ενώνει τον εξωτερικό άξονα περιστροφής με τον ανασταλτικό κοχλία.
2. Δύο εσωτερικούς, ενδιάμεσους βραχίονες που στηρίζονται στον κανόνα και καταλήγουν να στηρίζουν την άτρακτο του άξονα περιστροφής με «Υ» λαβές, σχηματίζοντας τρίγωνο.
3. Τέλος, το σφικτήρα που το άνω μέρος του συνδέεται με τον άξονα περιστροφής και μία κάτω προέκταση που λειτουργεί σαν βραχίονας και συγκρατεί τον ανασταλτικό κοχλία.

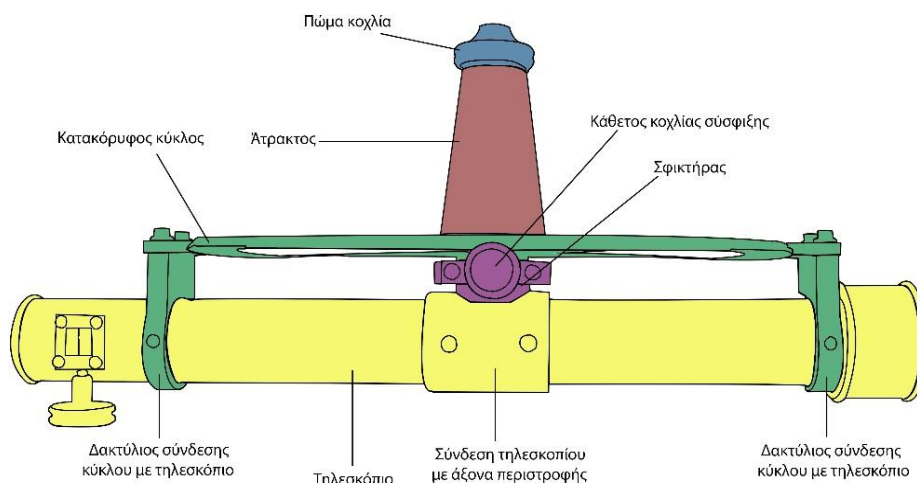
Ουσιαστικά, όλο το σύστημα της τηλεσκοπικής δίοπτρας συγκρατείται από μηχανικές ενώσεις με βραχίονες που συνδέουν τον κανόνα με τον άξονα περιστροφής, ενώνουν δηλαδή το κάτω με το άνω μέρος, αλλά συνδέονται και μεταξύ τους.

Στο ανώτερο μέρος του οργάνου τοποθετείται ο **άξονας περιστροφής**. Αυτός ο άξονας, όπως και στον θεοδόλιχο, είναι τοποθετημένος ανάλογα με τον οριζόντιο άξονα και σε αυτόν συγκρατούνται και ενώνονται πολλά εξαρτήματα του άνω μέρους. Από εξωτερικά, υπάρχει ένα **πώμα κοχλία**, το οποίο συγκρατεί τον εσωτερικό μηχανισμό των αξόνων που συγκρατούν και κινούν τα εξαρτήματα. Αυτοί οι άξονες τοποθετούνται εσωτερικά στην **άτρακτο**. Η άτρακτος πρόκειται για ένα ενιαίο περίβλημα σε σχήμα κόλουρου κώνου. Όπως προαναφέρθηκε, στο εσωτερικό της ατράκτου περιέχονται άξονες παρόμοιου σχήματος, ένας εσωτερικός και ένας εξωτερικός που περιστρέφουν τον κατακόρυφο κύκλο και το τηλεσκόπιο. Στο τέλος της ατράκτου βρίσκεται ο **κατακόρυφος κύκλος** που στο συγκεκριμένο όργανο δεν έχει ακριβώς κυκλικό σχήμα. Ουσιαστικά το σχήμα του πρόκειται για τις μεσαίες καμπύλες ενός κύκλου με το κάτω ημικύκλιο να συνεχίζει σε μικρότερη κλίμακα. Τα ημικύκλια συνδέονται μέσω δύο χιαστί μεταλλικών αξόνων. Όπως στους κύκλους του θεοδόλιχου, έτσι και εδώ αναγράφονται τιμές και παράλληλα με τον κύκλο και από τις δύο πλευρές υπάρχει βερνιέρος όπου εξυπηρετεί στον υπολογισμό της κλίσης. Οι βερνιέροι τοποθετούνται αντιδιαμετρικά στα άκρα του κύκλου και ενώνονται μέσω προεκτάσεων με το τηλεσκόπιο. Αυτό σημαίνει πως οποιαδήποτε κίνηση γίνεται στον οριζόντιο άξονα του τηλεσκοπίου, ανάλογα θα κινηθεί και ο κατακόρυφος κύκλος. Στη συνέχεια του άξονα περιστροφής και μετά τον κάθετο κύκλο βρίσκεται ο **σφικτήρας**. Ο σφικτήρας (έχει αναλυθεί και παραπάνω) αποτελείται από έναν κυκλικό δακτύλιο, ο οποίος συγκρατείται με τον άξονα μέσω δύο βιδών και μέσω του **κάθετου κοχλία σύσφιξης**. Οι κάθετες προεκτάσεις του σφικτήρα αποτελούνται από δύο μεταλλικούς βραχίονες που σχηματίζουν «Υ» και καταλήγουν σε μια εσωτερική προέκταση σχήματος «Γ», η οποία εξωτερικά ενώνεται με τον ανασταλτικό κοχλία κίνησης. Τέλος, στον άξονα περιστροφής ο σφικτήρας ενώνεται με το κεντρικό κυλινδρικό δακτύλιο του τηλεσκοπίου. Ο



κυλινδρικός δακτύλιος επιτυγχάνει τη κεντρική σύνδεση του τηλεσκοπίου με τον άξονα περιστροφής, αν και ένωση με τα εξαρτήματα του άξονα υπάρχει και μέσω των προεκτάσεων των βερνιέρων που συνδέονται με μικρότερους ακριανούς δακτυλίου του τηλεσκοπίου.

Το συγκεκριμένο όργανο διαθέτει και σκοπευτικό τηλεσκόπιο, καθιστώντας το όργανο σκοπευτική τηλεσκοπική διόπτρα (Μαυροκορδάτου 1888). Το **τηλεσκόπιο** της διόπτρας τοποθετείται στο ανώτερο μέρος του οργάνου, έχει κυλινδρικό σχήμα και το βάρος του είναι κεντραρισμένο σύμφωνα με το όργανο. Το τηλεσκόπιο μπορεί να περιστρέφεται μέσα στον κύλινδρο κατά 180°, γεγονός που εξασφαλίζει καλύτερη προσαρμογή του σταυρονήματος στον σκοπευτικό άξονα. Κοντά στο άκρο του προσοφθάλμιου φακού τοποθετείται ο **κοχλίας εστίασης**, μέσω του οποίου ρυθμίζεται το διάφραγμα για την σωστή ρύθμιση του σταυρονήματος,



Εικόνα 57 Σχεδιαστική αποτύπωση του άξονα περιστροφής στη διόπτρα μετροτράπεζας.

αλλά επίσης μπορεί να επιμηκύνει ή να «μαζέψει» τον προσοφθάλμιο φακό. Στο κάτω μέρος του τηλεσκοπίου υπάρχουν δύο στηρίγματα που συγκρατούν το τηλεσκόπιο σε σχήμα «Υ», αυτά τα στηρίγματα ενώνουν τη σωληνωτή αεροστάθμη με το τηλεσκόπιο (Wilson 1902 p.157). Αυτή η σύνδεση διατηρείται ξεχωριστή από όλο το υπόλοιπο όργανο. Η **σωληνωτή αεροστάθμη** εξυπηρετεί τον υπολογισμό με ακρίβεια της οριζοντίωσης του τηλεσκοπίου. Όπως προαναφέρθηκε, το τηλεσκόπιο στο συγκεκριμένο όργανο δεν είναι ανεξάρτητο, αλλά ενώνεται μέσω συνδέσμων με τον κατακόρυφο κύκλο και γενικά όλο τον άξονα περιστροφής. Οπότε, οποιαδήποτε μετατόπιση του τηλεσκοπίου πραγματοποιείται, την ίδια κλίση αποκτά και ο κατακόρυφος κύκλος.

Συνοπτικά, στη διόπτρα μετροτράπεζας εντοπίζονται τρεις συνολικά αεροστάθμες. Η καθεμία εξασφαλίζει την οριζοντίωση ξεχωριστού εξαρτήματος του οργάνου, οπότε λειτουργούν ανεξάρτητα για τη συνολική όμως οριζοντίωση της διόπτρας.

- 1) Σφαιρική αεροστάθμη για την οριζοντίωση του κανόνα.
- 2) Μικρή σωληνωτή αεροστάθμη για την οριζοντίωση των βραχιόνων.
- 3) Μεγάλη σωληνωτή αεροστάθμη για την οριζοντίωση του τηλεσκοπίου.

## 4.2. Τεχνολογία κατασκευής οργάνων:

### 4.2.1. Υλικά και τεχνικές

Ο χαλκός είναι ένα μέταλλο με χρώμα ροζ ή κοκκινωπό (σολομού) με φωτεινή μεταλλική λάμψη. Είναι εύπλαστος, όλκιμος και καλός αγωγός της θερμότητας και της ηλεκτρικής ενέργειας, και αυτός είναι ένας από τους κύριους λόγους για την εκτεταμένη χρήση του από την αρχαιότητα έως σήμερα. Όπως το ασήμι και ο χρυσός, ο χαλκός είναι ένα μέταλλο κυβικής κρυσταλλικής δομής. Τα σημαντικότερα κράματά του είναι με αρσενικό, κασσίτερο, αντιμόνιο και ψευδάργυρο και σε αυτά τα κράματα συχνά έχουν προσθέσει μόλυβδο. Μεγάλα κοιτάσματα χαλκού βρίσκονται τώρα στις Ηνωμένες Πολιτείες, τη Χιλή, τη Ζάμπια, το Ζαΐρ, το Περού και τον Καναδά (Scott 2002).

### Ορείχαλκος

Πρόκειται για ένα κράμα χαλκού και ψευδάργυρου και η χρήση του εφαρμόζεται στη κατασκευή ποικίλων αντικειμένων. Οι λόγοι για την ευρεία χρήση του κράματος είναι το χαμηλό κόστος, συγκριτικά με τον μπρούντζο, και οι ισχυρές μηχανικές αντοχές, καθώς και η υψηλότερη αντοχή στη διάβρωση. Ο ορείχαλκος είναι ένα ιδιαίτερα εύχρηστο μέταλλο και προσαρμόσιμο. Μπορεί με ευκολία να χυτευθεί σε διάφορα σχήματα και μεγέθη και μπορεί να επεξεργασθεί η τελική του επιφάνεια μηχανικώς. Επιπλέον, είναι δυνατή η σφυρηλάτηση του για την δημιουργία αγγείων κ.α. (Michels 2006). Ο ορείχαλκος είναι ένα παραδοσιακό και ιδιαίτερα συχνό μέταλλο κατασκευής επιστημονικών οργάνων ακρίβειας (Deck 2016). Ο ορείχαλκος βρίσκεται σε δύο μορφές κράματος, τους ερυθρούς ορείχαλκους και τους κίτρινους. Οι κίτρινοι ορείχαλκοι, συγκεκριμένα, έχουν ιδιαίτερο χαμηλό κόστος σε σύγκριση με τους ερυθρούς ορείχαλκους, καθώς η συγκέντρωση ψευδαργύρου στο κράμα είναι υψηλότερη και φτάνει σε 20-39%. Ο κίτρινος ορείχαλκος έχει ένα έντονο κίτρινο χρώμα, το οποίο μπορεί να στιλβωθεί, αποδίδοντας εξαιρετική στιλπνότητα στη μεταλλική επιφάνεια. Αυτή η λαμπερή επιφάνεια του ορείχαλκου, τον καθιστά ιδιαίτερα επιθυμητό στη χρήση κατασκευής διακοσμητικών και επιστημονικών αντικειμένων (Michels 2006).

### 4.2.2. Χύτευση σε άμμο

Η χύτευση σε άμμο πρόκειται για μια παραδοσιακή μέθοδο χύτευσης, καθώς υπάρχει μια διαχρονικότητα στην εφαρμογή της και χρησιμοποιήθηκε ιδιαίτερα και κατά την περίοδο της βιομηχανικής επανάστασης για την παραγωγή οργάνων ακριβείας. Η χύτευση σε άμμο κυριαρχεί και στη σημερινή βιομηχανία, αποτελώντας μια από τις βασικές μεθόδους παραγωγής χυτών αντικειμένων και εξαρτημάτων μηχανημάτων. Η χρήση της παρατηρείται να κυριαρχεί στην χύτευση χάλκινων κυρίως υλικών, αλλά έχει μεγάλη εφαρμογή και στα υλικά από σίδηρο και αργίλιο. Το ιδιαίτερα χαμηλό κόστος, η ακρίβεια στην αντιγραφή αντικειμένων, η ευκολία προσαρμογής και η υψηλή ανθεκτικότητα σε υψηλές θερμοκρασίες καθιστούν την άμμο ένα ιδιαίτερα επιθυμητό υλικό για κατασκευή καλουπιών [(Copper Development Association Inc.

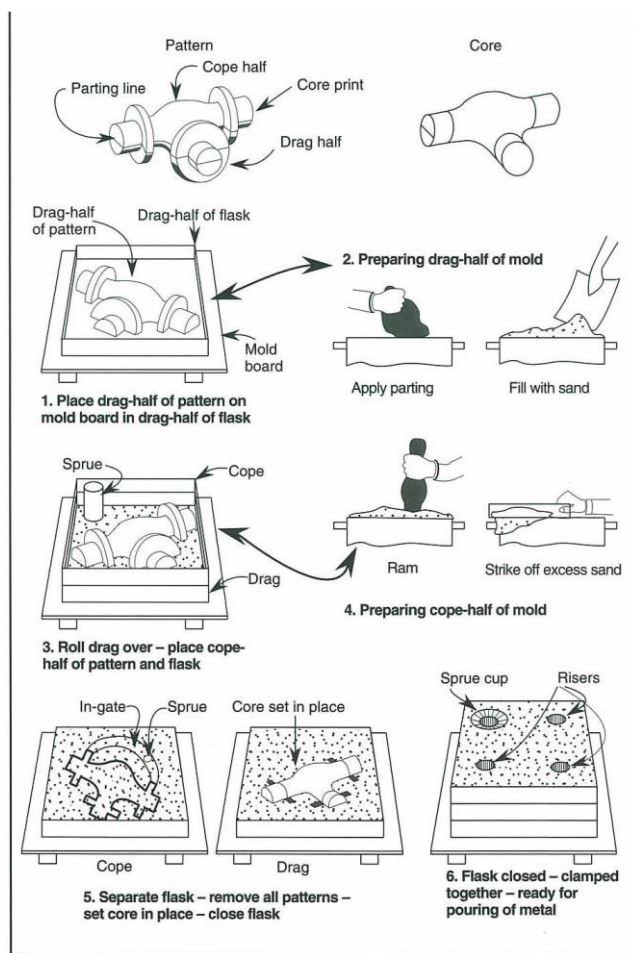
1994), (Λούκα και Πατσαλοσαββής 2008), (Khan *et al.* 2017)]. Η μέθοδος χρησιμοποιείται για τη παραγωγή ποικίλων διαστάσεων αντικείμενων, τα οποία κυμαίνονται από υλικά μερικών κιλών μέχρι τόνων. Η τεχνική είναι προσαρμόσιμη για περίπλοκα και απλοϊκά σχήματα και σε αυτή μπορούν να χυτευθούν όλα τα κράματα χαλκού συμπεριλαμβανομένου και του ορείχαλκου. Η χύτευση σε άμμο παρουσιάζει και ένα αξιοσημείωτο μειονέκτημα όσον αφορά τα σχήματα των προϊόντων. Μέσω της συγκεκριμένης τεχνικής καθίσταται δύσκολη η αποτύπωση επικλινών γωνιών που υπάρχουν σε επίπεδες επιφάνειες κάθετες προς το σημείο χωρισμού της μήτρας (Copper Development Association Inc. 1994).

Σύμφωνα με αυτή την μέθοδο το βασικό υλικό είναι η άμμος, η οποία χρησιμοποιείται για την κατασκευή της μήτρας (καλούπι). Με την κατάλληλη επιλογή ειδικών άμμων για κατασκευή καλουπιών και την κατάλληλη δεξιότητα και τεχνική, όλα τα σχήματα μπορούν να παραχθούν. Ανάλογα την κατασκευαστική εταιρία και τον τεχνίτη, στην άμμο μπορούν να τοποθετηθούν διάφορα πρόσθετα για να ενισχυθούν οι ιδιότητες του υλικού και η αντοχή στην θερμότητα. Επιπλέον στοιχεία που τοποθετούνται στην άμμο, η οποία είναι κυρίως διοξείδιο του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ), είναι η άργιλος (Al) που χρησιμοποιείται ως συνδετικό υλικό και το νερό ( $\text{H}_2\text{O}$ ) (Λούκα και Πατσαλοσαββής 2008). Γενικά, η ιδανική σύσταση μίας κατάλληλης άμμου για χύτευση μετάλλων αποτελείται από λεπτόκοκκα οξειδία πυριτίου, που είναι και τα βασικά στοιχεία σύστασης της άμμου, με 8-12% αργιλοπυριτικά (πηλό), μαυρόχωμα χωρίς εγκλείσματα λίθων και με μικρή περιεκτικότητα οργανικών καταλοίπων από αποδομημένα φυτά. Φυσική άμμος με περιεκτικότητα λιγότερη του 5% σε άργιλο έχει λιγότερη συνεκτικότητα και χρησιμοποιείται ως βάση για σύνθετες μήτρες. Τα ορυκτά τα οποία αποτελούν την άργιλο, κυρίως ο μοντμοριλλονίτης και ο καολίνης, είναι ιδιαίτερα υδρόφιλα και απορροφούν το νερό και σχηματίζουν ένα φυσικό σύστημα ένωσης, με αποτέλεσμα να διατηρούν τα μόρια της

άμμου συνενωμένα. Η κατάλληλη πρόσμιξη αργίλου στην άμμο με προσθήκη νερού δίνει μια πιο συνεκτική ύλη με ελαφρώς κολλώδη υφή. Αυτά καθορίζουν και αποδίδουν στην άμμο πλαστικότητα και γίνεται προσαρμόσιμη για να αντιγράψει το αρνητικό των αντικειμένων που έχουν επιλεγεί προς χύτευση. Η παραγωγή μια τέτοιας άμμου αποδίδει ένα γκριζό-πράσινο χρώμα, για αυτό το λόγο η βασική άμμος χύτευσης αποκαλείται και εν συντομία 'πράσινη άμμος' [(Ammen 1979), (Copper Development Association Inc. 1994)].

Η διαδικασία χύτευσης σε άμμο αποτελείται από ορισμένα στάδια. Αρχικό στάδιο είναι η κατασκευή ενός πρωτότυπου (μοντέλου), το οποίο έχει το σχήμα του αντικειμένου που θα αντιγραφεί. Το υλικό κατασκευής των πρωτότυπων στην συγκεκριμένη μέθοδο χύτευσης είναι ξύλο, μέταλλο, συνθετικές ρητίνες, γύψος κ.α. Το ξύλο και η γύψος είναι φθηνά υλικά και εξυπηρετούν την διαδικασία όσον αφορά λίγες χυτεύσεις, καθώς με κάθε χύτευση στο πρωτότυπο προκαλούνται μικρό φθορές. Τα μεταλλικά πρωτότυπα έχουν μεγαλύτερο κόστος και

φτιάχνονται συνήθως από αργίλιο ή μπρούντζο, ενδείκνυνται για πολλαπλές χυτεύσεις, καθώς δύσκολα αλλοιώνονται (Λούκα και Πατσαλοσαββής 2008). Ύστερα, εάν το αντικείμενο που πρόκειται να παραχθεί έχει κενή εσωτερική κοιλότητα, τότε κατασκευάζεται ένας πυρήνας ή καρδιά στο εσωτερικό του. Κατά αυτόν τον τρόπο, ο πυρήνας εμποδίζει τη διασπορά του τηγμένου μετάλλου μέσα στην κοιλότητα και έτσι διατηρείται κενή. Οι πυρήνες κατασκευάζονται και αυτοί από άμμο, γίνεται η όπτηση για την σκλήρυνση τους και στερεώνονται σε ειδικά πλαίσια, ώστε να συγκρατείται ο όγκος τους κατά την χύτευση [(Λούκα και Πατσαλοσαββής 2008), (Ammen 1979), (Copper Development Association Inc. 1994)]. Αφού έχει δημιουργηθεί το αντικείμενο προς αντιγραφή και έχει τοποθετηθεί ο πυρήνας, εάν είναι αναγκαίος, πλέον η διαδικασία προχωράει στη δημιουργία της μήτρας, η οποία επιτυγχάνεται μέσω της εφαρμογής πράσινης άμμου, ενός μείγματος πλήρωσης δηλαδή, επάνω στο αντικείμενο. Η μήτρα συνήθως χωρίζεται σε δύο κομμάτια, σε άνω και κάτω μέρος, καλύπτοντας με αυτό το τρόπο το κάθε κομμάτι μέχρι τη μέση του



Εικόνα 58 Απεικόνιση σταδίων της χύτευσης σε άμμο. © (Copper Development Association Inc. 1994 p.93)

αντικειμένου. Αφού το αρνητικό του αντικειμένου έχει αποτυπωθεί στην άμμο, ανοίγονται δίοδοι που συνδέουν το εξωτερικό του καλουπιού με το αντικείμενο και μέσω αυτών των διόδων κατευθύνεται το τηγμένο μέταλλο στην προς αντιγραφή επιφάνεια. Αφού έχει διαμορφωθεί η μήτρα, αφαιρείται το πρωτότυπο και διατηρείται κενή η μήτρα με τον πυρήνα στο κέντρο,

τέλος τα δύο μέρη της συνενώνονται. Μετά την ολοκλήρωση της μήτρας χυτεύεται το μέταλλο. Το υγρό μέταλλο κατευθύνεται στο κενό που παραμένει μεταξύ του πυρήνα και της μήτρας και έτσι αποκτάται πλέον το θετικό αντίγραφο του αντικειμένου. Τέλος, κόβονται οι δίοδοι που σχηματίστηκαν και αυτοί κατά την χύτευση και αφαιρείται ο πυρήνας από το εσωτερικό του τελικού αντικειμένου. Έτσι ολοκληρώνεται η μέθοδος χύτευσης σε άμμο [(Λούκα και Πατσαλοσαββής 2008), (Copper Development Association Inc. 1994)].

Αξιοσημείωτο είναι να αναφερθεί τι συμβαίνει στη μήτρα κατά την διάρκεια της χύτευσης και πως διατηρείται άθικτη η μήτρα. Κατά τη χύτευση του μετάλλου η μήτρα από άμμο δεν ρηγματώνεται, ούτε καταστρέφεται. Συγκεκριμένα, καθώς το μέταλλο εισέρχεται στο εσωτερικό του καλουπιού, η εκπεμπόμενη θερμότητα στεγνώνει το υλικό του καλουπιού και η υγρασία αποβάλλεται μέσω της πορώδους σύστασης της άμμου. Εφόσον οι υδρατμοί αποβάλλονται, δεν εγκλωβίζονται εσωτερικά της μήτρας, οπότε και το καλούπι διατηρεί την αντοχή και το σχήμα του. Η διαπερατότητα της μήτρας σε αέρια και κυρίως τους υδρατμούς είναι από τα κύρια χαρακτηριστικά που προσδίδουν ανθεκτικότητα στη μήτρα και ευκολία χρήσης. Επιπλέον χαρακτηριστικό της αντοχής της άμμου είναι η αντίσταση σε θερμοκρασιακές μεταβολές. Άμμοι που χρησιμοποιούνται για μικρού και μεσαίου μεγέθους αντικείμενα και για κράματα χαλκού, όπου δεν απαιτούνται υπερβολικά υψηλές θερμοκρασίες, δεν είναι απαραίτητο να έχουν ιδιαίτερα υψηλό δείκτη αντίστασης (Ammen 1979).

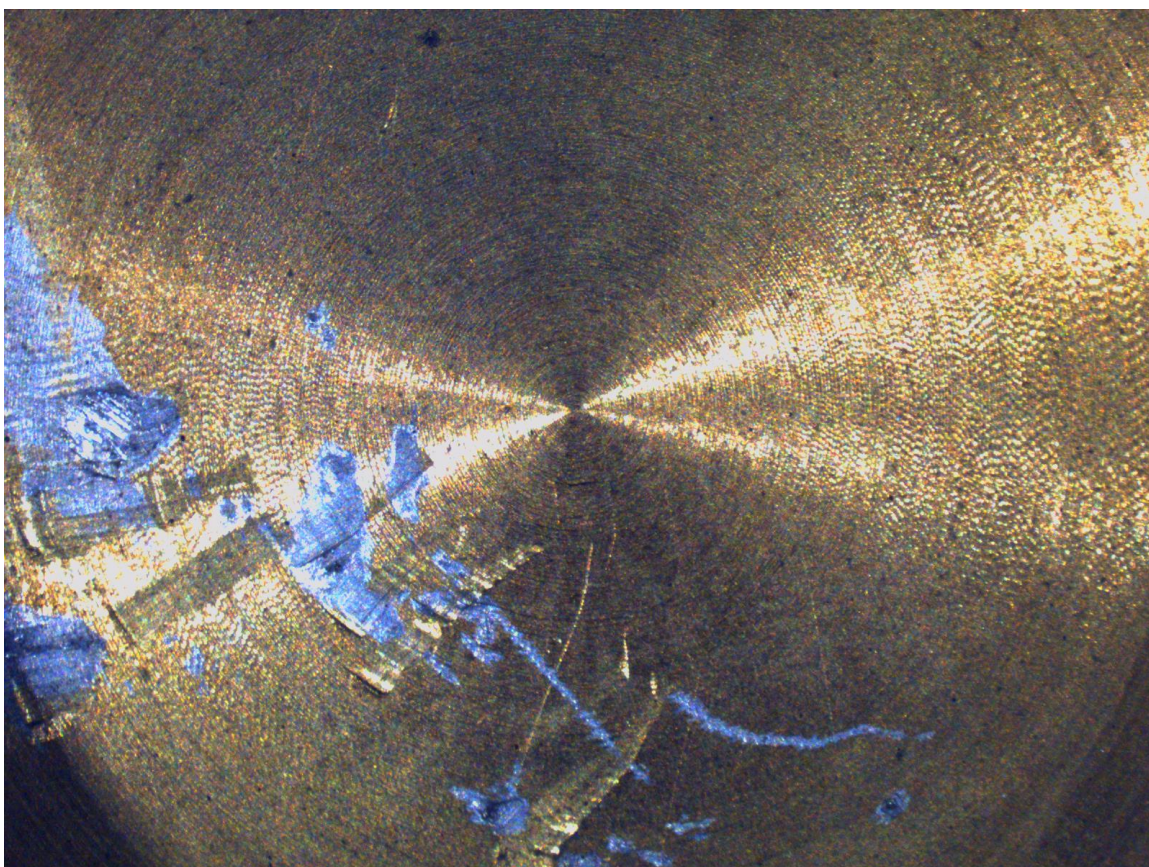
Κατόπιν αναφέρονται επιγραμματικά τα στάδια της χύτευσης σε άμμο:

- Δημιουργία πρωτότυπου αντικειμένου.
- Τοποθέτηση πυρήνα, εάν είναι επιθυμητό, στο εσωτερικό του.
- Κατασκευή μήτρας, σε άνω και κάτω μέρος, πέριξ του πρωτότυπου.
- Άνοιγμα μήτρας και αφαίρεση πρωτότυπου.
- Χύτευση μετάλλου στο πλέον άδειο κλειστό καλούπι.
- Στερεοποίηση μετάλλου.
- Αφαίρεση μήτρας και αποκάλυψη μεταλλικού θετικού αντίγραφου.
- Μηχανική τελειοποίηση μεταλλικής επιφάνειας αντιγράφου.

#### 4.2.3. Τόρνευση τμημάτων

Η ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης, χάρη στη μεγάλη μεγέθυνση που πραγματοποιεί στα αντικείμενα, αποκαλύπτει και στοιχεία από την τεχνολογία κατασκευής τους. Συγκεκριμένα σε μια σειρά από μέρη των οργάνων, κυρίως κάλυπτρα τηλεσκοπίου και κοχλίες, αποκαλύφθηκε μια κοινή τεχνική κατασκευής τους, η τόρνευση. Η εικόνα από το SEM-EDS, με αλληπάλληλες κατακόρυφες διαγραμμίσεις επάνω στο σώμα του ορείχαλκου, υποδηλώνει την χρήση τόρνου για την κατασκευή εξαρτημάτων. Η παρούσα πληροφορία, ανανέωσε τα δεδομένα για την τεχνολογία κατασκευής των αντικειμένων της συλλογής, και αναθεωρήθηκε η άποψη για την κατασκευή όλων των τμημάτων με χύτευση. Παρατηρείται πως όλα τα μικρότερα εξαρτήματα, έχουν παραχθεί με την ίδια μέθοδο. Κοχλίες, βίδες, περικόχλια, κάλυπτρα, δακτύλιοι και μικρές πλάκες, όλα αυτά τα εξαρτήματα, με μικροσκοπική παρατήρηση αποδίδουν το ίδιο στοιχείο, ήτοι τις κάθετες γραμμές. Η τόρνευση έχει εφαρμοστεί τόσο σε ορειχάλκινα στοιχεία όσο και σε σιδερένια. Επιπλέον, κατά την διάρκεια των επεμβάσεων συντήρησης, η πιο κοντινή μακροσκοπική παρατήρηση των μεταλλικών επιφανειών, απέδειξε και πως τα μεγαλύτερα

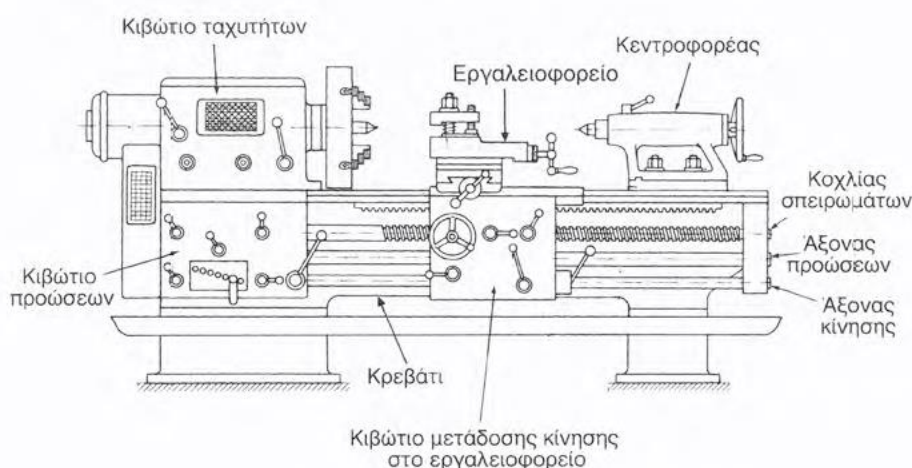
τμήματα των οργάνων είναι μορφοποιημένα με την ίδια μέθοδο. Κυκλικές και οριζόντιες αλληπάλληλες διαγραμμίσεις αποκαλύφθηκαν κατά την διάρκεια του καθαρισμού, εντοπίζοντας κατά αυτόν τον τρόπο την τεχνολογία κατασκευής όλων των τμημάτων των αντικειμένων. Όποτε συνοπτικά, τα καθαρά τμήματα μετάλλου παράχθηκαν με χύτευση σε άμμο και αργότερα τους αποδόθηκε σχήμα και μορφή με την χρήση τόννου. Έτσι, είναι κατασκευασμένα εξολοκλήρου τα συγκεκριμένα τέσσερα τοπογραφικά όργανα.



Εικόνα 59 Λήψη εικόνας από το εσωτερικό του καλύπτρου του Θεοδόλιχου, με την βοήθεια στερεομικροσκοπίου. Διακρίνονται οι κυκλικές διαγραμμίσεις από τον τόννο. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

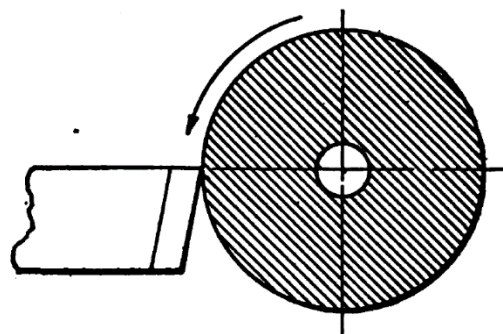
Η τεχνική της τόννευσης υπάγεται στη γενική κατηγορία κατεργασιών αφαίρεσης μετάλλου και συγκεκριμένα στις κατεργασίες κοπής. Οι κατεργασίες κοπής αφορούν την αφαίρεση πλεονάζοντος υλικού από ένα μεταλλικό κομμάτι για να διαμορφωθεί σε μια επιθυμητή μορφή. Το υλικό που αφαιρείται αποβάλλεται σε μορφή απόβλητων ή αλλιώς γρεζιών. Η κατεργασία αυτή πραγματοποιείται με την χρήση κοπτικού εργαλείου, ως εργαλείο ή εργαλειομηχανή. Στη τόννευση, το κοπτικό εργαλείο έχει γεωμετρικώς καθορισμένη μορφή και συνήθως έχει μια κύρια κόψη. Σύμφωνα με την τεχνική της τόννευσης, το κομμάτι μετάλλου εκτελεί περιστροφική πρωτεύουσα κίνηση γύρω από τον άξονα του με οριζόντια διεύθυνση επί το πλείστο (Πετροπούλου 1994). Η διαδικασία εφαρμόζεται στον τόννο. Ο τόννος αποτελείται από ορισμένα κύρια μέρη. Το σώμα, μία επίπεδη επιφάνεια, πάνω στην οποία εδράζονται και κινούνται τα υπόλοιπα μέρη του. Πάνω από αυτό, τα υπόλοιπα μέρη τοποθετούνται στις άκρες και

στο κέντρο. Το κιβώτιο ταχυτήτων βρίσκεται στη μία άκρη του τόρνου, πάνω από το κιβώτιο προώσεων. Το κιβώτιο ταχυτήτων αποτελείται από την κύρια άτρακτο, στην οποία τοποθετείται το μεταλλικό κομμάτι και από τους μηχανισμούς ταχυτήτων. Η μετάδοση της ταχύτητας επιτυγχάνεται με τραπεζοειδή ιμάντα ή εκτελείται άμεσα με οδοντωτό ιμάντα. Το κιβώτιο προώσεων παρεμβάλλεται κάτω και ενδιάμεσα από το κιβώτιο ταχυτήτων και του εργαλειοφορείου. Λειτουργία του είναι να μεταφέρει ταχύτητα από το κιβώτιο ταχυτήτων προς το εργαλειοφορείο. Το εργαλειοφορείο, όπως αποκαλύπτει και το όνομα του, φέρει το εργαλείο κοπής και εκτελεί διαμήκη και εγκάρσια κίνηση κοπής. Τέλος, ο κεντροφορέας βρίσκεται στην άλλη άκρη του τόρνου και χρησιμεύει ως στήριγμα του άλλου άκρου του μεταλλικού κομματιού. Το κομμάτι μετάλλου συγκρατείται μεταξύ σφιγκτήρα και κεντροφορέα και το κοπτικό εργαλείο προσδένεται στον εργαλειοδέτη του τόρνου (Δελλαπόρτας κ.ά. 2011).



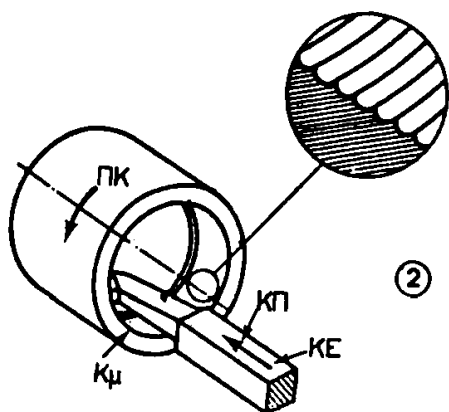
Εικόνα 60 Τα κύρια μέρη του τόρνου. (© Δελλαπόρτας κ.ά. 2011 σ. 404)

Το εργαλείο τοποθετείται κάθετα προς το μέταλλο και μετατοπίζεται ευθύγραμμα με συνεχόμενη κίνηση προώσεως. Το κοπτικό εργαλείο τοποθετείται ακριβώς στο κέντρο του μεταλλικού κομματιού, με την αιχμηρή απόληξη στραμμένη επάνω, η επάνω επιφάνεια του εργαλείου είναι πάντα επίπεδη εκτός από την οξεία αιχμή της. Τα κοπτικά εργαλεία είναι σωστό να διατηρούνται ακονισμένα και να είναι λειτουργικά. Υπάρχουν διάφορα είδη, σχήματα και μεγέθη εργαλείων, όπου το καθένα προσφέρει και διαφορετική μορφοποίηση στην επιφάνεια [(Yates 1922), (South Bend Lathe Works 1936)]. Στα αντικείμενα που είναι κατασκευασμένα από ορείχαλκο, εξαιτίας των ιδιοτήτων του ορείχαλκου, χρησιμοποιούνται διαφορετικά εργαλεία κοπής. Ο ορείχαλκος είναι ένα σχετικά μαλακό μέταλλο και τα κλασικά εργαλεία έχουν την τάση να 'δαγκώνουν' τη μεταλλική επιφάνεια. Σε τέτοιου είδους υλικά εφαρμόζεται αρνητικό κοπτικό εργαλείο, του οποίου η αιχμηρή απόληξη

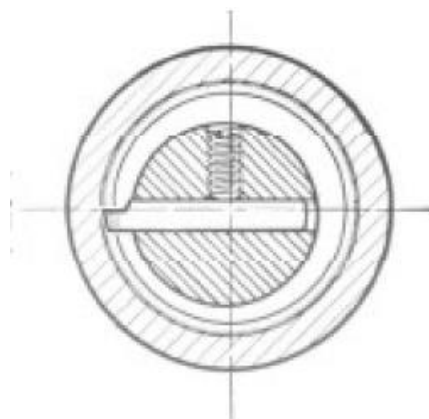


Σχέδιο 4 Η τοποθέτηση του κοπτικού εργαλείου και μετάλλου, κατά την τόννευση. (© Yates 1922 p. 103)

έχει κλήση προς το μέταλλο (Yates 1922). Όταν η τόνρευση εκτελείται παράλληλα προς τον άξονα του κομματιού, ονομάζεται διαμήκης τόνρευση: η διαμήκης τόνρευση εφαρμόζεται και ως εξωτερική και ως εσωτερική (boring). Συνήθως με την εξωτερική διαμήκη τόνρευση σχηματίζονται οριζόντιοι κυλινδρικοί κοχλίες, κυρίως οι άξονες τους, όπου από ένα κομμάτι μετάλλου με κατά μήκος παράλληλη κίνηση του εργαλείου αφαιρούνται τα απορρίμματα και δημιουργείται ο οριζόντιος κυλινδρικός κορμός του κοχλία. Με την εξωτερική διαμήκη τόνρευση οι γραμμές σχηματίζονται κατακόρυφα στο κορμό του κοχλία. Η εσωτερική διαμήκη τόνρευση χρησιμοποιείται κυρίως για την διεύρυνση κυλινδρικών οπών ή κοιλοτήτων. Μέσω αυτής κατασκευάζονται και οι εσωτερικές αυλακώσεις, όπου σε αυτές προσαρμόζονται με βίδωμα άλλα εξαρτήματα. Στην εσωτερική τόνρευση έχει αφαιρεθεί εσωτερικά μεγάλο μέρος του με-



Σχέδιο 5 Εσωτερική διαμήκης τόνρευση, για τον σχηματισμό αυλακώσεων και κοιλοτήτων στο εσωτερικό εξαρτημάτων. (© Πετροπούλου 1994 σ. 7)

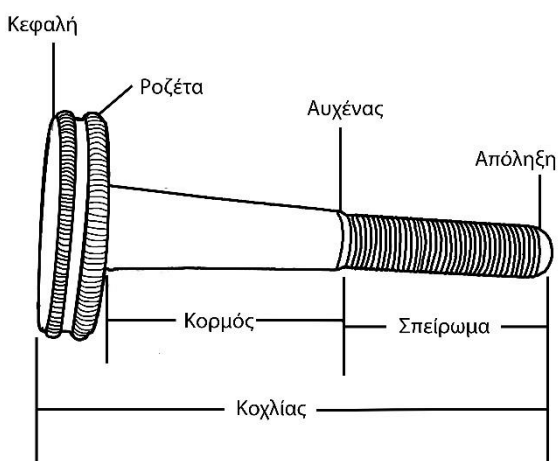


Σχέδιο 6 Σχεδιαστική αναπαράσταση εσωτερικής τόνρευσης, ενώ το εργαλείο έχει εισαχθεί στο εσωτερικό του κυλίνδρου. (©South Bend Lathe Works 1936 p.7)

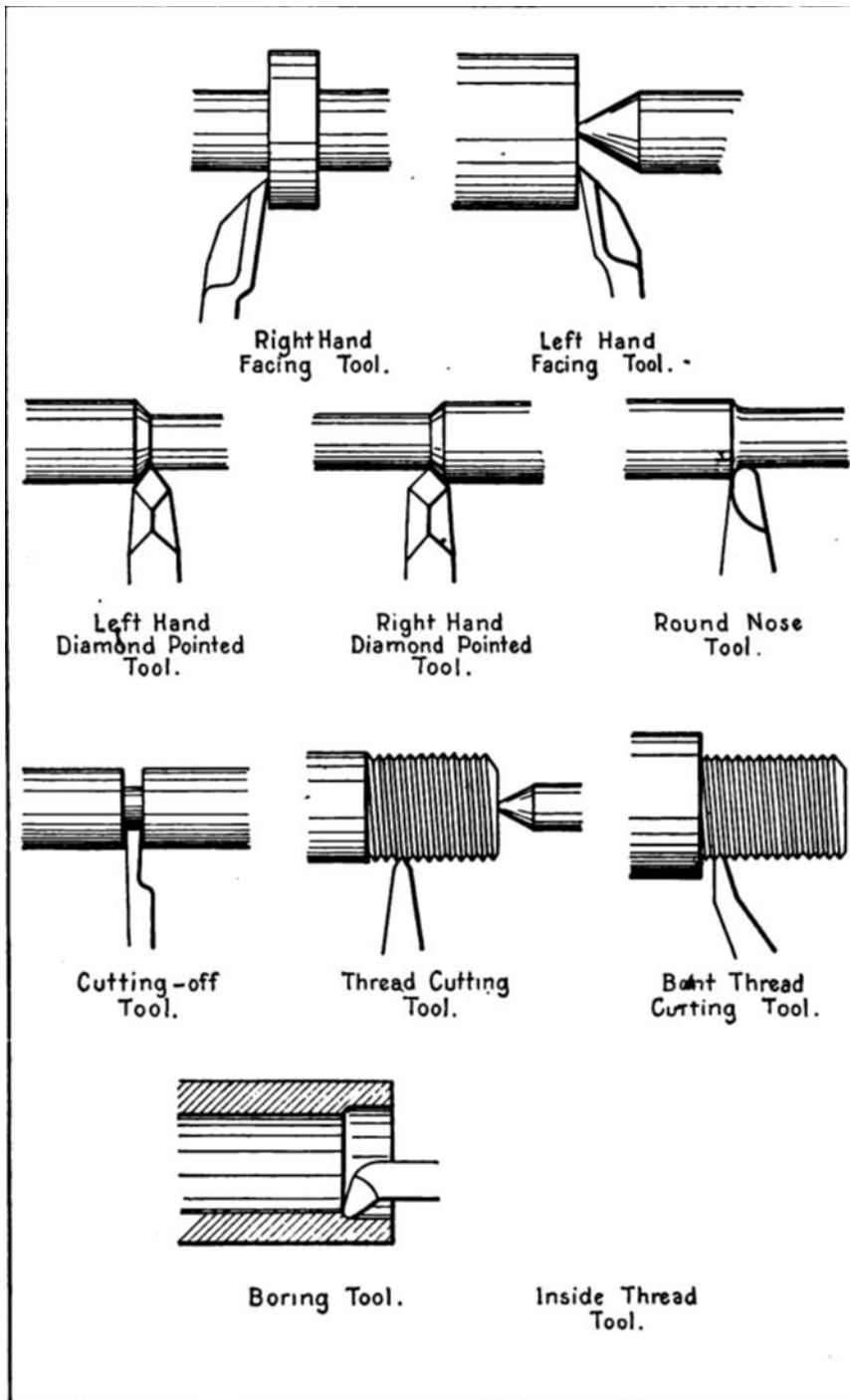
τάλλου και παραμένει ένα λεπτός ή ακόμα και κενός κύλινδρος, όπου στις εσωτερικές πλευρές τοποθετείται το εργαλείο για να διαμορφώσει το επιθυμητό σχήμα [(South Bend Lathe Works 1936), ((Πετροπούλου 1994)]. Ένα επιπλέον είδος τόνρευσης είναι η μετωπική, όπου το εργαλείο κοπής τοποθετείται σε ορθή γωνία ως προς τον άξονα του κομματιού. Με μετωπική τόνρευση σχηματίζονται οι κεφαλές των κοχλιών καθώς και οι κεφαλές των καλυπτρών, ο οριζόντιος κύκλος και γενικά όλα τα κυκλικά επίπεδα εξαρτήματα. Ο συγκεκριμένος τύπος τόνρευσης αφήνει κυκλική διαγράμμιση προς το κέντρο του κομματιού (Πετροπούλου 1994).



Οι κοχλίες και γενικά όλοι οι τύποι βιδών κατασκευάζονται και αυτοί με τόννο. Απλώς εφαρμόζεται συγκεκριμένη τεχνική και απαιτείται κατάλληλος χειρισμός του τόννου και των κοπτικών εργαλείων. Αρχικά, ένας κοχλίας αποτελείται από ορισμένα μέρη διαφορετικών σχημάτων και μεγεθών. Όλα τα μέρη των βιδών παράγονται με τόννευση με τη χρήση διαφορετικής περιστροφής, διαφορετικών εργαλείων και διαφορετικής φοράς κοπής. Μια βίδα, στο ανώτερο τμήμα της φέρει την κεφαλή, η οποία διαμορφώνεται συνήθως σε κυκλικό ή πολυγωνικό σχήμα. Το υπόλοιπο σώμα της βίδας που ονομάζεται κορμός χωρίζεται σε δύο επιμέρους στοιχεία, τον αυχένα και το σπειρώμα. Ο αυχένας πρόκειται για το λαιμό τη βίδας και η επιφάνεια του διατηρείται κυλινδρική και λεία. Σε αντίθεση, η επιφάνεια του σπειρώματος έχει ελικοειδή ανάγλυφη μορφοποίηση με προεξοχές και εσοχές. Η δημιουργία σπειρώματος με την χρήση τόννου πραγματοποιείται με την ένωση του κιβώτιου ταχυτήτων του τόννου με τον κοχλία ή την άτρακτο του σπειρώματος, ώστε να αποδοθεί η κατάλληλη ταχύτητα περιστροφής της βίδας, μέσω της ρύθμισης του κιβώτιου ταχύτητας. Η ένωση αυτή επιτυγχάνεται με την χρήση οδοντωτών τροχών (γρاناζιών). Η κατάλληλη ρύθμιση των γρاناζιών επιτρέπει



Σχέδιο 7 Τα μέρη που αποτελούν ένα κοχλία.



Σχέδιο 8 Η μορφοποίηση διαφορετικών σχημάτων και εξαρτημάτων, από διαφορετικά κοπτικά εργαλεία. (© Yates 1922 p. 106).

την προσαρμογή του μετάλλου, ώστε να κοπεί κάθε επιθυμητή ακμή του σπειρώματος. Δηλαδή, ανάλογα το μέγεθος και το διάστημα των σπειρωμάτων στον κοχλία σπειρώματος του τόρνου, σε σχέση με την ταχύτητα προώσεως, δημιουργούνται αντίστοιχα σπειρώματα. Λειτουργεί ο κοχλίας σπειρωμάτων ως ένα πρότυπο για τη διαμόρφωση κάθε ατέρμονα κοχλία. Αντιστρέφοντας την κατεύθυνση του κοχλία σπειρώματος, μπορούν να τορνευτούν τα σπειρώματα (South Bend Lathe Works 1936). Αφού το κομμάτι μετάλλου προς κατεργασία, τοποθετηθεί μεταξύ του κιβωτίου ταχυτήτων και του κεντροφορέα, τότε το κοπτικό εργαλείο πιέζεται προς το μέταλλο και αφαιρείται υλικό, μέχρι να διαμορφωθεί το επιθυμητό σχήμα (Walter and Walter 1842). Ο σχηματισμός των σπειρωμάτων επιτυγχάνεται με την χρήση εργαλείων χειρός, αλλά και κοπτικών εργαλείων του τόρνου. Για να υπολογιστεί το μέγεθος των σπειρωμάτων και ο αριθμός τους, ο κατασκευαστής τοποθετεί μια κλίμακα,

για να υπολογίζει αναλόγως. Όταν εκτελείται η τόνρευση των κομματιών μετάλλου, το μέταλλο είναι κεντραρισμένο και σταθερό. Αφού έχει αποκτήσει κίνηση το μέταλλο, τοποθετείται κάθεται προς αυτό το κοπτικό εργαλείο, σε μία κίνηση που ελαφρά η μυτερή απόληξη του

εργαλείου να αγγίζει το μέταλλο. Η αφαίρεση μετάλλου συνεχίζει με σταθερή ταχύτητα και ιδιαίτερη προσοχή, από τα δεξιά προς τα αριστερά, και η μύτη του εργαλείου είναι στραμμένη προς τα πάνω, ενώ η περιστροφή του κομματιού γίνεται προς τα κάτω. Ο τεχνίτης συνεχίζει την κοπή και τη μειώνει, ελεγχόμενα και σε συνέχεια. Η ανομοιογένεια της κίνησης δημιουργεί τις εσοχές και τις προεξοχές του σπειρώματος. Με παρόμοιο τρόπο κατασκευάζονται και εσωτερικά σπειρώματα. Εσωτερικά σπειρώματα παρατηρούνται στα τηλεσκόπια και υπάρχουν για να προσαρμόζονται σε αυτά επιπλέον εξαρτήματα, (π.χ. φακοί, κάλυπτρα κ.α.). Η μόνη διαφορά στη κατασκευή του εσωτερικού σπειρώματος είναι πως δημιουργείται εσωτερικό άνοιγμα και σε αυτό εισέρχεται οδοντωτό εργαλείο που χαράσσει το σπείρωμα (Yates 1922).

Ακολουθώντας τις ίδιες διαδικασίες για την κατασκευή σπειρωμάτων, παρόμοια παράγονται και λοιπά μεταλλικά εξαρτήματα. Βασικές προϋποθέσεις, για την ομαλή λειτουργία τη τόννευσης είναι:

- Η τοποθέτηση του κομματιού μετάλλου στο κέντρο.
- Η ελεγχόμενη ταχύτητα περιστροφής, του δοκιμίου, και
- Τα κοπτικά εργαλεία, να είναι σωστά ακονισμένα.

Ανάλογα την χρήση και τον τύπο των κοπτικών εργαλείων, μπορούν να επιτευχθούν ποικίλα σχήματα. Για τα κάλυπτρα δημιουργούνται κενοί και ψηλοί κύλινδροι, ενώ τα καπάκια τους σχηματίζονται κυκλικά. Τα δύο τμήματα συνενώνονται ύστερα με μηχανική ένωση. Για τις κεφαλές των κοχλιών σχηματίζονται κυκλικά δισκίδια με μετωπική κυκλική τόννευση και προς στο εσωτερικό, αφαιρείται περισσότερο υλικό, για την δημιουργία κοιλότητας.

#### 4.2.4. Πατίνα ορείχαλκου:

Σε ορισμένα επιστημονικά όργανα σχηματίζονταν τεχνητές πατίνες επάνω στις καθαρές μεταλλικές επιφάνειες, με στόχο την προστασία των αντικειμένων από τη διάβρωση και ακόμα την αισθητική αναβάθμιση των οργάνων. Πατίνες παρατηρούνται και σε συγκεκριμένα μέρη των τοπογραφικών οργάνων της συλλογής, πρόκειται για τα πιο σκουρόχρωμα, τα ομοιόμορφα καφέ και μαύρα επιφανειακά στρώματα. Ο σχηματισμός πατίνας σε ένα μέταλλο επιφέρει χρωματική διαφοροποίηση στην επιφάνεια, όπου συνήθως σε λεπτές εφαρμογές έχει ένα καστανό σκούρο χρώμα. Ουσιαστικά, η πατίνα πρόκειται για ένα επιφανειακό σταθερό προϊόν διάβρωσης, το οποίο προστατεύει τον ορείχαλκο από τη περαιτέρω διάβρωση (Schweitzer 2010). Ο όρος πατίνα χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένα ομαλό, συνεχές στρώμα που διατηρεί τη λεπτομέρεια και το σχήμα του αντικειμένου. Οι πατίνες μπορούν να προκληθούν και φυσικά από την οξειδωση του μετάλλου, όμως στη τεχνολογία κατασκευής περιλαμβάνονται μόνο οι τεχνητές πατίνες που σχηματίστηκαν από τους τεχνίτες με τη σκόπιμη επεξεργασία της επιφάνειας ενός αντικειμένου για τη δημιουργία ενός έγχρωμου στρώματος, μιας ένωσης χαλκού ή ενός σκόπιμου προϊόντος διάβρωσης που μπορεί να σχηματιστεί (Scott 2002).

#### 4.2.5. Επικαλυπτικά οργάνων:

Από την αρχαιότητα, κεριά, έλαια και φυσικές ρητίνες έχουν χρησιμοποιηθεί για την προστασία της επιφάνειας των κραμάτων χαλκού από την αμαύρωση και γενικά τη διάβρωση. Το

επικαλυπτικό εφαρμοζόταν στα μεταλλικά αντικείμενα με πινέλο ή με εμποτισμό, δηλαδή για την πλήρη βύθιση ή κορεσμό του αντικειμένου στη ρητίνη ή το κερί. Οι μέθοδοι εφαρμογής των επικαλυπτικών κατά τα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα και αρχές του 20<sup>ου</sup> συνέχισαν αυτή την παράδοση. Για παράδειγμα, κύρια υλικά επικάλυψης ήταν το έλαιο παπαρούνας και το κόμμα δάμαρης. Άλλα υλικά που χρησιμοποιούνταν συνήθως και προέρχονταν από ζωικά προϊόντα ήταν το κέλυφος οστράκων, η κόλλα ψαριών και το κερί μέλισσας. Το κερί παραφίνης χρησιμοποιήθηκε συχνά επίσης, αλλά τελικά αντικαταστάθηκε από νιτρική κυτταρίνη και οξική κυτταρίνη (Scott 2002).

### Γομαλάκα

Η γομαλάκα ή σελάκη (αγγλ. shellac) είναι φυσική ρητίνη που εκκρίνεται από το θηλυκό έντομο *Lac* του είδους *Kerria lacca* σε δένδρα των δασών της Ινδίας και της Ταϊλάνδης. (Cambridge Dictionary, 2022) Αφού επεξεργαστεί κατάλληλα, η σελάκη πωλείται σε στερεά μορφή, π.χ. ξηρές νιφάδες, ενώ διαλύεται εύκολα σε αιθυλική αλκοόλη για να προετοιμαστεί ως υγρή σελάκη. Χρησιμοποιείται ως χρωστική ουσία, γλάσο σε τρόφιμα και ως υλικό φινιρίσματος σε ξύλο. Δρα ως σκληρό φυσικό αστάρι, σφραγιστικό επιφανειών, σφραγιστικό ταννινών, σφραγιστικό οσμών και βαφών και επίσης ως βερνίκι υψηλής γυαλάδας. Στο παρελθόν, η σελάκη χρησιμοποιήθηκε σε ηλεκτρικές εφαρμογές, καθώς έχει πολύ καλές ιδιότητες ηλεκτρομόνωσης, όπως και υγρομόνωσης, μη επιτρέποντας την είσοδο της υγρασίας. Επίσης κατά το παρελθόν, δίσκοι γραμμοφώνου (των 78 στροφών) φτιαχνόταν με χρήση της σελάκης, ωστόσο, μετά το 1948, αυτοί αντικαταστάθηκαν από τους δίσκους βινυλίου μακράς διάρκειας. Μέχρι τον 19ο αιώνα, τα περισσότερα φινιρίσματα ήταν βασισμένα σε έλαια ή κεριά, αλλά η έλευση της γομαλάκας στην αγορά της Δύσης είχε ως αποτέλεσμα να τα αντικαταστήσει όλα πλήρως. Ωστόσο, αυτό κράτησε μέχρι τις δεκαετίες 1920 και 1930, διότι τότε η φυσική γομαλάκα αντικαταστάθηκε σε μεγάλο βαθμό από τις λάκες με βάση την νιτροκυτταρίνη, γνωστές στο εμπόριο ως (συνθετικές) λάκες. (Read and Welch, 1959)

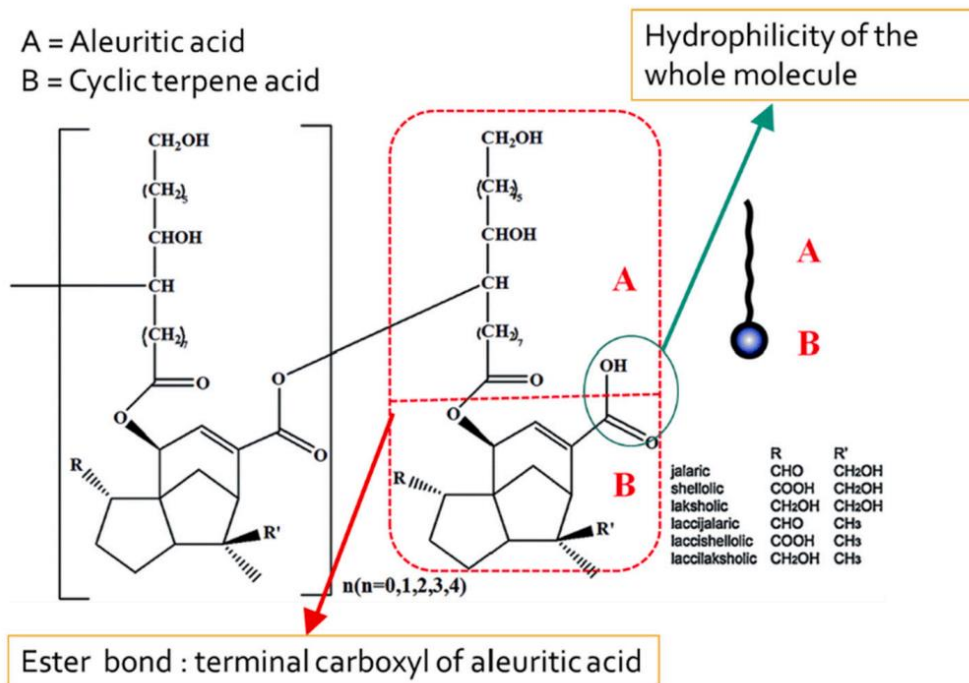
Το Shellac είναι μια φυσικά εξευγενισμένη μορφή ρητίνης *lac*, ένα φυσικό βιοπολυμερές ζωικής προέλευσης που προέρχεται από μικροσκοπικά έντομα που τρέφονται με το χυμό συγκεκριμένων δέντρων ξενιστών. Το Shellac στη βασική του μορφή είναι ένα πολυεστερικό μακρομόριο. Έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές βιομηχανίες εδώ και πολλά χρόνια λόγω των εξαιρετικών ιδιοτήτων του, όπως σχηματισμός φιλμ, πρόσφυση, συγκόλληση, θερμοπλαστική συμπεριφορά, αντοχή στο νερό και εύκολη διαλυτότητα σε αλκαλικούς και υδατικούς διαλύτες.

Η λέξη "*lac*" προέρχεται από τη σανσκριτική λέξη *Laksha*, που σημαίνει εκατό χιλιάδες και αναφέρεται σε πολλά έντομα που καλύπτουν κλαδιά δέντρων ξενιστών και συμμετέχουν στην παραγωγή της.



Εικόνα 61 Ανάπτυξη Lac σε φυτό ξενιστή (Α. Καθίζηση εντόμων, Β. Ενδιάμεσο στάδιο και Γ. Ωριμη καλλιέργεια).

Το Shellac είναι ένα σκληρό εύθραυστο ρητινώδες στερεό. Το χρώμα του μπορεί να κυμαίνεται από ανοιχτό κίτρινο έως σκούρο κόκκινο. Είναι άοσμο σε κρύες συνθήκες, αλλά μυρίζει όταν θερμαίνεται. (Thombare N. et al, 2022)

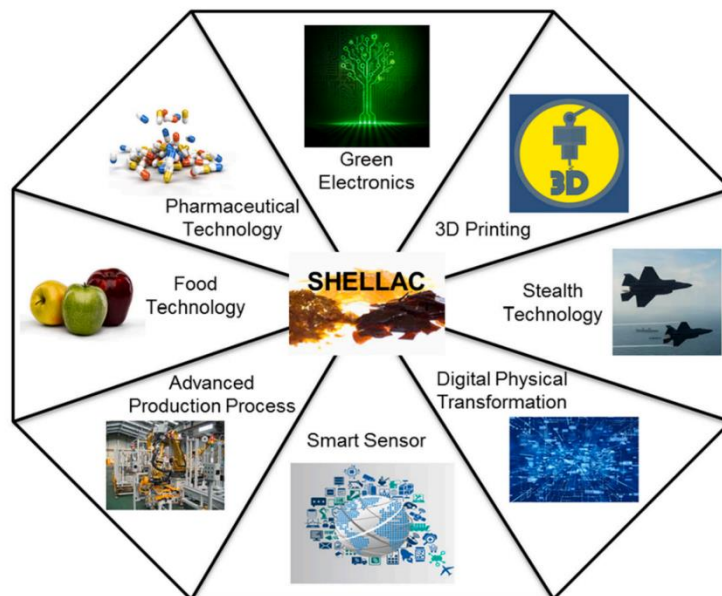


Εικόνα 62 Χημική δομή του τυπικού οικοδομικού λίθου του shellac.

Sl. no.	Physical properties	Electrical properties	Chemical properties	Thermal and mechanical properties				
1.	Specific gravity	1.14–1.2	Dielectric constant (30 °C)	2.73 - 3.91	Acid value	65–75	Softening temperature	65–70 °C
2.	Refractive index	1.521–1.527	Dissipation factor (30 °C, 50 Hz)	0.0051	Saponification value	220–230	Melting temperature	77–90 °C
3.	Specific heat at 10–40 °C	0.36–0.38 Cal/cm. <sup>2</sup> C	Dielectric loss (30 °C, 50 Hz)	0.026	Ester value	155–165	Glass transition temperature	38–40 °C
4.	Specific heat at 45–50 °C	0.3 - 0.6 Cal/g.°C	Dielectric strength (kV/mm)	14 - 40	Hydroxyl number	250–280	Time of polymerization at 150 °C / Life under heat	30–120 min
5.	Melt viscosity (Poise)	22,505 (@80 °C) 2154 (@95 °C)	Volume resistivity (Ohm cm)	1.2 - 262 × 10 <sup>13</sup>	Iodine number	14–18 (Wij's) 8–12 (Hubl's) 23–25 (By H absorption)	Storage modulus (MPa)	0.001 - 0.1
6.	Thermal conductivity (@30 °C)	0.0024 - 0.0025 (W/cm. <sup>2</sup> C)	Surface resistivity (Ohm cm)	0.4 - 175 × 10 <sup>13</sup>	Carbonyl value	7.8–27.5 (Sod. Sulphite method)	Ultimate tensile strength at 20 °C (MPa)	10 - 14
7.	Molecular weight	2000–2210 (Hard resin) 500–550 (Soft resin) 1000–1006 (Average)	Thiocyanogen number	18 - 20	Absorption maxima in ethanol solution (nm)	225, 285, 425	Abrasion resistance (sand)	110
8.	Flow (ASTM)	45–100 mm	Optical rotation	+ 54 to + 64	IR peak positions (cm <sup>-1</sup> )	3448 (–OH) 1680 (–COOH) 725 (–C=C–)	Scratch hardness (1 mm ball on copper)	4.5–5.5 Kg

Εικόνα 63 Φυσικές, ηλεκτρικές και χημικές ιδιότητες του shellac.

Το Shellac έχει χρησιμοποιηθεί για αιώνες ως σφραγιστικό, αστάρι και λάκα. Με την εφαρμογή του, ο διαλύτης εξατμίζεται, αφήνοντας ένα συμπαγές σκληρό φιλμ στην επιφάνεια ξύλου/μετάλλου όπου εφαρμόζεται.



Εικόνα 64 Εφαρμογές του shellac στη σύγχρονη τεχνολογία.

### 4.3. Διαγνωστική διερεύνηση τεχνολογικών χαρακτηριστικών οργάνων συλλογής

#### 4.3.1. Ακτινογράφιση αντικειμένων με ακτίνες-Χ:

Πριν τη διεξαγωγή της συντήρησης στα αντικείμενα είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός της κατασκευής των οργάνων, ώστε αναλόγως να σχεδιασθούν οι κατάλληλοι μέθοδοι

συντήρησης. Η ταυτοποίηση της τεχνολογίας κατασκευής των εξαρτημάτων οδηγεί στην κατανόηση της παθολογίας και στις ιδιότητες των υλικών. Όταν τα αντικείμενα προς μελέτη αφορούν επιστημονικά όργανα που αποτελούνται από σπιλπνές επιφάνειες και από λειτουργικά και κινητά μέρη, τότε καθίσταται αποτρεπτική η χρήση καταστρεπτικών μεθόδων ανάλυσης. Οι πιο κοινές μέθοδοι μη καταστρεπτικών αναλύσεων είναι η ακτινογραφία με ακτίνες-Χ και η φθορισμομετρία ακτινών-Χ (XRF) και ανήκουν στις πιο κατάλληλες για την εξέταση του εσωτερικού των οργάνων και για την ανάλυση των υλικών της επιφάνειας (Lemos and Tissot 2020).

#### Αρχή της μεθόδου:

Η ακτινογραφία είναι μια μέθοδος εξέτασης που χρησιμοποιείται για διαγνωστικούς σκοπούς. Ουσιαστικά είναι η απεικόνιση μιας περιοχής με την χρήση ακτινών Χ. Η αρχή της λήψης ακτινογραφιών βασίζεται στο γεγονός ότι οι ακτίνες Χ διαπερνούν σε ποικίλο βαθμό τα μαλακά μόρια της περιοχής και τον αέρα, ενώ αντίθετα η πορεία τους διακόπτεται στα συμπαγή μόρια. Η περιοχή που προορίζεται να αποτυπωθεί στην ακτινογραφία τοποθετείται μπροστά στο ακτινολογικό φιλμ και μια πηγή ακτινών Χ, αφού επικεντρώσει κατάλληλα, την ακτινοβολία (σε διαφορετική απόσταση και για διαφορετική χρονική διάρκεια ανάλογα με την εξέταση). Η εικόνα που λαμβάνεται στο φιλμ είναι ασπρόμαυρη και διαφανής. Ο αέρας απεικονίζεται μαύρος (αυτό αποκαλείται διαύγαση) και τα συμπαγή μόρια άσπρα (σκίαση ή πύκνωση) (Eisenberg 2000). Σήμερα, χρησιμοποιούνται δύο βασικές εκδοχές ακτινογράφησης, η υπολογιστική και η ψηφιακή.

Συγκεκριμένα, τα αντικείμενα της συλλογής εξετάστηκαν με υπολογιστική ακτινογραφία ακτινών-Χ. Στην υπολογιστική ακτινογραφία (computed radiography CR) χρησιμοποιούνται κασέτες που είναι επικαλυμμένες με φώσφορο, επάνω σε αυτές τοποθετούνται τα αντικείμενα και εκεί εκτίθενται στην ακτινοβολία-Χ. Στη συνέχεια αυτή η κασέτα τοποθετείται σε έναν σαρωτή, ο οποίος σαρώνει την πλάκα με λείζερ. Η εκπομπή ακτινών Χ διεγείρει την εκπομπή ακτινοβολίας από τα στοιχεία του φωσφόρου, η οποία ακτινοβολία είναι ανάλογη της ποσότητας ακτινών-Χ όπου προσέπεσαν στον φώσφορο. Ένας φωτοπολλαπλασιαστής ανιχνεύει την εκπομπή ακτινοβολίας και την μετατρέπει σε ηλεκτρικούς παλμούς, οι οποίοι εμφανίζουν την εικόνα στην οθόνη του υπολογιστή. Η ψηφιακή εικόνα μπορεί να επεξεργασθεί σε φωτεινότητα και αντίθεση, καθώς και να εκτυπωθεί (Carple and Garlick 2018).

#### Πληροφορίες από την ακτινογράφιση αντικειμένων με ακτίνες-Χ :

Η ακτινογράφιση αντικειμένων δεν μπορεί από μόνη της, να ταυτοποιήσει τα υλικά από τα οποία αποτελείται ένα αντικείμενο. Όμως, μπορεί να προσφέρει στοιχεία για τη φύση των υλικών κατασκευής, μέσω της μικρομορφολογίας τους. Ιδιαίτερα αναγνωρίζονται οργανικά υλικά, ακόμα και μέταλλα διαφορετικών κραμάτων. Οι ακτίνες-Χ φανερώσουν το μέγεθος, το σχήμα και τις λεπτομέρειες όπου φέρει ένα αντικείμενο από την κατασκευή του. Οι πληροφορίες όπου παρέχει η ακτινογράφιση ακτινών-Χ, δίνει τη δυνατότητα ταυτοποίησης των αντικειμένων και την κατανόηση της χρήσης τους, καθώς και εάν αποτελούνται από υπόλοιπα μέρη και πόσα είναι αυτά (Jones 2006). Στους θεοδόλιχους είναι πλέον δυνατό να γίνει αντιληπτό το εσωτερικό τους, χωρίς να χρειαστεί επέμβαση στα αντικείμενα.

Επιπλέον, ανάλογα των αποτελεσμάτων της ακτινογράφησης, μπορεί έμμεσα και συμβατικά να γίνει υπόθεση για το υλικό κατασκευής τους. Γενικά λευκές περιοχές δηλώνουν την

παρουσία μετάλλου (Giannoulaki *et al.* 2005 p.60), όμως οι τονικές διαφοροποιήσεις υποδεικνύουν την ποικιλία κραμάτων μετάλλων σε κάθε αντικείμενο. Συγκεκριμένα, μη μαγνητικά μέταλλα όπως ο χαλκός, ο κασσίτερος και ο ψευδάργυρος που συνήθως εφαρμόζονται ως επιμεταλλώσεις, αποδίδουν μια ιδιαίτερα στιλπνή επιφάνεια. Αυτό οφείλεται στην υψηλότερη συγκέντρωση των συγκεκριμένων μετάλλων για αυτό και η εικόνα που αποτυπώνεται είναι πιο στιλπνή-λαμπερή. Παράλληλα, ενώσεις από μόλυβδο ή γενικά κράματα όπου περιέχουν μόλυβδο, θα γίνουν και αυτά ορατά καθώς παρέχουν μια ιδιαίτερη λευκή και συμπαγή χωρίς διαβαθμίσεις εικόνα στην ακτινογράφιση. Ένα ακόμη σημαντικό στοιχείο που προσφέρει η ακτινογράφιση, είναι η ταυτοποίηση της τεχνολογίας κατασκευής του αντικειμένου. Λεπτομέρειες στην επιφάνεια και στο εσωτερικό του κράματος γίνονται αντιληπτές και με αυτόν τον τρόπο αναγνωρίζεται η μέθοδος κατασκευής τους (π.χ. χύτευση ή σφυρηλασία κ.α.) (Jones 2006). Ένα ακόμη στοιχείο όπου τεκμηριώνει η ακτινογράφιση είναι η κατάσταση διατήρησης του μετάλλου και γενικά η διατήρηση της επιφάνειας, ήτοι αν διατηρούνται διακοσμήσεις, λεπτομέρειες, επιγραφές και γενικά στοιχεία της επιφάνειας του μετάλλου [(Jones 2006), (Carle and Garlick 2018)]. Αυτή η πληροφορία είναι ιδιαίτερα πολύτιμη, καθώς υπάρχει πληροφόρηση για την κατάσταση του μετάλλου κάτω από τα προϊόντα διάβρωσης. Με αυτό ο συντηρητής μπορεί να κρίνει το πως και το πόσο θα επέμβει στο αντικείμενο, δεδομένου της κατάστασης του. Με βάση τα προαναφερθέντα γίνεται μια κατηγοριοποίηση των πληροφοριών που μπορούν να ληφθούν από την ακτινογράφιση ακτινών-Χ.

- Στιλπνές, λευκές και γενικά λαμπερές επιφάνειες πιθανολογούν την παρουσία μόλυβδου.
- Επιπλέον στιλπνές επιφάνειες υποδεικνύουν επιμεταλλώσεις, όπως χαλκού, κασσίτερου και ψευδαργύρου.
- Πιο σκοτεινές και μαύρες επιφάνειες, δηλώνουν περιοχές όπου το μέταλλο είναι πιο λεπτό, βρίσκεται σε μικρότερη ποσότητα ή απουσιάζει πλήρως.
- Επιφάνειες όπου έχουν ομοιόμορφη απόδοση και εμφανίζουν πορώδη δομή παραπέμπουν στην τεχνική κατασκευής, η οποία είναι η χύτευση.
- Πιο σκοτεινές περιοχές με πιο ανομοιόμορφη απόδοση και με διαφορετικό ανάγλυφο της επιφάνειας τους είναι πιθανόν κατασκευασμένες με σφυρηλάτηση και μπορεί να φέρουν εγγάρακτη διακόσμηση (Giannoulaki *et al.* 2005).

#### Διαδικασία ακτινογράφισης:

Το ακτινογραφικό μηχάνημα που χρησιμοποιήθηκε βρίσκεται στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής-Σχολή Επιστημών Υγείας και Πρόνοιας-Τμήμα Βιοϊατρικών Επιστημών και το χειρίζεται ο κύριος Θεόδωρος Πάνου, που ανήκει στο Ειδικό Τεχνικό Εργαστηριακό Προσωπικό (ΕΤΕΠ). Κατά την διάρκεια της ακτινογράφισης, τα αντικείμενα τοποθετήθηκαν επάνω στην φωτοληπτική πινακίδα, κάτω από τον ακτινογράφο, στον ειδικό θάλαμο ακτινογράφισης. Κάθε αντικείμενο, τοποθετήθηκε μόνο του επάνω στην πινακίδα και ανάλογα με το μέγεθός του και τα ερωτήματα που είχαν τεθεί έγινε και ο κατάλληλος αριθμός λήψεων από διαφορετικές πλευρές. Οι ακτίνες-Χ διαπερνούν τα υλικά αποθήκευσης και δεν αποτυπώνονται στη λήψη, οπότε δεν χρειάστηκε να αφαιρεθεί η προσωρινή συσκευασία προστασίας τους. Κατά την διάρκεια της κάθε λήψης, οι μελετητές των αντικειμένων βρίσκονταν εκτός του ειδικού θαλάμου ακτινογράφισης, σε διπλανό χώρο, και παρατηρούσαν τα αποτελέσματα που έδινε το μηχάνημα και εμφανίζονταν στον ειδικό υπολογιστή που ήταν συνδεδεμένος. Αφότου ολοκληρωνόταν η



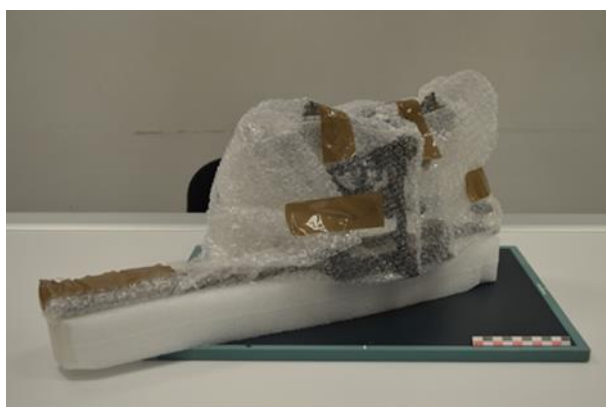
κάθε λήψη, ο χειριστής του μηχανήματος, αποθήκευε την ακτινογραφία. Στο τέλος, αποθηκεύτηκαν όλες οι ακτινογραφίες, ώστε να μελετηθούν και να εξαχθούν συμπεράσματά για τα υλικά, τη δομή και την πυκνότητα των αντικειμένων.

#### Αποτελέσματα από την ακτινογράφιση ακτίνων-X:

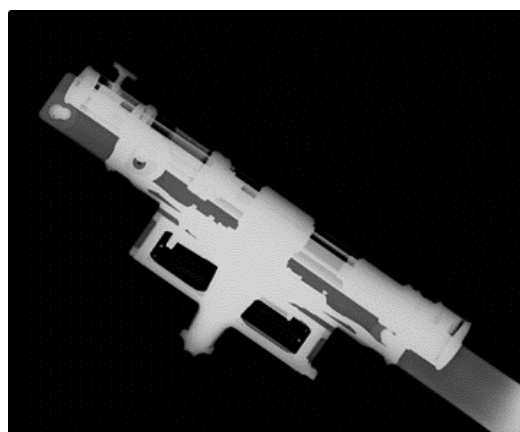
Στη συνέχεια, παρατίθενται οι λήψεις εικόνων από την ακτινογράφιση των αντικειμένων και σχολιάζονται τα συμπεράσματα από την παρατήρησή τους. Επιπλέον δίνονται τα στοιχεία ακτινογράφισης για κάθε αντικείμενο και κάθε λήψη ξεχωριστά. Ανάλογα το σχήμα και το μέγεθος του κάθε οργάνου πραγματοποιήθηκε και κατάλληλος αριθμός λήψεων. Δηλαδή, στα πιο μεγάλα και σύνθετα αντικείμενα έγινε ακτινογράφιση από τουλάχιστον δύο διαφορετικές πλευρές για να αποτυπωθούν όλες οι λεπτομέρειες και να ληφθεί το μέγιστο των πληροφοριών. Σε όλα τα αντικείμενα δόθηκε ένα προσωρινό συμβατικό όνομα για την αναγνώριση του καθενός στη διάρκεια της ανάλυσης. Καθώς ακόμα δεν είχαν ταυτοποιηθεί τα όργανα ως την ακριβή λειτουργία και χρήση τους, ονομάστηκαν όλα «Θεοδόλιχος». Επιπλέον, ανάλογα με τη πλευρά ακτινογράφισης των επιστημονικών οργάνων, δόθηκε και ένα λατινικό γράμμα για να χαρακτηριστεί η πλευρά λήψης. Συγκεκριμένα δόθηκε, το γράμμα F→ Ακτινογράφιση από πάνω (Ανφάς) και το γράμμα P→ Ακτινογράφιση από πλάγια (Προφίλ).

### 1. Διόπτρα μετροτράπεζας (Θεοδόλιχος 1):

#### 1.1. Άνω όψη διόπτρας (Θεοδόλιχος 1 F):



Εικόνα 65 Η τοποθέτηση της τηλεσκοπικής διόπτρας για την πρώτη ακτινογράφιση από πάνω. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



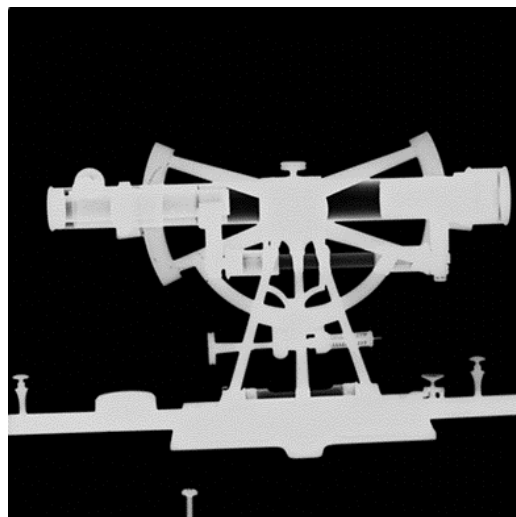
Εικόνα 66 Το αποτέλεσμα της ακτινογράφισης (110 kVp, 110 mAs) του "Θεοδόλιχος 1 F".

Η ακτινογράφιση από την πάνω πλευρά έδειξε ιδιαίτερα φωτεινές τις περιοχές όπου αποτελούν το τηλεσκόπιο και το συνολικό μέρος του οργάνου. Σε αντίθεση, ο χάρακας αποτυπώθηκε ιδιαίτερα αχνός, επειδή βρίσκεται σε κατώτερο σημείο και το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας-X έχει προσροφηθεί από τις ανώτερες επιφάνειες. Σε αυτήν την ακτινογράφιση έγινε αντιληπτό το εσωτερικό του τηλεσκοπίου.

## 1.2 Πλάγια όψη διόπτρας (Θεοδόλιχος 1 P):



Εικόνα 67 Τοποθέτηση της τηλεσκοπικής διόπτρας για την δεύτερη ακτινογράφιση από πλάγια του αντικειμένου. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

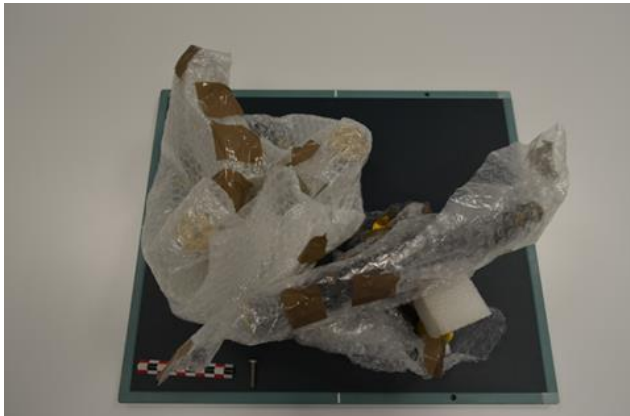


Εικόνα 68 Το αποτέλεσμα της ακτινογράφισης (100 kVp, 80 mAs) από πλάγια της διόπτρας.

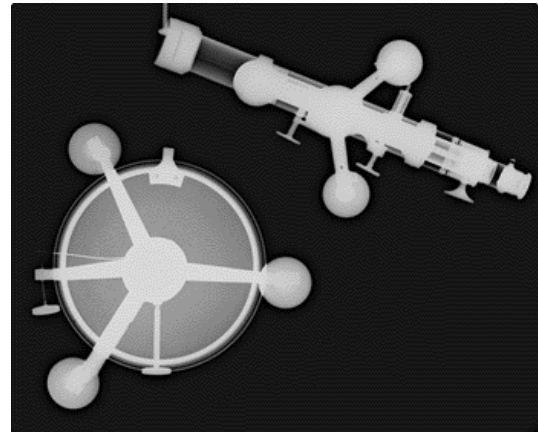
Στην ακτινογράφιση από τα πλάγια του «Θεοδόλιχος 1 P», το εσωτερικό του αντικειμένου γίνεται ιδιαίτερα πιο διακριτό και διακρίνονται ελατήρια, φακοί, εσωτερικοί κύλινδροι του τηλεσκοπίου καθώς και η συνέχεια των κοχλιών στο εσωτερικό του οργάνου. Η συγκεκριμένη λήψη απέδωσε μια αρκετά στιλπνή αποτύπωση σε όλα τα μέρη του αντικειμένου και στο χάρακα, σε αντίθεση με την προηγούμενη ακτινογράφιση.

**2. Μαύρος χωροβάτης και τρικόχλιο Θεοδόλιχου (Θεοδόλιχος 2):** Πρόκειται για τον Μαύρο χωροβάτη ο οποίος για λόγους εξοικονόμησης χώρου τοποθετήθηκε μαζί με το τρικόχλιο του Θεοδόλιχου από την ανάποδη πλευρά.

**2.1 Άνω όψη του Μαύρου χωροβάτη και τρικοχλίου (Θεοδόλιχος 2 F):**



Εικόνα 69 Τοποθέτηση του Μαύρου χωροβάτη και του τρικοχλίου του Θεοδόλιχου για την πρώτη ακτινογράφιση από πάνω του τρίποδα και του θεοδόλιχου. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 70 Το αποτέλεσμα της ακτινογράφισης (110kVp, 100 mAs) από πάνω του Μαύρου χωροβάτη και του τρικοχλίου.

Η ακτινογράφιση αποκάλυψε το εσωτερικό του Μαύρου χωροβάτη. Το μέταλλο όπου αποτελεί το τηλεσκόπιο είναι ιδιαίτερα διαπερατό, ενώ τα εσωτερικά μέρη του τηλεσκοπίου καθώς και το τρικόχλιο του Μαύρου χωροβάτη έδωσαν μια ιδιαίτερα σιλπνή επιφάνεια.

Στο τρικόχλιο του Θεοδόλιχου, το εσωτερικό του οριζόντιου κύκλου αποτυπώθηκε με μια αχνή επιφάνεια. Όμως, τα υπόλοιπα μέρη του τρικοχλίου, το κεντρικό σώμα, οι βραχίονες και οι έδωσαν και αυτοί ιδιαίτερες σιλπνές επιφάνειες. Αυτό, δεν είναι απαραίητο να σημαίνει διαφορετικό μέταλλο κατασκευής. Είναι πολύ πιθανό η εσωτερική κυκλική επιφάνεια του τρίποδα να είναι πιο λεπτή, ενώ τα πόδια του τρίποδα είναι πιο παχιά, οπότε περιέχουν υψηλότερη συγκέντρωση μετάλλου για αυτό δίνουν και πιο λευκή εικόνα<sup>4</sup>.



Εικόνα 71 Τοποθέτηση του αντικειμένου, για την ακτινογράφιση του Μαύρου χωροβάτη από πλαγίως. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό



Εικόνα 72 Το αποτέλεσμα της ακτινογράφισης από τη πλάγια όψη του Μαύρου χωροβάτη (110 KVp, 100 mAs).

<sup>4</sup> (Giannoulaki et al. 2005 p.57)

## 2.2 Πλάγια όψη Μαύρου χωροβάτη (Θεοδόλιχος 2 PR1):

Μετά την πρώτη λήψη, αποφασίστηκε τα δύο αντικείμενα να τοποθετηθούν και μεμονωμένα, αλλά και από διαφορετική πλευρά. Κατά αυτόν το τρόπο μπορούν να ληφθούν περισσότερα στοιχεία για τα αντικείμενα, καθώς και να επιβεβαιωθούν ή να απορριφθούν τα συμπεράσματα από την πρώτη ακτινογράφιση. Σε αυτήν την ακτινογράφιση τοποθετήθηκε ο Μαύρος χωροβάτης πλαγίως.

Η συγκεκριμένη ακτινογράφιση απέδωσε ιδιαίτερα λευκές τις περιοχές του χωροβάτη, σε όλα τα μέρη όπου το αποτελούν. Η πιο διαπερατή επιφάνεια του τηλεσκοπίου, αποδίδεται στο λεπτό πάχος του. Οι εικόνες γενικά δίνουν ιδιαίτερα λευκά αποτελέσματα στις μεταλλικές περιοχές, πράγμα που δηλώνει υψηλή συγκέντρωση του μετάλλου στο κράμα κατασκευής.

Μια αχνή διαγράμμιση όπου αποτυπώνεται στο εσωτερικό του τηλεσκοπίου, αφορά τους δακτυλίους ενός ξύλινου στηρίγματος, όπου τοποθετήθηκε για να μην είναι σε κλήση το τηλεσκόπιο.

## 2.3 Πλάγια όψη τρικοχλίου (Θεοδόλιχος 2 PR2):

Πρόκειται για πλάγια ακτινογράφιση του τρικοχλίου του Θεοδόλιχου. Το αντικείμενο ακτινογραφήθηκε ξεχωριστά από το Μαύρο χωροβάτη.



Εικόνα 73 Τοποθέτηση του "Θεοδόλιχος 2PR2", από την πλάγια πλευρά του τρικοχλίου του Θεοδόλιχου. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 74 Τα αποτελέσματα της ακτινογράφισης (110 kVp, 100 mAs) της πλάγιας όψης του τρικοχλίου του Θεοδόλιχου.

Και σε αυτήν την ακτινογράφιση το τρικοχλίο του Θεοδόλιχου απέδωσε, μια ιδιαίτερα λευκή εικόνα. Αυτό αποδεικνύει την υψηλή περιεκτικότητα σε μέταλλο στο αντικείμενο. Όλα τα μέρη του τρικοχλίου και οι κοχλίες δώσανε ένα κοινό σπλιτνόν αποτέλεσμα. Το ένα πόδι του τρικοχλίου, εξαιτίας της μακρινής απόστασης από το μηχάνημα εκπομπής ακτινών-Χ δεν αποτυπώθηκε στη λήψη.

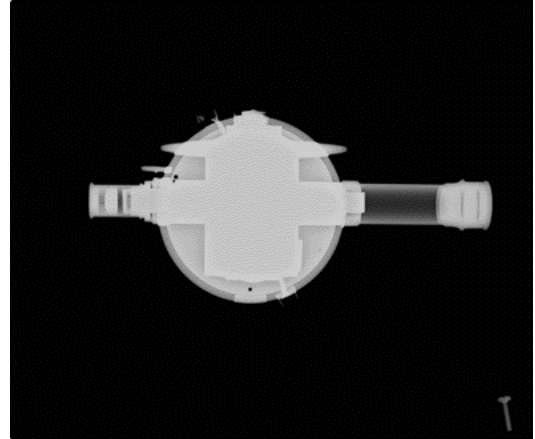
### 3. Θεοδόλιχος (Θεοδόλιχος 3):

Πρόκειται για το άνω μόνο μέρος του Θεοδόλιχου χωρίς όμως το τρικόχλιο του, το οποίο αναλύθηκε στην προηγούμενη ακτινογράφιση.

#### 3.1 Άνω όψη Θεοδόλιχου (Θεοδόλιχος 3F):



Εικόνα 75 Τοποθέτηση του Θεοδόλιχου και ακτινογράφιση από την πάνω όψη του. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



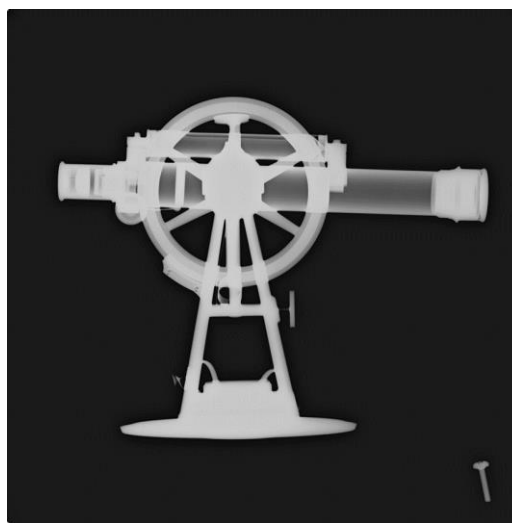
Εικόνα 76 Αποτέλεσμα ακτινογράφισης (110 kVp, 100 mAs), της πάνω όψης του άνω μέρους του Θεοδόλιχου.

Η ακτινογράφιση έδειξε μια ενιαία έντονα λευκή επιφάνεια στο συνολικό σώμα του οργάνου. Επιπλέον, λευκά αποτυπώθηκαν και τα υπόλοιπα μέρη του αντικειμένου, υποδηλώνοντας την υψηλή περιεκτικότητα σε μέταλλο. Και σε αυτήν την περίπτωση, ο κυλινδρικός σωλήνας του τηλεσκοπίου ήταν διαπερατός, αποκαλύπτοντας το εσωτερικό του.

### 3.2 Πλάγια όψη του Θεοδόλιχου (Θεοδόλιχος 3PR):



Εικόνα 77 Τοποθέτηση του "Θεοδόλιχος 3PR", από την πλάγια όψη του θεοδόλιχου. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουργλίδου, Α. Σαμπάνης).

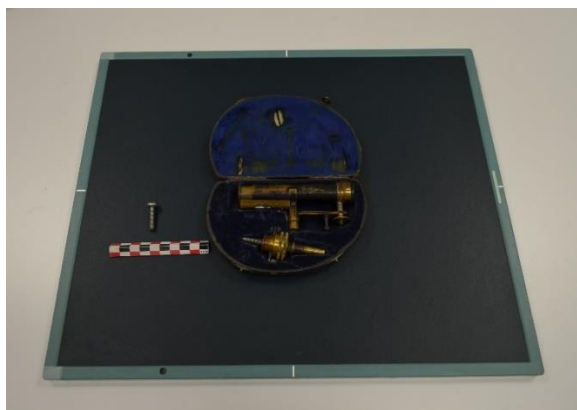


Εικόνα 78 Αποτέλεσμα ακτινογράφησης(110kVp, 100 mAs), από την πλάγια όψη του "Θεοδόλιχος 3PR".

Από την πλάγια ακτινογράφηση του αντικειμένου, γίνεται διακριτή η σύνθεση του θεοδόλιχου από τα υπόλοιπα μέρη του. Επίσης, υπάρχει καλύτερη εικόνα για το εσωτερικό στο τηλεσκόπιο του. Σε αυτήν την ακτινογράφηση, δεν έχουμε μία ενιαία λευκή επιφάνεια, αλλά με διαβαθμίσεις του άσπρου διαφοροποιούνται όλα τα μέρη του αντικειμένου. Κατά αυτόν τον τρόπο, γίνεται κατανοητή η διαφορετική συγκέντρωση μετάλλου σε κάθε μέρος. Ιδιαίτερα λευκό αποτυπώθηκε το βασικό σώμα του θεοδόλιχου, το οποίο αποτελείται από τον οριζόντιο κύκλο του και από τα στηρίγματα. Πιο υπόλευκες επιφάνειες έδωσαν, οι κοχλίες, ο κάθετος κύκλος και οι φακοί στο τηλεσκόπιο. Οι πιο αχνές περιοχές ήταν το κυλινδρικό σώμα στο τηλεσκόπιο και στη σωληνωτή αεροστάθμη.

#### 4. Μικρός χωροβάτης (Θεοδόλιχος 4):

Πρόκειται για τον Μικρό χωροβάτη, ο οποίος τοποθετήθηκε μαζί με τη βάση του, όπως βρίσκονται μέσα στη θήκη τους. Δεν χρειάστηκε πάνω από μία ακτινογράφιση, καθώς η ανάλυση από την πλάγια πλευρά κάλυπτε όλη την πληροφορία για το συγκεκριμένο αντικείμενο.



Εικόνα 79 Τοποθέτηση του Μικρού χωροβάτη μαζί με τη θήκη του. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 80 Αποτέλεσμα της ακτινογράφισης (100 kVp, 80 mAs), αποτυπώθηκε όλο το σύνολο του αντικειμένου.

Η ακτινογράφιση έδωσε μια αρκετά λευκή και ομοιόμορφη εικόνα. Παρόλο, που ο Μικρός χωροβάτης αποτελείται κυρίως από το τηλεσκόπιο, υπήρξε πιο σπλιπνή επιφάνεια σε σύγκριση με τα τηλεσκόπια των προηγούμενων αντικειμένων. Αυτό υποδηλώνει την πιθανή υψηλότερη συγκέντρωση μετάλλου στο αντικείμενο. Η βάση του χωροβάτη έδωσε μια ενιαία εικόνα και παρόμοια με τον ίδιο το χωροβάτη. Τέσσερα λευκά σημεία όπου αποτυπώθηκαν σε εκατέρωθεν άκρες, αποτελούν τα σιδερένια κλείστρα της θήκης.

Συμπερασματικά, με βάση τις παρατηρήσεις των ακτινογραφικών εικόνων, εξήχθησαν τα ακόλουθα συμπεράσματα για τα αντικείμενα:

1. Τα όργανα της συλλογής αφορούν σύνθετα αντικείμενα. Η πολυπλοκότητα στη συναρμολόγησή τους, η ποικιλία εξαρτημάτων εσωτερικών και εξωτερικών, καθώς και η παρουσία και άλλων μετάλλων όπως και άλλων υλικών κατασκευής, τεκμηριώνουν πως πρόκειται για σύνθετα αντικείμενα.
2. Μέσω της ακτινογράφισης παρατηρούνται τα επιμέρους στοιχεία που αποτελούν τα τοπογραφικά όργανα. Ιδιαίτερα στα τηλεσκόπια των οργάνων, όπου γίνονται ορατά όλα τα εσωτερικά τμήματα που τα συνθέτουν.
3. Όλα τα αντικείμενα έχουν κατασκευαστεί με χύτευση. Αυτό αποδεικνύεται κυρίως στις μεγάλες ορειχάλκινες επιφάνειες, όπου φαίνεται η πορώδης υφή του μετάλλου. Αυτή σχηματίζεται στο μέταλλο όταν χυτεύεται και φυσαλίδες αέρα βγαίνουν από το εσωτερικό του υλικού προς τα έξω.
4. Αυτή η πορώδης επιφάνεια είναι αντιληπτή, περισσότερο σε εσωτερικά τμήματα, όπως στους οριζόντιους κύκλους, τις βάσεις των οργάνων κ.α. Στα εξωτερικά τμήματα

των οργάνων, δεν διατηρείται αυτή η πορώδης επιφάνεια. Καθώς σε αυτά τα τμήματα ήταν επιθυμητή από του κατασκευαστές μια σιλπνή και λαμπερή υφή.

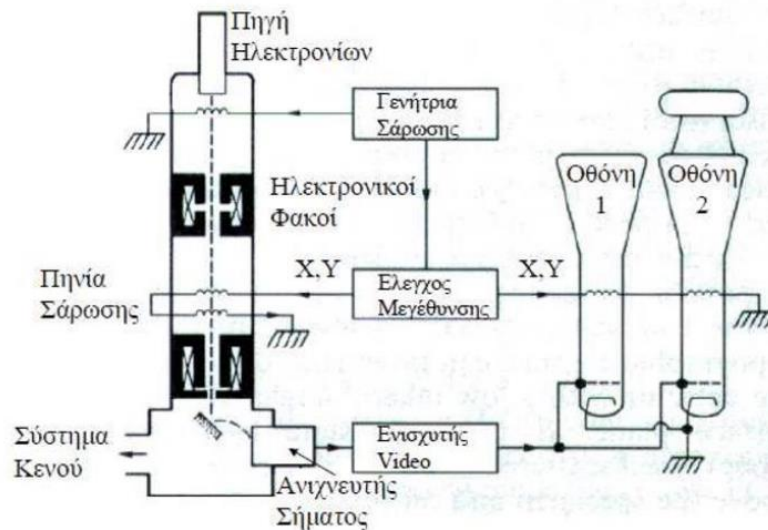
5. Είναι κατασκευασμένα από κράμα ορείχαλκου στο οποίο μπορεί να περιέχει και μόλυβδος. Το συγκεκριμένο συμπέρασμα αποτελεί μία υπόθεση. Η μεταλλικές περιοχές στις ακτινογραφίες έδωσαν ιδιαίτερα λευκές εικόνες, δηλώνοντας υψηλή περιεκτικότητα μετάλλου. Τόσο λευκή εικόνα δεν αποδίδουν μόνα τους τα κράματα ορείχαλκου, αυτό υποδεικνύει πως το κράμα είναι πιθανό να περιέχει επιπλέον μέταλλα μεγαλύτερης συγκέντρωσης, όπως ο μόλυβδος.

#### 4.3.2. Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης με φασματοφωτόμετρο ενεργειακής διασποράς ακτίνων- Χ (SEM-EDAX):

##### Αρχή της μεθόδου:

Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης χρησιμοποιεί δέσμη ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας για να εξετάσει αντικείμενα σε λεπτομερή κλίμακα. Τα ηλεκτρόνια λόγω της κυματικής τους φύσης μπορούν να εστιαστούν, όπως και τα φωτεινά κύματα, αλλά σε πολύ μικρότερη επιφάνεια (π.χ. κόκκος υλικού). Η δέσμη ηλεκτρονίων σαρώνει την επιφάνεια του δείγματος με το οποίο αλληλοεπιδρά. Από την αλληλεπίδραση αυτή προκύπτουν πληροφορίες σε σχέση με τα άτομα των στοιχείων που απαρτίζουν το εξεταζόμενο υλικό. Από τα άτομα των στοιχείων εκπέμπονται κυρίως δευτερογενή (secondary) και οπισθοσκεδαζόμενα (backscattered) ηλεκτρόνια, καθώς και ακτίνες Χ. Η ένταση των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας. Έτσι το SEM δίνει πληροφορίες που αφορούν κυρίως στη μορφολογία και στη σύσταση της επιφανείας. Εφαρμόζοντας ένα σύστημα ανίχνευσης της διασποράς των ενεργειών των ακτίνων Χ που δημιουργούνται στην επιφάνεια από την προσπίπτουσα δέσμη, μπορεί να γίνει ημιποσοτική στοιχειακή ανάλυση του υλικού. Επομένως το SEM χρησιμοποιείται για την εξέταση μικροδομής στερεών δειγμάτων και για να δίνει εικόνες υψηλού βαθμού διεύθυνσης. (Λυριτζής 2007)





Εικόνα 81 Σχεδιάγραμμα λειτουργίας SEM-EDAX (© Κυριακίδης, et al., 2014)

Διαδικασία ανάλυσης:

Η στοιχειακή ανάλυση έγινε με SEM-EDAX (με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης JEOL-JSM-6510LV). Το μικροσκόπιο αυτό, βρίσκεται στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής – Σχολή Καλλιτεχνικών Σπουδών - Τμήμα Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης και το χειρίζεται ο κύριος Αθανάσιος Καραμπότσος, σε θέση Ειδικού Τεχνικού Εργαστηριακού Προσωπικού (Ε.Τ.Ε.Π.).



Εικόνα 82 Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης ΠαΔΑ



Εικόνα 83 Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης ΠαΔΑ

Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο έχει το πλεονέκτημα πως χρειάζεται ελάχιστη προετοιμασία δείγματος. Παρόλα αυτά, η σωστή προετοιμασία και η σωστή χρήση του, έχουν ως αποτέλεσμα εικόνες υψηλής ποιότητας και αξιόπιστες φασματομετρικές πληροφορίες. Έτσι, κρίνεται απαραίτητο, οι επιφάνειες που θα εξεταστούν να μην έχουν μολυνθεί, να υπάρχει αντίσταση του δείγματος στο υψηλό κενό και στην ηλεκτρονική ακτίνα, απουσία ηλεκτρικής φόρτισης και αρκετά υψηλή παροχή ηλεκτρονίων. Απαιτείται προσοχή τόσο στον καθαρισμό, όσο και στην απουσία υπολειμμάτων καθαρισμού.

Όσον αφορά τα δείγματα που αναλύθηκαν, για την παρούσα εργασία, καθαρίστηκαν εκτεταμένα με διάλυμα αιθανόλης και τοποθετήθηκαν αυτούσια εντός του θαλάμου του μηχανήματος.

Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης διαθέτει οθόνη τεσσάρων πλαισίων, τα οποία παρακολουθούνται ταυτοχρόνως και σε κάθε πλαίσιο παρουσιάζονται ξεχωριστά:

- ❖ η επιφάνεια του δείγματος από τον ανιχνευτή δευτερογενών ηλεκτρονίων,
- ❖ η κατανομή των φάσεων από τον ανιχνευτή των οπισθοσκεδαζόμενων ηλεκτρονίων,
- ❖ μια μεικτή εικόνα μορφολογίας και κατανομής φάσεων και
- ❖ η «ζωντανή» εικόνα από τον θάλαμο του δείγματος μέσω κάμερας.

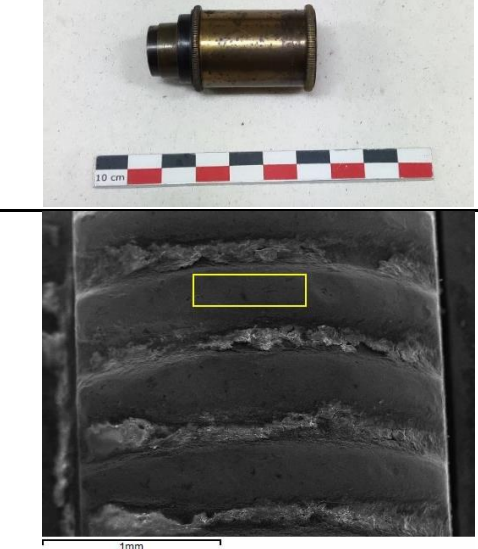
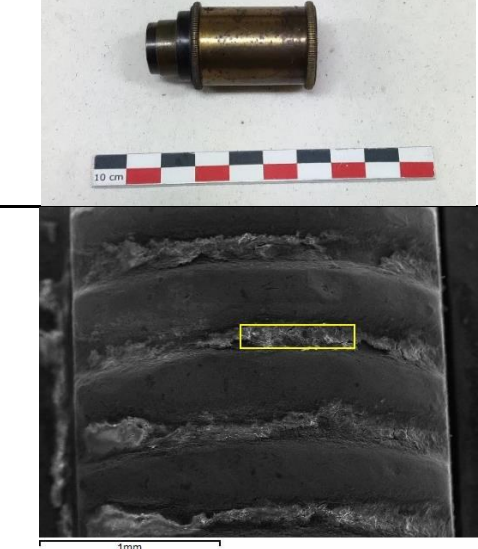
Παράλληλα, υπάρχει δεύτερος υπολογιστής με ξεχωριστή οθόνη στην οποία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ακτινανάλυσης με το λογισμικό EDAX Genesis. Υπάρχει η δυνατότητα στοιχειακής ανάλυσης σε ένα σημείο του δείγματος, οπότε προκύπτουν φάσματα της κλασικής μορφής, αλλά και η δυνατότητα ανάλυσης ευρύτερης περιοχής. Στην δεύτερη περίπτωση η δέσμη ηλεκτρονίων σαρώνει το δείγμα σταματώντας σε συγκεκριμένα σημεία όπου μετρά την εκπομπή των ακτίνων Χ που φθάνουν στον ανιχνευτή. Η εκπεμπόμενη ακτινοβολία κάθε σημείου παρουσιάζεται μέσω διαγράμματος κατανομής των διαφόρων στοιχείων.

Τα αποτελέσματα από την εξέταση των δειγμάτων με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο παρουσιάζονται με την μορφή εικόνων μορφολογίας επιφανείας και κατανομής φάσεων, καθώς


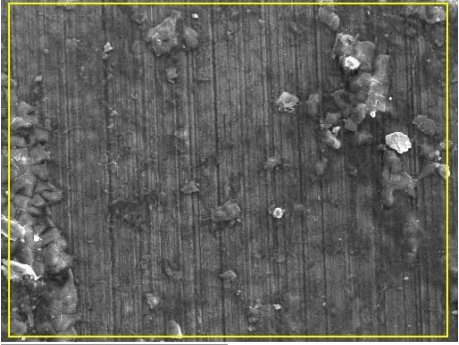
επίσης και με τα χαρακτηριστικά φάσματα ακτίνων Χ είτε με την απεικόνιση κατανομής των διαφόρων στοιχείων επί της επιφανείας του δείγματος. (Κουή et al 2019)

Αποτελέσματα από την ανάλυση:


ΤΗ1 (Θεοδόλιχος/Προσοφθάμιος):

Δείγμα	Φωτογραφίες	Στοιχειακή Ανάλυση <sup>5</sup>	Παρατηρήσεις
ΤΗ1.1	 <p>10 cm</p> <p>1mm</p> <p>Εικόνα 1</p>	<u>Cu</u> , <u>C</u> , <u>Zn</u> , <u>O</u> , (Cl), (Fe), (Ni), (S)	Η ανάλυση, έγινε σε περιοχή «καθαρού» μετάλλου και έδωσε μεγάλα ποσοστά χαλκού και ψευδάργυρου, με το οποίο επιβεβαιώθηκε πως πρόκειται για ορείχαλκο.
ΤΗ1.2	 <p>10 cm</p> <p>1mm</p> <p>Εικόνα 2</p>	<u>O</u> , <u>C</u> , Ca, Cu, Si, Zn, Cl, Al, Na, (S), (Fe), (K), (Mg), (Ba)	Η ανάλυση, έγινε σε περιοχή με επικαθίσεις και με υπολείμματα από άλλο υλικό. Λόγω του μεγάλου ποσοστού άνθρακα, πρόκειται για επικάλυψη με βερνίκι. Επιπλέον ανιχνεύθηκαν κραματικά στοιχεία, χλώριο και νάτριο, δηλαδή χλωριούχο νάτριο από τον ιδρώτα των χεριών, ως επιμόλυνση από

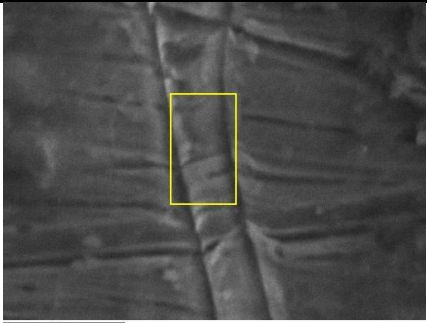


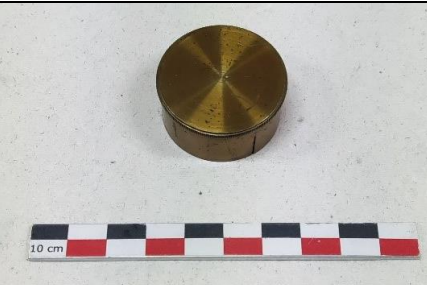
<sup>5</sup> Χημικά στοιχεία ταξινομούνται ποιοτικά ως μείζονα, δευτερεύοντα ή (ίχνος). Οι κατηγορίες βασίζονται σε κανονικοποιημένα ποσοστά βάρους που υπολογίζονται από το λογισμικό μικροανάλυσης ακτίνων Χ της Oxford Aztec. Τα υπογραμμισμένα στοιχεία είναι της τάξης άνω των 10%, τα μη υπογραμμισμένα της τάξης κάτω των 10% και σε παρένθεση τα στοιχεία κάτω του 1%.

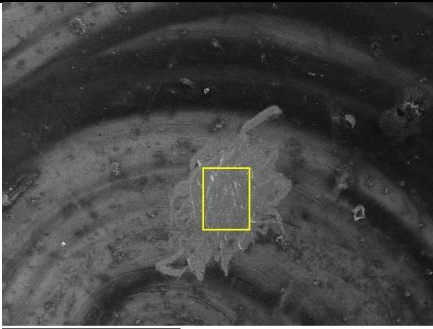
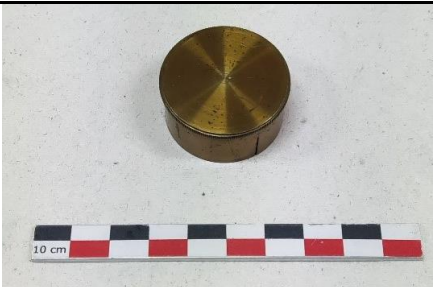
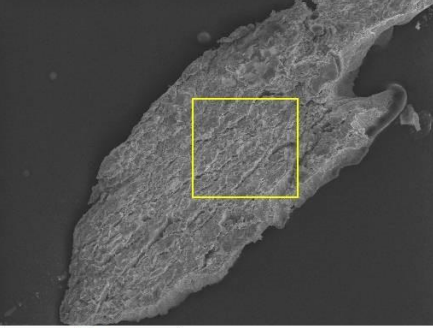

			το περιβάλλον έκθεσης (πιθανώς τα χέρια των μελετητών).
TH1.3	  <p style="text-align: center;">Εικόνα 3</p>	<u>C</u> , <u>Cu</u> , <u>O</u> , <u>Zn</u> , Na, Cl, (S), (Ca), (Si), (K), (Fe)	<p>Οι γραμμές που φαίνονται στην φωτογραφία αποδεικνύουν την δημιουργία όλου του αντικειμένου με την χρήση τόρνου. Επιπλέον ανιχνεύθηκαν κραματικά στοιχεία, χλώριο και νάτριο, δηλαδή χλωριούχο νάτριο από τον ιδρώτα των χεριών, ως επιμόλυνση από το περιβάλλον έκθεσης (πιθανώς τα χέρια των μελετητών)</p>

### TH2(Θεοδόλιχος/Κάλυπτρο)

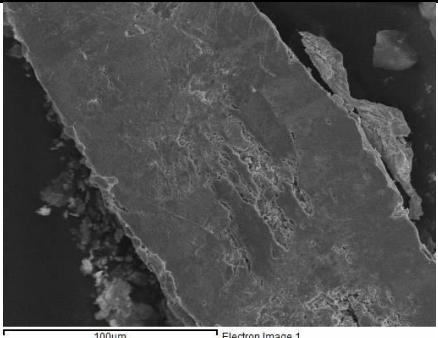
Δείγμα	Φωτογραφίες	Στοιχειακή Ανάλυση <sup>6</sup>	Παρατηρήσεις
TH2.1		<u>Cu</u> , <u>Zn</u> , <u>C</u> , <u>O</u> , Sn, As, Cl, (Mg)	<p>Η ανάλυση έγινε σε μια ανοιχτόχρωμη περιοχή. Εμφάνιση υψηλών ποσοστών χαλκού και ψευδαργύρου, που</p>

<sup>6</sup> Χημικά στοιχεία ταξινομούνται ποιοτικά ως μείζονα, δευτερεύοντα ή (ίχνος). Οι κατηγορίες βασίζονται σε κανονικοποιημένα ποσοστά βάρους που υπολογίζονται από το λογισμικό μικροανάλυσης ακτίνων Χ της Oxford Aztec. Τα υπογραμμισμένα στοιχεία είναι της τάξης άνω των 10%, τα μη υπογραμμισμένα της τάξης κάτω των 10% και σε παρένθεση τα στοιχεία κάτω του 1%.


	 <p>Εικόνα 4</p>		<p>επιβεβαιώνουν πως πρόκειται για ορείχαλκο. Επιπλέον ανιχνεύθηκαν κραματικά στοιχεία (Sn, As), καθώς και χλώριο, ως επιμόλυνση από το περιβάλλον έκθεσης (πιθανώς τα χέρια των μελετητών).</p>
TH2.2	  <p>Εικόνα 5</p>		<p>Δεν μπορούσε να γίνει ανάλυση λόγω της ύπαρξης βερνικιού.</p>
TH2.3		<p><u>Cu</u>, <u>Zn</u>, <u>C</u>, O, Sn</p>	<p>Η ανάλυση έγινε σε περιοχή με χάραξη. Εμφάνιση υψηλών ποσοστών χαλκού και ψευδαργύρου, που επιβεβαιώνουν</p>

	 <p>Εικόνα 6</p>		<p>πως πρόκειται για ορείχαλκο. Επιπλέον, η ύπαρξη κασσιτέρου, ταυτοποιήθηκε σαν τρίτο κραματικό στοιχείο για τον ορείχαλκο.</p>
TH2.4	  <p>Εικόνα 7</p>	<p><u>Sn</u>, <u>Pb</u>, <u>O</u>, <u>C</u>, Zn, Cu, (Al), (Fe), (Cl), (Si)</p> <p>Με αναγωγή <u>Sn</u>, <u>Pb</u>, Zn, Cu, (Al), (Cl), (Fe), (Si)</p>	<p>Πάρθηκε ρίνισμα από την εσωτερική πλευρά του καλύπτρου, στο οποίο βρέθηκαν υψηλά ποσοστά μόλυβδου και κασσιτέρου. Συμπερασματικά τα δύο τμήματα του καλύπτρου, έχουν συγκολληθεί με καλά<sup>7</sup>. Επιπλέον, τα ποσοστά χαλκού και ψευδαργύρου, δείχνουν πως ο πρόκειται για καθαρό ορείχαλκο.</p>
TH2.5		<p><u>Pb</u>, <u>Sn</u>, <u>Cu</u>, Zn, O</p>	<p>Πάρθηκε ρίνισμα από την εσωτερική πλευρά του καλύπτρου, στο οποίο βρέθηκαν υψηλά ποσοστά μόλυβδου και</p>

<sup>7</sup> Η ονομασία καλάι (στα αγγλικά: solder ή kalay), προέρχεται από την τουρκική λέξη kalay που σημαίνει κασσίτερος. Πρόκειται συνήθως για κάποιο κράμα κασσίτερου, αναμειγμένο με άλλα μαλακά μέταλλα χαμηλού σχετικού σημείου τήξης όπως χαλκός, ψευδάργυρος και κάτω από 2% άργυρος. Τα κράματα αυτά μορφοποιούνται συνήθως σε ράβδους ή σε συρμάτινα ρολά. Η κασσιτεροκόλληση (αγγλικά: soldering) είναι μια μαλακή συγκόλληση της οποίας οι συγκολλήσεις είναι αγώγιμες και μη ανθεκτικές στη μηχανική καταπόνηση. Το κράμα περιείχε παλιότερα και μόλυβδο, του οποίου η χρήση έχει σήμερα περιοριστεί μιας και είναι ένα ιδιαίτερα τοξικό μέταλλο. Η ευρωπαϊκή κοινοτική οδηγία WEEE έχει απαγορεύσει τη χρήση μολύβδου σε ηλεκτρονικές συσκευές μαζικής παραγωγής, και επίσης η χρήση του περιορίζεται από την ευρωπαϊκή οδηγία RoHS (Σούτης 2006; Πίτρης 2009).



	 <p style="text-align: center;">Εικόνα 8</p>	<p>κασσιτέρου. Συμπερασματικά τα δύο τμήματα του καλύπτρου, έχουν συγκολληθεί με καλάι.</p>
--	---	---

*LS1(Μικρός χωροβάτης)*

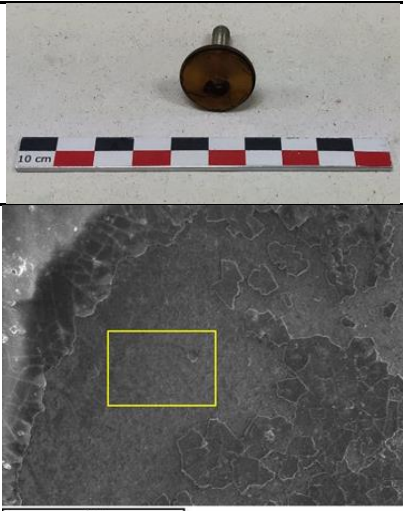
Δείγμα	Φωτογραφίες	Στοιχειακή Ανάλυση <sup>8</sup>	Παρατηρήσεις
LS1.1	 <p style="text-align: center;">Εικόνα 9</p>	<p><u>C</u>, <u>O</u>, (Zn), (Na), (Cu), (Ca), (Cl), (C), (K), (Al), (Fe), (S)</p>	<p>Η ανάλυση έγινε στην σκουρόχρωμη περιοχή. Βρέθηκαν υψηλά ποσοστά άνθρακα, οπότε υπάρχει και εδώ βερνίκι.</p>

<sup>8</sup> Χημικά στοιχεία ταξινομούνται ποιοτικά ως μείζονα, δευτερεύοντα ή (ίχνος). Οι κατηγορίες βασίζονται σε κανονικοποιημένα ποσοστά βάρους που υπολογίζονται από το λογισμικό μικροανάλυσης ακτίνων Χ της Oxford Aztec. Τα υπογραμμισμένα στοιχεία είναι της τάξης άνω των 10%, τα μη υπογραμμισμένα της τάξης κάτω των 10% και σε παρένθεση τα στοιχεία κάτω του 1%.



<p>LS1.2</p>	 <p>Εικόνα 10</p>	<p><u>Fe</u>, <u>O</u>, <u>C</u>, (Cl), (Na), (K), (Ca)</p>	<p>Η ανάλυση έγινε στην περιοχή του ενός κυλινδρικού πύρου, με σφαιρική ακμή, η οποία μαγνητίζει και έτσι ταυτοποιήθηκε ο σίδηρος.</p>
<p>LS1.3</p>	 <p>Εικόνα 11</p>	<p><u>Cu</u>, <u>C</u>, <u>Zn</u>, O, (Sn), (Fe), (Cl)</p> <p>Με αναγωγή <u>Cu</u>, <u>Zn</u>, Sn, (Cl), (Fe)</p>	<p>Από την καθαρή περιοχή, η ανάλυση επιβεβαίωσε τον ορείχαλκο. Επιπλέον, η ύπαρξη κασσιτέρου, ταυτοποιήθηκε σαν τρίτο κραματικό στοιχείο για τον ορείχαλκο</p>

LB1(Μαύρος χωροβάτης)

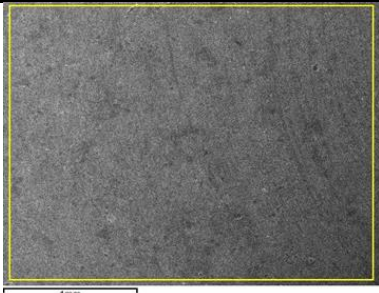
Δείγμα	Φωτογραφίες	Στοιχειακή Ανάλυση <sup>9</sup>	Παρατηρήσεις
LB1.1	 <p>Εικόνα 12</p>	<p><u>O</u>, <u>C</u>, <u>Cu</u>, <u>Zn</u>, Cl, S, Ca, (Si), (Fe), (Cu), (Al), (Mg)</p>	<p>Από την φωτογραφία της ανάλυσης παρατηρήθηκε το απολεπισμένο, επικαλυπτικό, βερνίκι. Επιπλέον το χλώριο και το θείο, φαίνεται να έχουν προκύψει από ρύπους, ενώ τα ιχνοστοιχεία Si και Al πιθανότατα είναι υπολείμματα της διαδικασίας κατασκευής.</p>

AL 1(Alidade/Κάλυπτρο)


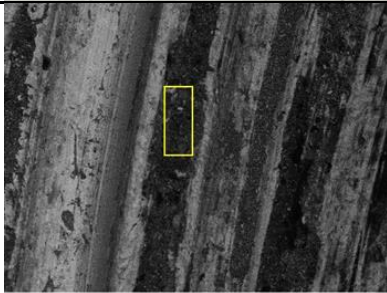
Δείγμα	Φωτογραφίες	Στοιχειακή Ανάλυση <sup>10</sup>	Παρατηρήσεις
AL1.1		<p><u>O</u>, <u>C</u>, <u>Cu</u>, <u>Zn</u>, Cl, S, (Si), (Ca), (Al), (Mg), (K), (Fe)</p>	<p>Η ανάλυση έγινε στην μαυρισμένη επιφάνεια. Εμφάνιση υψηλών ποσοστών χαλκού και ψευδαργύρου, που επιβεβαιώνουν πως πρόκειται για ορείχαλκο.</p>

<sup>9</sup> Χημικά στοιχεία ταξινομούνται ποιοτικά ως μείζονα, δευτερεύοντα ή (ίχνος). Οι κατηγορίες βασίζονται σε κανονικοποιημένα ποσοστά βάρους που υπολογίζονται από το λογισμικό μικροανάλυσης ακτίνων X της Oxford Aztec. Τα υπογραμμισμένα στοιχεία είναι της τάξης άνω των 10%, τα μη υπογραμμισμένα της τάξης κάτω των 10% και σε παρένθεση τα στοιχεία κάτω του 1%.

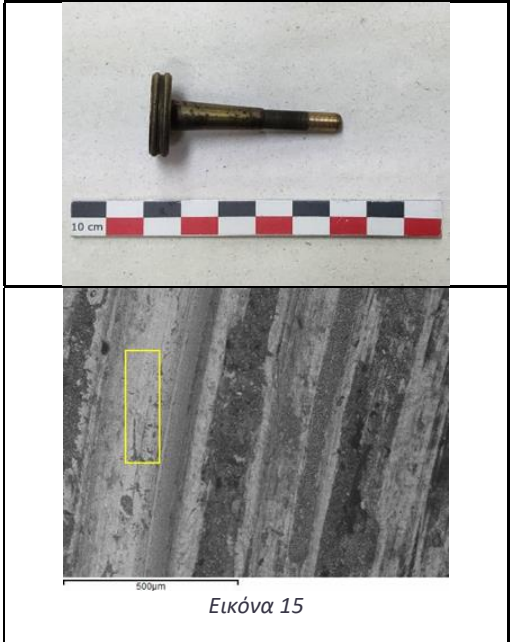
<sup>10</sup> Χημικά στοιχεία ταξινομούνται ποιοτικά ως μείζονα, δευτερεύοντα ή (ίχνος). Οι κατηγορίες βασίζονται σε κανονικοποιημένα ποσοστά βάρους που υπολογίζονται από το λογισμικό μικροανάλυσης ακτίνων X της Oxford Aztec. Τα υπογραμμισμένα στοιχεία είναι της τάξης άνω των 10%, τα μη υπογραμμισμένα της τάξης κάτω των 10% και σε παρένθεση τα στοιχεία κάτω του 1%.

	 <p>Εικόνα 13</p>	<p>Επιπλέον το χλώριο και το θείο, φαίνεται να έχουν προκύψει από ρύπους, ενώ τα ιχνοστοιχεία Si και Al πιθανότατα είναι υπολείμματα της διαδικασίας κατασκευής.</p>
--	--	--

### AL2(Alidade/Κοχλίας)

Δείγμα	Φωτογραφίες	Στοιχειακή Ανάλυση <sup>11</sup>	Παρατηρήσεις
AL2.1	  <p>Εικόνα 14</p>	<p><u>O</u>, <u>C</u>, <u>Cu</u>, Zn, Sn, Cl, Ca, Si, (S), (Fe), (Al), (Mg)</p>	<p>Η ανάλυση έγινε σε περιοχή με επικαθίσεις. Ο χαλκός και ο ψευδάργυρος επιβεβαιώνουν πως πρόκειται για ορείχαλκο, ενώ η ύπαρξη κασιτέρου, τακτοποιείτε σαν τρίτο κραματικό στοιχείο για τον ορείχαλκο. Επιπλέον το χλώριο και το θείο, φαίνεται να έχουν προκύψει από ρύπους, ενώ τα ιχνοστοιχεία Si και Al πιθανότατα είναι υπολείμματα της διαδικασίας κατασκευής.</p>

<sup>11</sup> Χημικά στοιχεία ταξινομούνται ποιοτικά ως μείζονα, δευτερεύοντα ή (ίχνος). Οι κατηγορίες βασίζονται σε κανονικοποιημένα ποσοστά βάρους που υπολογίζονται από το λογισμικό μικροανάλυσης ακτίνων X της Oxford Aztec. Τα υπογραμμισμένα στοιχεία είναι της τάξης άνω των 10%, τα μη υπογραμμισμένα της τάξης κάτω των 10% και σε παρένθεση τα στοιχεία κάτω του 1%.

AL2.2	 <p style="text-align: center;">Εικόνα 15</p>	<p><u>Cu, C, O,</u> Zn, Sn, (Fe), (P)</p> <p>Με ανα- γωγή <u>Cu, Sn, Zn,</u> (Fe), (P)</p>	<p>Η ανάλυση έγινε στην καθαρή περιοχή του μετάλλου. Εμφάνιση υψηλών ποσοστών χαλκού και ψευδαργύρου, που επιβεβαιώνουν πως πρόκειται για ορείχαλκο, ενώ η ύπαρξη κασσιτέρου, τακτοποιείτε σαν τρίτο κραματικό στοιχείο για τον ορείχαλκο.</p>
-------	--	--	--

Συμπερασματικά, από την ανάλυση των χημικών στοιχείων που βρέθηκαν:

- ❖ Ορειχάλκινα τμήματα, με τρίτο κραματικό στοιχείο τον κασσίτερο
- ❖ Σιδερένια τμήματα
- ❖ Χρήση τόννου, σαν μέθοδος κατασκευής/μορφοποίησης των αντικειμένων
- ❖ Επικαλυπτικό βερνίκι
- ❖ Συγκόλληση με καλάι, των δύο τμημάτων του καλύπτρου του θεοδόλιχου

#### 4.3.3 Φάσμα ανάκλασης υπέρυθρου:

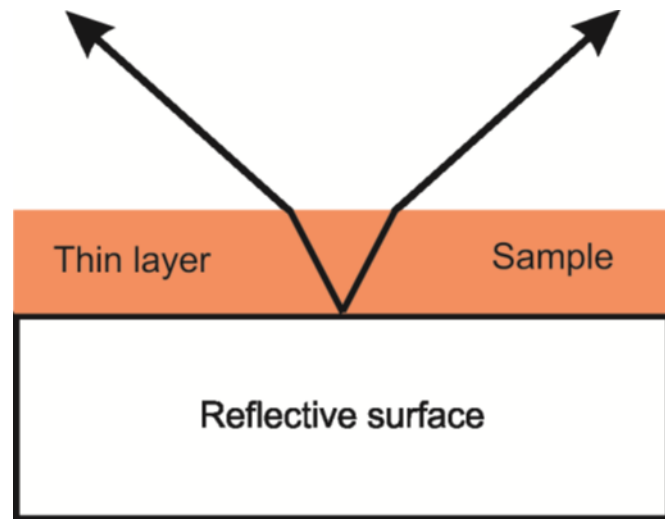
##### Αρχή της μεθόδου:

Η φασματοσκοπία ανάκλασης υπέρυθρου μελετά την αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας με της μοριακές δονήσεις των στοιχείων του δείγματος. Πρόκειται για μια εύχρηστη και μη καταστρεπτική φυσικοχημική μέθοδο ανάλυσης και μπορεί να εφαρμοστεί σε μεγάλο εύρος αντικείμενων ανεξάρτητα από το είδος τους και τη φύση τους. Ένα φάσμα υπέρυθρου συνήθως λαμβάνεται όταν διαπερνά η ακτινοβολία το δείγμα και καθορίζεται το ποσοστό της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας που απορροφήθηκε από τη συγκεκριμένη ενέργεια. Στο διάγραμμα φάσματος που λαμβάνεται κάθε κορυφή αντιπροσωπεύει τη συχνότητα μια δόνησης ενός μορίου του δείγματος. Συγκεκριμένα στο φάσμα ανάκλασης οι ιδιότητες απορρόφησης του δείγματος προκύπτουν από την ανακλώμενη ακτινοβολία. Η φασματοσκοπία ανάκλασης χωρίζεται σε δύο βασικές κατηγορίες την α) εσωτερική ανάκλαση και την β) εξωτερική ανάκλαση. Η εξωτερική ανάκλαση και αυτή με τη σειρά της χωρίζεται σε δύο κατηγορίες, οι οποίες εξαρτώνται από την επιφάνεια του δείγματος στην οποία προσπίπτει η ακτινοβολία. Έτσι προκύπτει η εξωτερική ανάκλαση να αποτελείται από:

- α. Κατοπτρική (κανονική) ανάκλαση: Η ανάκλαση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας γίνεται από σιλπινές, γυαλιστερές επιφάνειες σαν κάτοπτρα.

- β. Ανάκλαση διάχυσης: Η ανάκλαση της ακτινοβολίας πραγματοποιείται από τραχείες ανομοιόμορφες επιφάνειες που προκαλούν διάχυση της ακτινοβολίας (Khoshhesab 2012).

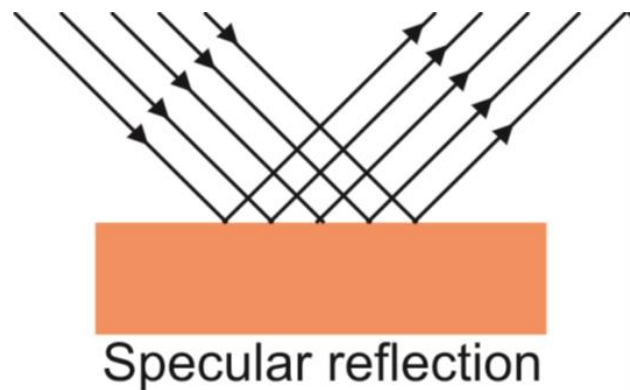
Τα δείγματα από τα τοπογραφικά αντικείμενα έχουν μια σιλπνή μεταλλική επιφάνεια του ορείχαλκου και από πάνω ένα λεπτό στρώμα βερνικιού. Όταν για την ταυτοποίηση των επικαλυπτικών τους εφαρμόζεται η εξωτερική ανάκλαση υπέρυθρου με κατοπτρική ανάκλαση. Παρόλο που σε κάθε αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας με μια επιφάνεια γίνεται και ανάκλαση και διάχυση, σε σιλπνές επιφάνειες το ποσοστό ακτινοβολίας που διαχέεται είναι αμελητέο για αυτό και δεν προσμετράται.



Εικόνα 84 Η διείσδυση της ακτινοβολίας στο στρώμα του δείγματος (επικαλυπτικό) και η ανάκλαση της από το μεταλλικό υπόστρωμα.  
(© Khoshhesab 2012 p. 240)

Στη εξωτερική ανάλυση και ειδικά στην κατοπτρική, υπολογίζονται μόνο οι ακτίνες που ανακλώνται κατευθείαν από την επιφάνεια. Κατοπτρική ανάκλαση από το δείγμα μπορεί να υφίσταται όταν η γωνία ανάκλασης είναι ίση με της γωνία της πρόσπτωσης της ακτινοβολίας. Αυτό συμβαίνει σε δείγματα όπου η επιφάνεια τους είναι λεία και γενικά σιλπνή ή όταν υπάρχει ως υπόστρωμα του δείγματος μια σιλπνή επιφάνεια. Όταν η ακτινοβολία ανακλάται άμεσα από την λεία επιφάνεια του δείγματός, τότε λαμβάνεται φάσμα ανάκλασης και μόνο. Ενώ όταν η ακτινοβολία διέρχεται του δείγματος και ανακλάται από ένα σιλπνό υπόστρωμα, τότε λαμβάνεται φάσμα ανάκλασης-απορρόφησης μαζί (Khoshhesab 2012). Επειδή τα δείγματα που

αναλύονται πρόκειται για λεπτά στρώματα επικαλυπτικού (βερνίκι, βαφή, πατίνα κ.λ.π), τα οποία έχουν ως υπόστρωμα μια σιλπνή ορειχάλκινη επιφάνεια, τότε εφαρμόζεται στην πράξη το φάσμα ανάκλασης-απορρόφησης, το οποίο αποτελεί και αυτό μέρος της κατοπτρικής ανάκλασης. Στα συγκεκριμένα φάσματα ένα μέρος της ακτινοβολίας ανακλάται στο στρώμα του δείγματος, στο επικαλυπτικό δηλαδή, και αποδίδεται στο φάσμα ως φάσμα ανάκλασης, ενώ το υπόλοιπο μέρος της ακτινοβολίας διεισδύει το επιφανειακό δείγμα και ανακλάται από το υπόστρωμα. Κατά αυτόν το τρόπο η ακτινοβολία διέρχεται δύο φορές από το δείγμα, μια προς την ανακλώμενη επιφάνεια και μια από αυτήν προς τον ανιχνευτή, με αποτέλεσμα να ενισχύεται η ένταση του φάσματος ανάκλασης (Khoshhesab 2012).



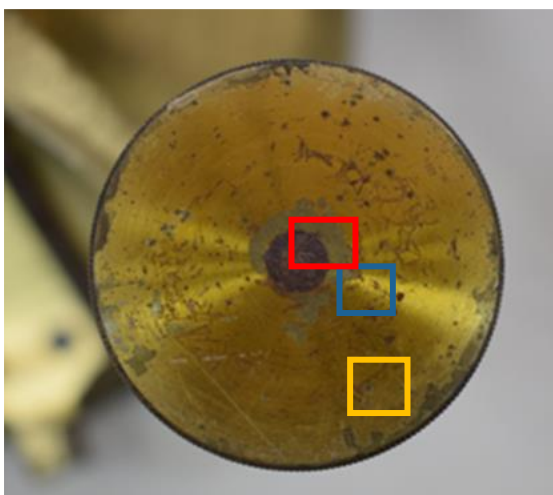
Εικόνα 85 Αναπαράσταση της κατοπτρικής ανάκλασης. (© Khoshhesab 2012 p. 239)

#### Αποτελέσματα φάσματος ανάκλασης:

Οι αναλύσεις έγιναν με το όργανο Bruker, μοντέλο Alpha II, που βρίσκεται στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής – Σχολή Καλλιτεχνικών Σπουδών - Τμήμα Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης και το χειρίζεται ο κύριος Σταμάτιος Μπογιατζής που ανήκει στο Διδακτικό Ερευνητικό Προσωπικό (ΔΕΠ). Τα φάσματα λήφθηκαν με τη μέθοδο εξωτερικής ανάκλασης χρησιμοποιώντας το ειδικό εξάρτημα της κατασκευάστριας εταιρείας. Εύρος λήψης/scan range: 4000-350 cm<sup>-1</sup>, resolution: 4 cm<sup>-1</sup>.

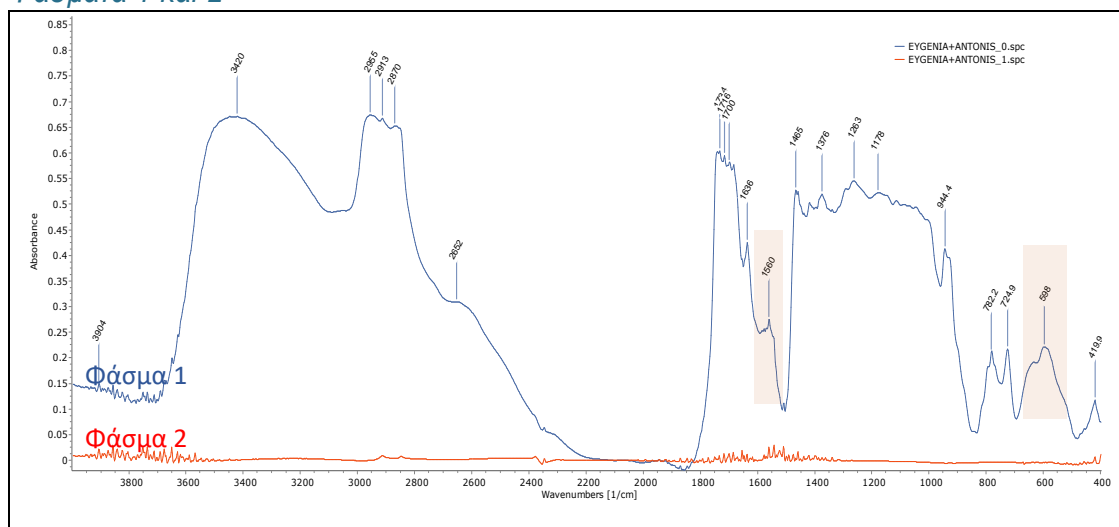
*Ερμηνεία των φασμάτων ανάκλασης σε επιφάνειες (δείγματα) από ορειχάλκινα τοπογραφικά όργανα.*

**Δείγμα 1: Κοχλίας τριχοχλίου (Κίτρινος Θεοδόλιχος)**



Εικόνα 86 Ο κοχλιάς του τρικοχλίου (Δείγμα 1), όπου λήφθηκαν τα φάσματα 1, 2 και 3. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

### Φάσματα 1 και 2



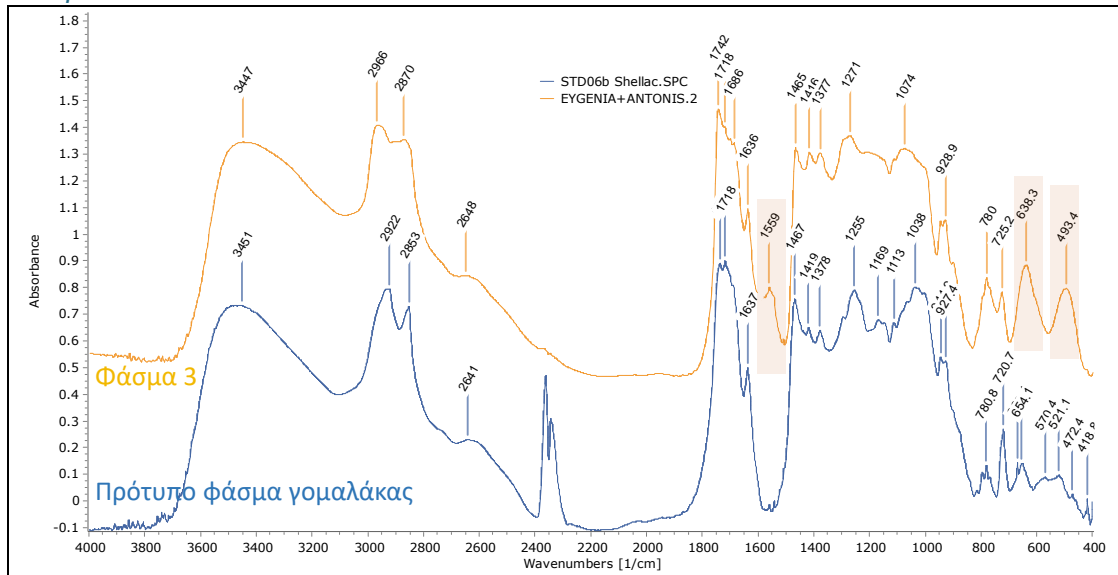
#### Φάσμα FTIR από το δείγμα 1

- Γηρασμένο βερνίκι (πιθ. γομαλάκα) με κορυφές: 3439, 2955, 2913, 2867, 1734, 1716, 1698, 1683, 1636, 1465, 1416, 1376, 1263, 1176, 944, 780, 724  $\text{cm}^{-1}$ . Οι κορυφές συμπίπτουν αρκετά με τις κορυφές που δίνει στην ανάκλαση υπέρυθρου η γομαλάκα, οπότε πρόκειται πιθανότατα για αυτό το υλικό (βλέπε πρότυπο φάσμα γομαλάκας στο επόμενο διάγραμμα). Η μικρή απόκλιση των συγκεκριμένων κορυφών από τις κορυφές υγιούς γομαλάκας δηλώνει πως το βερνίκι έχει οξειδωθεί σε μικρό βαθμό.
- Ρητινικά άλατα χαλκού (προϊόντα διάβρωσης, πιθανώς με το επικαλυπτικό) στα 1560  $\text{cm}^{-1}$  (σκιασμένη περιοχή).
- Οξειδία χαλκού (πιθανώς  $\text{Cu}_2\text{O}$  [κυπρίτης]) με κορυφή: 598, 631  $\text{cm}^{-1}$ . Μέσα στο δείγμα βερνικιού περιέχονται και οξειδία από το κράμα του ορείχαλκου κυρίως παρατηρούνται οξειδία του χαλκού (σκιασμένη περιοχή).

### Δείγμα 1, φάσμα 2 (Περιοχή μετάλλου):

- Επιφάνεια μετάλλου. Πρακτικά δεν υπάρχει οργανικό.

### Φάσμα 3



### Φάσμα FTIR από το δείγμα 1 (Περιοχή βερνικιού) :

- Βερνίκι (πιθ. γομαλάκα) με κορυφές: 1742, 1717, 1636, 1465, 1416, 1377, 1271, 928, 780, 725  $\text{cm}^{-1}$ . Οι κορυφές και εδώ επιβεβαιώνουν την ύπαρξη οργανικού επικαλυπτικού το οποίο ταυτίζεται με τη γομαλάκα (βλ. πρότυπο φάσμα στην Εικόνα).
- Η κορυφή στα 1559  $\text{cm}^{-1}$  (σκιασμένη περιοχή) αποδίδεται σε ρητινικά άλατα του χαλκού
- Οξειδία χαλκού με κορυφές (σκιασμένες περιοχές): 638 (πιθανώς  $\text{Cu}_2\text{O}$  [κυπρίτης]), 494  $\text{cm}^{-1}$  (πιθανώς  $\text{CuO}$ ). Υπάρχουν οξειδία του χαλκού μέσα στο βερνίκι τα οποία δίνουν λίγες κορυφές όμως επιβεβαιώνουν την ύπαρξη τους.
- Περιλαμβάνεται πρότυπο φάσμα γομαλάκας για λόγους σύγκρισης, με κύριες κορυφές στα 1737, 1718, 1636, 1467, 1419, 1378, 1255, 927, 780, 720  $\text{cm}^{-1}$ .

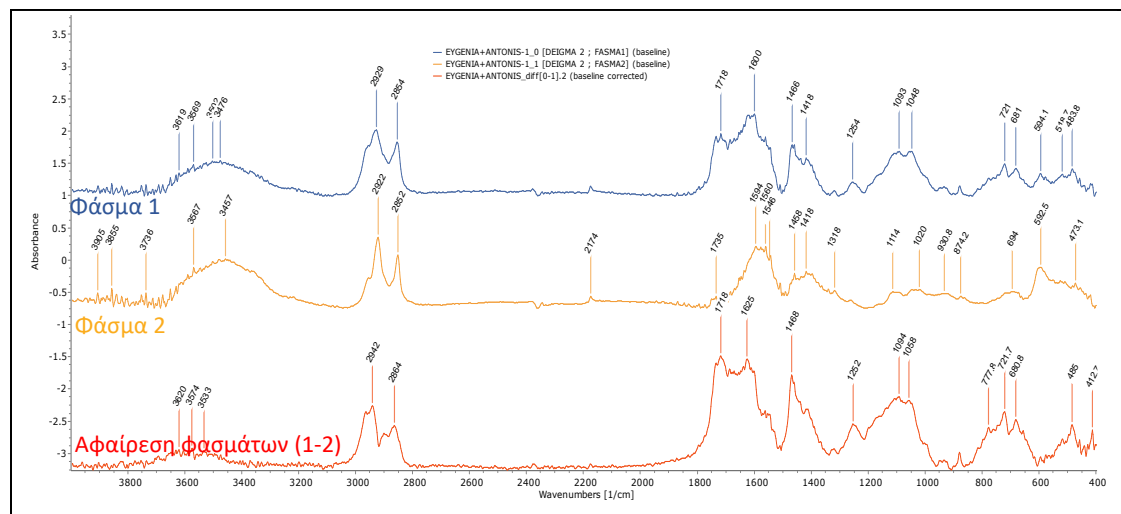
**ΣΗΜ.:** Ανιχνεύονται δύο είδη οξειδίων του χαλκού. Το  $\text{Cu}_2\text{O}$  [κυπρίτης] προκύπτει από τις κορυφές 598, 631  $\text{cm}^{-1}$  του φάσματος 1 και 3 και το δεύτερο οξείδιο ( $\text{CuO}$ ), από την κορυφή 494  $\text{cm}^{-1}$  του φάσματος 3.



## Δείγμα 2: Τηλεσκόπιο του Μικρού χωροβάτη

### 1<sup>ο</sup> Φάσμα: Μαύρη βαφή (Πράσινη καμπύλη)

Περιέχει και ανόργανο και οργανικό μέρος. Πιθανότητα γομαλάκα.



#### Φάσμα 1:

- Φυσική ρητίνη (πιθ. γομαλάκα): 2942, 2864, 1736, 1719, 1625, 1468, 1415, 1252, 1057, 933, 722  $\text{cm}^{-1}$
- Ανόργανα συστατικά (ανθρακικό ασβέστιο, πιθ. επικαθίσεις): 1416, 877  $\text{cm}^{-1}$

#### Φάσμα 2:

- Ρητινικός χαλκός (προϊόν διάβρωσης του χαλκού που προκύπτει από την επίδραση του βερνικιού στο κράμα) 2922, 2852, **1594**, **1560**, **1418**, 1091, 1019. Πρόκειται για το κιτρινωπό υπόστρωμα της μαύρης βαφής, είναι αβέβαιο εάν αφορά τεχνητή προετοιμασία πριν τη βαφή ή δημιουργήθηκε ως προϊόν διάβρωσης του χαλκού με το επικαλυπτικό.
- Πιθανότητα ύπαρξης Carbon Black ως συστατικό βαφής του τηλεσκοπίου: βάσει των κορυφών 1548, 1318  $\text{cm}^{-1}$

#### Αφαίρεση φασμάτων (1-2):

- Φαίνεται με μεγαλύτερη σαφήνεια η παρουσία του φυσικού οργανικού επικαλυπτικού

**ΣΗΜ.:** Η εντύπωση των νερών ξύλου που υπάρχει στο υπόστρωμα της μαύρης βαφής, πιθανότατα έχει αποδοθεί από απόξεση επικαλυπτικού για να εμφανίσει το κατώτερο στρώμα βερνικιού και για να εφαρμοστεί καλύτερα από πάνω η μαύρη βαφή. Δεν αφορά επιθυμητή επέμβαση, πιθανότατα πρόκειται για ένα τυχαίο αποτέλεσμα το οποίο αποδίδει μια ψευδή εντύπωση ξύλου. Είναι αρκετά πιθανό όλα τα στρώματα να είναι τεχνητά τοποθετημένα για επικάλυψη και ως προετοιμασία της μαύρης βαφής. Όποτε συνοπτικά πάνω από τον ορείχαλκο έχουν τοποθετηθεί πιθανότατα, τρία συνολικά επικαλυπτικά.

- 1) Καστανό επικαλυπτικό ακριβώς πάνω από το μέταλλο.
- 2) Κιτρινωπό επικαλυπτικό, πάνω από το καστανό.
- 3) Μαύρο εξωτερικό επικαλυπτικό, σαν βαφή. Καλύπτει όλο το σωλήνα του τηλεσκοπίου.

Το δεύτερο στρώμα, το κιτρινωπό βερνίκι, έχει πιθανότατα αποξεστεί, και στις κοιλότητες έχει διαβρωθεί το μέταλλο, δημιουργώντας ρητινικό χαλκό. Δηλαδή, η διάβρωση στις εσοχές του χαλκού από το βερνίκι, δημιούργησε αυτό το καστανό στρώμα, σπου είναι στο κατώτερο επίπεδο. Οπότε προκύπτει ότι πάνω από τον ορείχαλκο έχει διαμορφωθεί ένα καστανό στρώμα διάβρωσης από ρητινικό χαλκό και από επάνω τοποθετείται ένα κιτρινωπό επικαλυπτικό ως προετοιμασία του τρίτου στρώματος, της μαύρης βαφής.



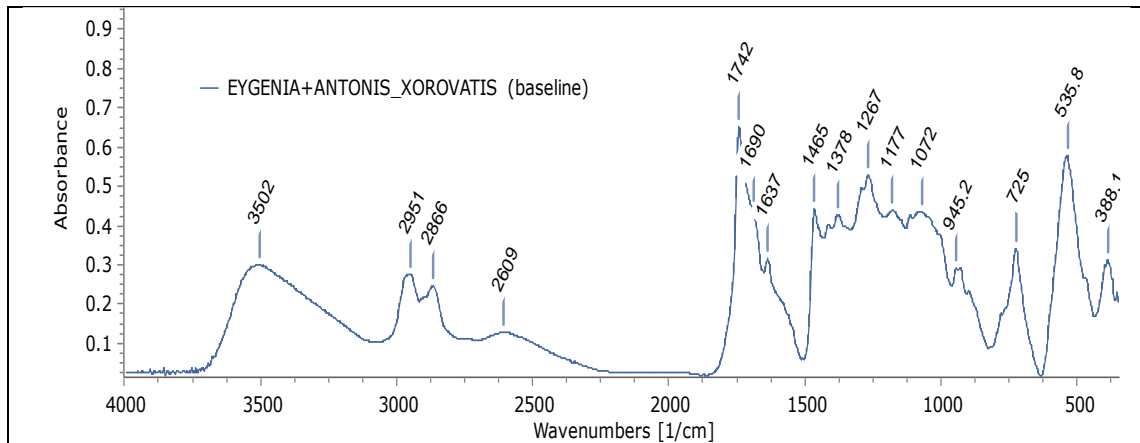
*Εικόνα 87 Το μαύρο επικαλυπτικό, στο άνω μέρος του τηλεσκοπίου που διατηρείται υγιές. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).*



Εικόνα 88 Η περιοχή θερνικιού, που έχει αφαιρεθεί από τη χρήση το μαύρο επικαλυπτικό και έχουν αποκαλυφθεί τα "νερά ξύλου". ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

### Δείγμα 3: Μαύρος χωροβάτης

Περιοχή φάσματος	Παρατηρήσεις
<b>1<sup>ο</sup> Φάσμα:</b> Πάνω μέρος κυκλικού στελέχους του σώματος στήριξης του χωροβάτη.	Φαίνεται να είναι βαφή με το συνδετικό της, το οποίο μάλιστα πιθανότατα είναι ελαιώδης φορέας.



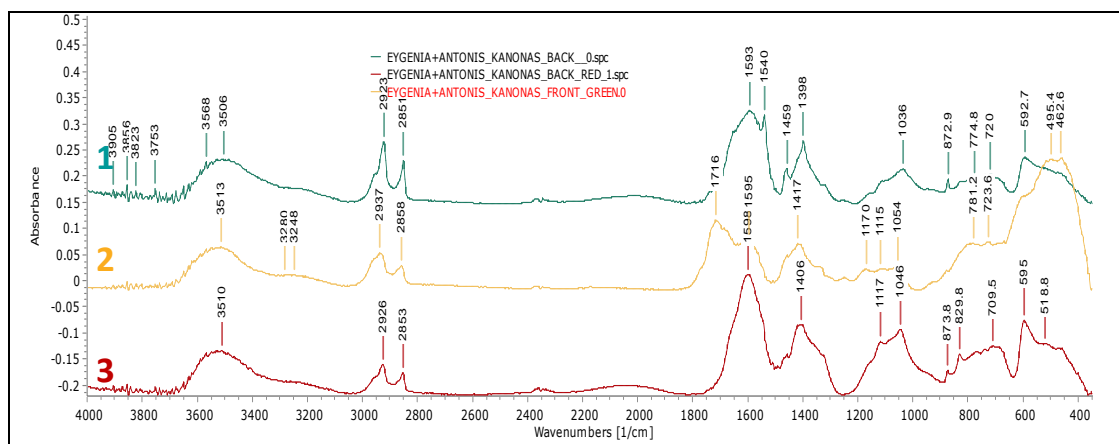
**Φάσμα 1:**

- Ελαιώδες συνδετικό: 2951, 2866, 1742, 1465, 1387, 1267, 1177, 1072, 725  $\text{cm}^{-1}$  προϊόντα φθοράς/αποικοδόμησης του ελαιώδους συνδετικού: 1690, 1637. Όποτε πρόκειται για βαφή ως ελαιόχρωμα



Εικόνα 89 Η βάση του μαύρου χωροβάτη. Το φάσμα πάρθηκε από το πάνω κεντρικό κυκλικό μέρος. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

#### Δείγμα 4: Κανόνας διόπτρας



Περιοχή φάσματος	Παρατηρήσεις
1 <sup>ο</sup> Φάσμα: Κάτω μέρος, κόκκινη απόχρωση EYGENIA+ANTONIS_KANONAS_BACK_0	Πολύ πιο ξεκάθαρη εικόνα για πατίνα.
2 <sup>ο</sup> Φάσμα: Πάνω μέρος στο άκρο του, στη πράσινη απόχρωση EYGENIA+ANTONIS_KANONAS_FRONT_GREEN.0	Πιθανότητα μια πατίνα του μετάλλου.
3 <sup>ο</sup> Φάσμα: Κάτω μέρος, κόκκινη απόχρωση EYGENIA+ANTONIS_KANONAS_BACK_RED_1	Πολύ πιο ξεκάθαρη εικόνα για πατίνα.

**ΣΗΜ.:** Και τα τρία φάσματα μας δίνουν ως αποτελέσματα την ύπαρξη οργανικών αλάτων του χαλκού. Πιθανότητα το κράμα ορείχαλκου αντέδρασε με το οργανικό επικαλυπτικό και η διάβρωση προκάλεσε τον σχηματισμό ενός ισόπαχου στρώματος πλούσιου σε οργανικά οξείδια του χαλκού. Θα μπορούσε να είναι και μια πατίνα, όμως οι ανομοιόμορφες σημειακές



Εικόνα 90 Τα πρασινωπά σημεία στο κάτω μέρος του κανόνα. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 91 Τα κόκκινα σημεία στο πίσω μέρος του κανόνα. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

αποχρώσεις που έχει δεν δηλώνει κάτι το τεχνητά κατασκευασμένο, πιο πιθανό είναι να έχει διαβρωθεί το προστατευτικό στρώμα που είχε τοποθετηθεί.

Συμπερασματικά, το βερνίκι που έχει εντοπιστεί στα αντικείμενα, είναι γομαλάκα, είναι αρκετά γηρασμένο και έχει οξειδώσει το μέταλλο. Επιπλέον, στο μαύρο επικαλυπτικό των τμημάτων των αντικειμένων, υπάρχουν υπολείμματα χρωστικής carbon black και αποδείχθηκε πως πρόκειται για μία βαφή με ελαιώδες συνθετικό, δηλαδή ένα ελαιόχρωμα.

#### 4.3.4. Φασματοσκοπία Ακτίνων-Χ Φθορισμού (XRF):

##### Αρχή της μεθόδου:

Η φασματοσκοπία ακτίνων-Χ φθορισμο ανήκει στις κλασσικές αναλυτικές μεθόδους ακτίνων-Χ και με την βοήθειά της λαμβάνουμε ποιοτική και ποσοτική πληροφορία των χημικών στοιχείων. Είναι μη καταστρεπτική μέθοδος, δηλαδή τα ανόργανα δείγματα δεν αλλοιώνονται από την αναλυτική διαδικασία, μιας και η ανάλυση γίνεται απευθείας, χωρίς προηγούμενη απόσπαση μικρού δείγματος και γι' αυτό χρησιμοποιείται συχνά στην αρχαιολογία και στις καλές τέχνες. Το XRF είναι φυσική μέθοδος ανάλυσης με αρκετά πλεονεκτήματα, ιδίως για ό,τι αφορά την φορητή συσκευή. Διακρίνεται σε δύο είδη ηλεκτρονικών συσκευών, τις φορητές και τις μη φορητές.

Η φασματοσκοπία ακτίνων-Χ φθορισμο, βασίζεται στο φυσικό φαινόμενο μετακίνησης ηλεκτρονίων από τις εσωτερικές στοιβάδες εκτός των ατόμων, μετά από την ακτινοβόλησή τους με πρωτογενείς ακτίνες-Χ ( $\alpha$ -X)<sup>12</sup>, οι οποίες απορροφώνται από το εκτοπιζόμενο ηλεκτρόνιο. Οι κενές θέσεις στις εσωτερικές ενεργειακές στοιβάδες πληρούνται αμέσως με ηλεκτρόνια από τις εξωτερικές στοιβάδες. Αυτή η μεταπήδηση έχει σαν αποτέλεσμα την απελευθέρωση ενέργειας με τη μορφή δευτερογενών  $\alpha$ -X με  $\lambda$  που κυμαίνονται από  $2 \times 10^{-5}$  έως  $2 \times 10^{-4}$ . Τα αποτελέσματα βασίζονται στον αριθμό των παλμών (ένταση από τα φωτόνια) ανά περιοχή ενέργειας.

Μπορούν να αναλυθούν πολλά αρχαιολογικά υλικά, διαφόρων διαστάσεων και για διάφορες περιπτώσεις που συναντώνται είτε στην ύπαιθρο είτε σε μουσεία. Θεωρητικά, η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε υλικό, όμως υπάρχουν κάποιοι περιορισμοί που δεν επιτρέπουν την ανίχνευση στοιχείων σε ορισμένα υλικά. Αν πρόκειται για αρχαιολογικό υλικό μικρών διαστάσεων μπορεί να αναλυθεί μέσα στον ειδικό θάλαμο που ακτινοβολείται, διαφορετικά η εξέταση και ανάλυση της επιφάνειας του αντικείμενου γίνεται με φορητά όργανα. Παρόλα αυτά, οι  $\alpha$ -X διέρχονται μόνο 20 με 200  $\mu\text{m}$  στην επιφάνεια του υλικού, οπότε η ανάλυση είναι επιφανειακή. Έτσι το XRF είναι ιδανική μέθοδος για ανάλυση στιλβωμένης επιφάνειας ή επιχρίσματος. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στις αναλύσεις μετάλλων λόγω της διαβρωμένης επιφάνειάς τους. Στα μεταλλικά αντικείμενα, θα πρέπει να αναλύονται αρκετά μη διαβρωμένα μέρη και να εξετάζεται η ομοιογένεια στην κατασκευή τους.

Ανακρίβειες και σφάλματα που μπορεί να προκύψουν προέρχονται από την ποικιλία μεγεθών και μορφών στα αντικείμενα. Οι αναλύσεις είναι καλό να διεξάγονται με την ίδια γεωμετρία ακτινοβόλησης σε όλα τα δείγματα και τα πρότυπα υλικά αναφοράς (δηλαδή τα εργαστηριακά υλικά γνωστής συγκέντρωσης χημικών στοιχείων). Επίσης, πρέπει το υλικό αναφοράς και το αντικείμενο να τοποθετούνται στο φασματόμετρο σε ίδιες θέσεις και ίδιες γωνίες σε σχέση με τον κατευθυντήρα και τη δέσμη πρωτογενών  $\alpha$ -X.

Το βάθος ανίχνευσης σε δείγματα διαφορετικής σύστασης εξαρτάται από την χημική και την ορυκτολογική σύσταση, καθώς και από την ένταση της πρωτογενούς ενέργειας και το χημικό στοιχείο. (Λυριτζής 2007 pp 145-154)

---

<sup>12</sup> Οι πρωτογενείς  $\alpha$ -X παράγονται απευθείας από μια πηγή (γεννήτρια  $\alpha$ -X ή ραδιοϊσότοπα), ενώ οι δευτερογενείς  $\alpha$ -X παράγονται έμμεσα από την διέγερση των ατόμων.

#### Αποτελέσματα αναλύσεων:

Οι αναλύσεις έγιναν με φορητό XRF (Tracer 5, της εταιρείας BRUKER, Elemental Range: Fluorine-Uranium with Wide Range of Available Calibrations). Το όργανο βρίσκεται στο βρίσκεται στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής – Σχολή Καλλιτεχνικών Σπουδών - Τμήμα Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης και το χειρίζεται ο κύριος Γεώργιος Μαστροθεόδωρος, επιστημονικός συνεργάτης και συντηρητής έργων τέχνης.

#### Διόπτρα μετροτράπεζας<sup>13</sup>



Εικόνα 92 Ανάλυση στον κανόνα. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

Χημικό Στοιχείο	Ποσοστό %	+/-[*2]
<b>Al</b>	2.51	0.68
<b>Si</b>	1.48	0.19
<b>P</b>	0.13	0.05
<b>S</b>	0.14	0.01
<b>Fe</b>	0.12	0.03
<b>Ni</b>	0.21	0.03
<b>Cu</b>	60.76	0.54
<b>Zn</b>	33.44	0.36
<b>Ag</b>	0.11	0.06
<b>Cd</b>	0.09	0.08
<b>Sn</b>	0.19	0.12
<b>Pb</b>	0.45	0.11

Ο κανόνας είναι κατασκευασμένος από ένα κράμα 'κίτρινου' ορείχαλκου (yellow brasses) με τα υπόλοιπα κραματικά στοιχεία να συμμετέχουν ως ιχνοστοιχεία κυρίως. Η ελάχιστη συγκέντρωση του θείου υποδεικνύει την επιτυχή αφαίρεσης του στρώματος της 'αμαύρωσης'.

<sup>13</sup> Οι αναλύσεις είναι ποσοτικές, μετριοούνται επί τις %, έγιναν με την χρήση Data Base Alloy 2 και η κάθε μέτρηση είχε διάρκεια 35s.





Εικόνα 93 Ανάλυση στον κατακόρυφο κύκλο. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

Χημικό Στοιχείο	Ποσοστό %	+/-[*2]
<b>Si</b>	0.57	0.08
<b>S</b>	0.05	0.00
<b>Cr</b>	0.01	0.00
<b>Fe</b>	0.33	0.01
<b>Ni</b>	0.07	0.02
<b>Cu</b>	79.83	0.37
<b>Zn</b>	9.06	0.11
<b>As</b>	0.11	0.04
<b>Ag</b>	0.07	0.03
<b>Sn</b>	6.35	0.27
<b>Sb</b>	0.24	0.11
<b>Pb</b>	3.18	0.14

Ο κατακόρυφος κύκλος είναι κατασκευασμένος από ένα τετραμερές κράμα ορείχαλκου με συμμετοχή του κασσιτέρου και του μολύβδου, δεικνύοντας μία σκόπιμη εφαρμογή για αύξηση της σκληρότητας (παρουσία Sn) και επίτευξη του επιθυμητού σχήματος με την τεχνική της χύτευσης (παρουσία Pb). Η ελάχιστη συγκέντρωση του θείου υποδεικνύει την επιτυχή αφαίρεση του στρώματος της 'αμαύρωσης'.



Εικόνα 94 Ανάλυση του τμήματος στήριξης του κατακόρυφου κύκλου ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

Χημικό Στοιχείο	Ποσοστό %	+/-[*2]
<b>Al</b>	0.37	0.27
<b>Si</b>	0.32	0.07
<b>P</b>	0.27	0.03
<b>S</b>	0.14	0.01
<b>Cr</b>	0.01	0.01
<b>Fe</b>	0.40	0.01
<b>Ni</b>	0.08	0.02
<b>Cu</b>	78.46	0.37
<b>Zn</b>	8.46	0.11
<b>As</b>	0.28	0.05
<b>Se</b>	0.11	0.01
<b>Sn</b>	6.67	0.28
<b>Pb</b>	4.09	0.17
<b>Bi</b>	0.09	0.04

Το τμήμα στήριξης του κατακόρυφου κύκλου είναι κατασκευασμένο από ένα τετραμερές κράμα ορείχαλκου με συμμετοχή του κασσιτέρου και του μολύβδου, δεικνύοντας μία σκόπιμη εφαρμογή για αύξηση της σκληρότητας (παρουσία Sn) και επίτευξη του επιθυμητού σχήματος με την τεχνική της χύτευσης (παρουσία Pb). Η ελάχιστη συγκέντρωση του θείου υποδεικνύει την επιτυχή αφαίρεσης του στρώματος της 'αμαύρωσης'.



Εικόνα 95 Ανάλυση στο τηλεσκόπιο.  
 ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο,  
 Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου,  
 Α. Σαμπάνης).

Χημικό Στοιχείο	Ποσοστό %	+/-[*2]
<b>Si</b>	0.66	0.06
<b>S</b>	0.02	0.00
<b>Ni</b>	0.08	0.01
<b>Cu</b>	67.18	0.29
<b>Zn</b>	31.32	0.17
<b>Nb</b>	0.05	0.02
<b>Pb</b>	0.50	0.05

Το τηλεσκόπιο είναι κατασκευασμένο από ένα καθαρό κράμα 'κίτρινου' ορείχαλκου (yellow brasses) με τα υπόλοιπα ελάχιστα κραματικά στοιχεία να συμμετέχουν ως ιχνοστοιχεία κυρίως. Η ελάχιστη συγκέντρωση του θείου υποδεικνύει την επιτυχή αφαίρεσης του στρώματος της 'αμαύρωσης'.



Εικόνα 96 Ανάλυση στην σωληνωτή αεροστάθμη. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

Χημικό Στοιχείο	Ποσοστό %	+/-[*2]
<b>Al</b>	1.78	0.44
<b>Si</b>	0.73	0.11
<b>P</b>	0.03	0.03
<b>S</b>	0.05	0.01
<b>Fe</b>	0.16	0.02
<b>Ni</b>	0.09	0.02
<b>Cu</b>	68.29	0.42
<b>Zn</b>	28.01	0.23
<b>Ag</b>	0.05	0.04
<b>Sn</b>	0.16	0.09
<b>Pb</b>	0.45	0.07

Η σωληνωτή αεροστάθμη είναι κατασκευασμένη από ένα κράμα 'κίτρινου' ορείχαλκου (yellow brasses) με τα υπόλοιπα κραματικά στοιχεία να συμμετέχουν ως ιχνοστοιχεία κυρίως. Η ελάχιστη συγκέντρωση του θείου υποδεικνύει την επιτυχή αφαίρεση του στρώματος της 'αμαύρωσης'. Η παρουσία του αλουμινίου σε ποσοστό πάνω από 1%, υποδεικνύει τη χρήση ενός παρόμοιου κράματος με αυτό που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του κανόνα.

### Μικρός χωροβάτης<sup>14</sup>



Εικόνα 97 Ανάλυση στο τηλεσκόπιο.  
©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο,  
Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών  
Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλί-  
δου, Α. Σαμπάνης).

Χημικό Στοι- χείο	Ποσοστό %	+/-[*2]
<b>Al</b>	0.86	0.31
<b>Si</b>	0.39	0.07
<b>S</b>	0.08	0.00
<b>Fe</b>	0.05	0.01
<b>Ni</b>	0.06	0.01
<b>Cu</b>	68.11	0.35
<b>Zn</b>	29.73	0.20
<b>As</b>	0.02	0.02
<b>Pb</b>	0.48	0.06

Το τηλεσκόπιο είναι κατασκευασμένο από ένα κράμα 'κίτρινου' ορείχαλκου (yellow brasses) με τα υπόλοιπα κραματικά στοιχεία να συμμετέχουν ως ιχνοστοιχεία. Η ελάχιστη συγκέντρωση του θείου υποδεικνύει την επιτυχή αφαίρεσης του στρώματος της 'αμαύρωσης' και ότι το μαύρο στρώμα αποτελεί ένα σκόπιμο και αυθεντικό τεχνολογικό στοιχείο του αντικειμένου. Συνεπώς η επιλογή να διατηρηθεί αποτελεί αποτέλεσμα της ορθής και επιστημονικής μεθοδολογίας τεκμηρίωσης που εφαρμόστηκε στο σύνολο.

<sup>14</sup> Οι αναλύσεις είναι ποσοτικές, μετριοούνται επί τις %, έγιναν με την χρήση Data Base Alloy 2 και η κάθε μέτρηση είχε διάρκεια 35s.

## Μαύρος χωροβάτης<sup>15</sup>



Εικόνα 98 Ανάλυση στον κοχλία οριζοντίωσης. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

Χημικό Στοιχείο	Ποσοστό %	+/-[*2]
<b>Si</b>	0.83	0.07
<b>S</b>	0.02	0.00
<b>Cr</b>	0.01	0.00
<b>Fe</b>	0.59	0.03
<b>Ni</b>	0.11	0.01
<b>Cu</b>	69.52	0.31
<b>Zn</b>	27.49	0.17
<b>As</b>	0.08	0.02
<b>Sn</b>	0.32	0.08
<b>Pb</b>	0.91	0.07

Ο κοχλίας οριζοντίωσης είναι κατασκευασμένος από ένα κράμα 'κίτρινου' ορείχαλκου (yellow brasses) με τα υπόλοιπα κραματικά στοιχεία να συμμετέχουν ως ιχνοστοιχεία. Η ελάχιστη συγκέντρωση του θείου υποδεικνύει την επιτυχή αφαίρεση του στρώματος της 'αμαύρωσης'.

<sup>15</sup> Οι αναλύσεις είναι ποσοτικές, μετριοούνται επί τις %, έγιναν με την χρήση Data Base Alloy 2 και η κάθε μέτρηση είχε διάρκεια 35s.



Εικόνα 99 Ανάλυση στο περίβλημα του αντικειμενικού φακού. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

Χημικό Στοιχείο	Ποσοστό %	+/-[*2]
<b>Al</b>	1.03	0.44
<b>Si</b>	0.97	0.13
<b>P</b>	0.06	0.03
<b>S</b>	0.09	0.00
<b>Ti</b>	0.06	0.06
<b>Fe</b>	0.23	0.03
<b>Ni</b>	0.08	0.02
<b>Cu</b>	74.64	0.49
<b>Zn</b>	20.47	0.23
<b>As</b>	0.10	0.03
<b>Sn</b>	1.05	0.17
<b>Sb</b>	0.18	0.15
<b>Pb</b>	0.76	0.10

Το περίβλημα του αντικειμενικού φακού είναι κατασκευασμένο από ένα κράμα 'κίτρινου' ορείχαλκου (yellow brasses) με τα υπόλοιπα κραματικά στοιχεία να συμμετέχουν ως ιχνοστοιχεία κυρίως. Η ελάχιστη συγκέντρωση του θείου υποδεικνύει την επιτυχή αφαίρεσης του στρώματος της 'αμαύρωσης'.



Εικόνα 100 Ανάλυση στο τηλεσκόπιο. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

Χημικό Στοιχείο	Ποσοστό %	+/-[*2]
<b>Al</b>	0.55	0.24
<b>Si</b>	0.33	0.06
<b>S</b>	0.04	0.00
<b>Fe</b>	0.18	0.02
<b>Cu</b>	70.08	0.31
<b>Zn</b>	28.33	0.17
<b>As</b>	0.05	0.01
<b>Pb</b>	0.31	0.05

Το τηλεσκόπιο είναι κατασκευασμένο από ένα κράμα 'κίτρινου' ορείχαλκου (yellow brasses) με τα υπόλοιπα κραματικά στοιχεία να συμμετέχουν ως ιχνοστοιχεία κυρίως. Η ελάχιστη συγκέντρωση του θείου υποδεικνύει την επιτυχή αφαίρεσης του στρώματος της 'αμαύρωσης'.



## Θεοδόλιχος<sup>16</sup>



Εικόνα 101 Ανάλυση στο εσωτερικό του οριζόντιου κύκλου. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

Χημικό Στοιχείο	Ποσοστό %	+/-[*2]
<b>Al</b>	0.77	0.28
<b>Si</b>	0.22	0.06
<b>S</b>	0.01	0.00
<b>Cr</b>	0.01	0.00
<b>Fe</b>	0.05	0.01
<b>Co</b>	0.01	0.01
<b>Ni</b>	0.14	0.01
<b>Cu</b>	69.14	0.33
<b>Zn</b>	27.29	0.18
<b>As</b>	0.05	0.02
<b>Sn</b>	1.17	0.12
<b>Pb</b>	0.94	0.08

Ο οριζόντιος κύκλος είναι κατασκευασμένος από ένα κράμα 'κίτρινου' ορείχαλκου (yellow brasses) με τα υπόλοιπα κραματικά στοιχεία να συμμετέχουν ως ιχνοστοιχεία κυρίως. Η ελάχιστη συγκέντρωση του θείου υποδεικνύει την επιτυχή αφαίρεση του στρώματος της 'αμαύρωσης'.

<sup>16</sup> Οι αναλύσεις είναι ποσοτικές, μετριοούνται επί τις %, έγιναν με την χρήση Data Base Alloy 2 και η κάθε μέτρηση είχε διάρκεια 35s.



Εικόνα 102 Ανάλυση στο χείλος του οριζόντιου κύκλου. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

Χημικό Στοιχείο	Ποσοστό %	+/-[*2]
<b>Al</b>	1.21	0.29
<b>Si</b>	1.03	0.09
<b>P</b>	0.05	0.02
<b>S</b>	0.09	0.00
<b>Ti</b>	0.07	0.04
<b>Fe</b>	0.07	0.02
<b>Ni</b>	0.13	0.01
<b>Cu</b>	64.94	0.33
<b>Zn</b>	24.56	0.17
<b>As</b>	0.24	0.04
<b>Ag</b>	0.13	0.04
<b>Sn</b>	5.37	0.25
<b>Pb</b>	1.92	0.11

Το χείλος του οριζόντιου κύκλου, στην περιοχή με το κίτρινο χρώμα κράματος, είναι κατασκευασμένο από ένα τετραμερές κράμα ορείχαλκου με συμμετοχή του κασσιτέρου και του μολύβδου, δεικνύοντας μία σκόπιμη εφαρμογή για αύξηση της σκληρότητας (παρουσία Sn) και επίτευξη του επιθυμητού σχήματος με την τεχνική της χύτευσης (παρουσία Pb). Η ελάχιστη συγκέντρωση του θείου υποδεικνύει την επιτυχή αφαίρεσης του στρώματος της 'α- μαύρωσης'.



Εικόνα 103 Ανάλυση στο κάτω μέρος του οριζόντιου κύκλου. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

Χημικό Στοιχείο	Ποσοστό %	+/-[*2]
<b>Si</b>	0.69	0.07
<b>S</b>	0.01	0.00
<b>Cr</b>	0.01	0.00
<b>Fe</b>	0.07	0.01
<b>Co</b>	0.01	0.01
<b>Ni</b>	0.17	0.01
<b>Cu</b>	69.80	0.31
<b>Zn</b>	26.65	0.17
<b>As</b>	0.05	0.02
<b>Ag</b>	0.03	0.03
<b>Sn</b>	1.22	0.12
<b>Sb</b>	0.11	0.08
<b>Pb</b>	0.78	0.07

Ο οριζόντιος κύκλος είναι κατασκευασμένος από ένα κράμα 'κίτρινου' ορείχαλκου (yellow brasses) με τα υπόλοιπα κραματικά στοιχεία να συμμετέχουν ως ιχνοστοιχεία κυρίως. Η ελάχιστη συγκέντρωση του θείου υποδεικνύει την επιτυχή αφαίρεση του στρώματος της 'αμαύρωσης'.



Εικόνα 104 Ανάλυση στον βερνιέρο του κατακόρυφου κύκλου. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

Χημικό Στοιχείο	Ποσοστό %	+/-[*2]
<b>Si</b>	0.70	0.08
<b>P</b>	0.02	0.02
<b>S</b>	0.04	0.00
<b>Cr</b>	0.01	0.00
<b>Fe</b>	0.08	0.02
<b>Ni</b>	0.05	0.01
<b>Cu</b>	69.01	0.34
<b>Zn</b>	27.24	0.19
<b>As</b>	0.08	0.02
<b>Ag</b>	1.56	0.09
<b>Sn</b>	0.37	0.08
<b>Pb</b>	0.58	0.07

Ο βερνιέρος του κατακόρυφου κύκλου είναι κατασκευασμένος από ένα κράμα 'κίτρινου' ορεί-χαλκου (yellow brasses) με τα υπόλοιπα κραματικά στοιχεία να συμμετέχουν ως ιχνοστοιχεία κυρίως. Η ελάχιστη συγκέντρωση του θείου υποδεικνύει την επιτυχή αφαίρεσης του στρώματος της 'αμαύρωσης'. Η παρουσία του αργύρου τεκμηριώνει την κατασκευή την αργυρόχρωμης ζώνης με επαργύρωση του κράματος του ορειχάλκου, όπως αναφέρει η σχετική βιβλιογραφία και έχει επισημανθεί στο κεφάλαιο με την τεχνολογία κατασκευής των οργάνων.



Εικόνα 105 Ανάλυση στον βερνιέρο του κατακόρυφου κύκλου. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

Χημικό Στοιχείο	Ποσοστό %	+/-[*2]
<b>Mg</b>	<LOD	0.55
<b>Al</b>	2.14	0.42
<b>Si</b>	1.10	0.13
<b>P</b>	0.06	0.02
<b>Fe</b>	0.09	0.04
<b>Ni</b>	0.08	0.02
<b>Cu</b>	49.34	0.47
<b>Zn</b>	20.94	0.26
<b>Nb</b>	0.03	0.02
<b>Ag</b>	21.63	0.54
<b>Sn</b>	1.50	0.47
<b>Hf</b>	0.59	0.35
<b>Hg</b>	1.01	0.02
<b>Pb</b>	1.38	0.27

Η ανάλυση της επιλεγμένης περιοχής στο βερνιέρο του κατακόρυφου κύκλου επιβεβαιώνει την επαργύρωση του ορείχαλκου στην περιοχή της αργυρόχρωμης ζώνης και η ανίχνευση υδραργύρου, πιθανώς υποδεικνύει επαργύρωση με τη μέθοδο του αμαλγάματος.



Εικόνα 106 Ανάλυση στον βερνιέρο του οριζόντιου κύκλου. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

Χημικό Στοιχείο	Ποσοστό %	+/-[*2]
<b>Al</b>	0.33	0.25
<b>Si</b>	0.32	0.06
<b>S</b>	0.02	0.00
<b>Cr</b>	0.03	0.00
<b>Fe</b>	0.08	0.01
<b>Co</b>	0.01	0.01
<b>Ni</b>	0.14	0.01
<b>Cu</b>	69.72	0.33
<b>Zn</b>	27.38	0.18
<b>As</b>	0.08	0.02
<b>Ag</b>	0.04	0.03
<b>Sn</b>	0.99	0.09
<b>Pb</b>	0.64	0.07

Ο βερνιέρος του κοριζόντιου κύκλου είναι κατασκευασμένος από ένα κράμα 'κίτρινου' ορείχαλκου (yellow brasses) με τα υπόλοιπα κραματικά στοιχεία να συμμετέχουν ως ιχνοστοιχεία. Η ελάχιστη συγκέντρωση του θείου υποδεικνύει την επιτυχή αφαίρεση του στρώματος της 'αμαύρωσης'.



Εικόνα 107 Ανάλυση στον αντικειμενικό φακό. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

Χημικό Στοιχείο	Ποσοστό %	+/-[*2]
<b>Si</b>	0.46	0.06
<b>S</b>	0.01	0.00
<b>Cr</b>	0.02	0.00
<b>Fe</b>	0.14	0.02
<b>Ni</b>	0.07	0.01
<b>Cu</b>	72.27	0.32
<b>Zn</b>	24.12	0.16
<b>As</b>	0.32	0.03
<b>Sn</b>	1.24	0.12
<b>Sb</b>	0.09	0.08
<b>Pb</b>	1.11	0.08

Ο αντικειμενικός φακός είναι κατασκευασμένος από ένα κράμα 'κίτρινου' ορείχαλκου (yellow brasses) με τα υπόλοιπα κραματικά στοιχεία να συμμετέχουν ως ιχνοστοιχεία κυρίως. Η ελάχιστη συγκέντρωση του θείου υποδεικνύει την επιτυχή αφαίρεση του στρώματος της 'αμαύρωσης'.

Συμπερασματικά, έγιναν αναλύσεις σε διάφορα τμήματα των αντικειμένων, από τις οποίες βρέθηκαν υψηλά ποσοστά χαλκού και ψευδαργύρου, που επιβεβαίωσαν την χρήση ενός 'κίτρινου' ορείχαλκου, τα οποία όμως είχαν διαφορετικά ποσοστά μεταξύ τους. Έτσι εξάχθηκε το συμπέρασμα πως τα διάφορα μέρη τους έχουν κατασκευαστεί από διάφορες συγκεντρώσεις των κραμάτων του ορείχαλκου και έτσι αιτιολογούνται και οι χρωματικές τονικές διαφοροποιήσεις των μετάλλων. Επίσης επιβεβαιώθηκε η επαργύρωση της ζώνης στην περιοχή του βερνιέρου του κατακόρυφου κύκλου του κίτρινου θεοδόλιχου.

#### 4.3.5. Σύγκριση αποτελεσμάτων SEM-EDAX και XRF:

Έχοντας λάβει τα αποτελέσματα και από τις δύο φυσικοχημικές αναλύσεις, οι οποίες δίνουν στοιχειακή ανάλυση, γίνεται αντιληπτή η παρουσία διαφοροποιήσεων στα αποτελέσματά τους. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως οι αναλύσεις τους SEM-EDAX έγιναν σε μη καθαρισμένες επιφάνειες, ενώ το XRF πραγματοποιήθηκε μετά τις επεμβάσεις συντήρησης. Οπότε, τα συγκεκριμένα αποτελέσματα αποτελούν βασικό στοιχείο για της σύγκριση της κατάστασης διατήρησης των αντικειμένων πριν και μετά τον καθαρισμό. Παρόλα αυτά και οι δύο μέθοδοι επιβεβαίωσαν τον ορείχαλκο, ως υλικό κατασκευής, με τα υψηλά ποσοστά τους σε χαλκό και ψευδάργυρο. Το SEM-EDAX μας βοήθησε να ταυτοποιήσουμε τα υλικά και τις τεχνικές κατασκευής των αντικειμένων, καθώς και έγιναν αντιληπτές οι επιπτώσεις της διάβρωσης στις μεταλλικές επιφάνειες. Από την ανάλυση του XRF, ταυτοποιήθηκε ο άργυρος ως επιμετάλλωση σε διάφορα τμήματα του Θεοδόλιχου και σημειώθηκε η διαφοροποίηση των ποσοστών των μετάλλων του κράματος ανά περιοχή στο κάθε αντικείμενο.



## 5. Παθολογία αντικειμένων:

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστεί εκτεταμένα η παθολογία των τεσσάρων επιστημονικών αντικειμένων. Ορισμένα αποτελέσματα προέκυψαν από αναλύσεις με την μέθοδο της Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης με Φασματοφωτόμετρο Ενεργειακής Διασποράς Ακτίνων-Χ (SEM-EDAX). Δημιουργήθηκαν χάρτες των διάφορων τύπων διάβρωσης του κάθε αντικειμένου, καθώς και σχεδιαγράμματα της παθολογίας τους, τα οποία βασίστηκαν τόσο στην μακροσκοπική παρατήρηση, όσο και στην θεωρία της διάβρωσης.

### 5.1. Θεωρία διάβρωσης:

Διάβρωση στον απλούστερο ορισμό της είναι η υποβάθμιση της ποιότητας των υλικών κατασκευής ενός αντικειμένου μετά από την αντίδρασή τους με το περιβάλλον στο οποίο λειτουργούν (Τριανταφυλλίδης 2014). Για τα περισσότερα μεταλλικά υλικά αυτό σημαίνει το σχηματισμό οξειδίων ή σουλφιδίων. Τα προϊόντα διάβρωσης των μετάλλων πρόκειται για ορυκτές ενώσεις που δεν σχηματίζουν ένα συνεχές και ομαλό στρώμα. Οι επιφανειακές επικαθήσεις μπορούν να αντιπροσωπεύουν μία κατάσταση, στην οποία τα ορυκτά του εδάφους, αέριοι ρύποι, οργανικά υπολείμματα κ.ά. μπορούν να συνδεθούν σε μια επιφάνεια με προϊόντα διάβρωσης χαλκού ή ακόμη και να αντικατασταθούν εν μέρει από αυτά. Διάβρωση μπορεί να ονομαστεί η διαδικασία χημικής επίθεσης ενός περιβάλλοντος σε ένα υλικό (Scott 2002).

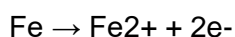
Η εμφάνιση προϊόντων διάβρωσης στα μέταλλα είναι κοινό φαινόμενο. Ένα προϊόν διάβρωσης είναι μια ένωση που συνήθως σχηματίζεται από την αντίδραση ενός μετάλλου (ή κράματος) με ένα μη μέταλλο. Εκτός από τα ευγενή μέταλλα, όπως ο χρυσός ή η πλατίνα, τα περισσότερα μέταλλα είναι εκ φύσεως ασταθή και έχουν ισχυρή τάση προς διάβρωση. Αυτά τα ασταθή μέταλλα διαβρώνονται με σταδιακή υποβάθμιση του μεταλλικού πυρήνα και ως εκ τούτου τείνουν να επιστρέφουν στην αρχική τους κατάσταση (ορυκτή μορφή) ή σε παρόμοιες μεταλλικές ενώσεις, όταν εκτίθενται στην ατμόσφαιρα (Schweitzer 2010).

Τα απαραίτητα στοιχεία για την πρόκληση διάβρωσης είναι:

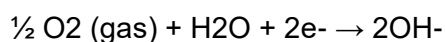
- ❖ Το μέταλλο
- ❖ Ένας ηλεκτρολύτης, όπως το νερό
- ❖ Το οξυγόνο

Όταν συγκεντρωθούν, αυτά τα στοιχεία καταλήγουν σε ένα ηλεκτροχημικό στοιχείο, το οποίο επιτρέπει την ελεύθερη κίνηση των ηλεκτρονίων και των ιόντων.

Για παράδειγμα, για το σίδηρο, η αντίδραση στην άνοδο είναι

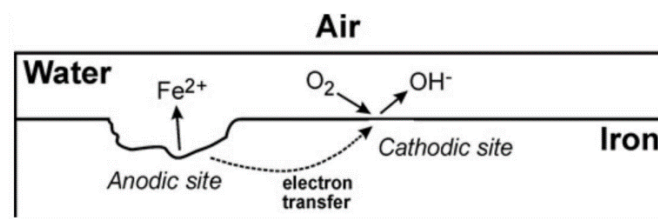


και η αντίδραση στην κάθοδο είναι



Παρουσία ενός ηλεκτρολύτη (τυπικά του νερού), τα ηλεκτρόνια ρέουν μέσα στο μέταλλο (από την ανοδική περιοχή προς την καθοδική). Τα μεταλλικά ιόντα (στο παράδειγμα της

Εικόνας, τα ιόντα σιδήρου  $Fe^{2+}$ ) είτε παραμένουν σε διάλυμα είτε αντιδρούν με τα γύρω είδη και καθιζάνουν σχηματίζοντας προϊόντα διάβρωσης.



Εικόνα 108 Απεικόνιση της διαδικασίας διάβρωσης του σιδήρου (© Barclay et al. 2020)

Οι επικαθίσεις και συγκεκριμένα οι ρύποι, η σκόνη (που μπορεί να περιέχει άλατα), η αιθάλη και άλλες μολυσματικές ουσίες μπορούν επίσης να προκαλέσουν ή να συμβάλουν στη διάβρωση. Οι περισσότεροι ρύποι προέρχονται από εξωτερικές πηγές, αλλά μερικοί ενδέχεται να προέρχονται από το εσωτερικό των κτιρίων (π.χ. οργανικά οξέα, όπως το οξικό οξύ, εκπέμπονται από το ξύλο και από προϊόντα με βάση το ξύλο, καθώς και από πολλά αλκυδικά, ελαιώδη και λατέξ χρώματα).

Μερικά μέταλλα είναι πιο επιρρεπή στη διάβρωση από άλλα. Τα μέταλλα είναι διατεταγμένα κατά σειρά αντιδραστικότητας ή πιθανότητας διάβρωσης σε αυτό που είναι γνωστό ως γαλβανική σειρά.

<p>Most noble</p> <p>Least noble</p>	Platinum
	Stainless steel 304, passive
	Silver
	Nickel
	Lead
	Copper-nickels
	Tin bronzes
	Lead-tin solder (50/50)
	Tin
	Copper
	Yellow and red brass
	Stainless steel 304, active
	Mild steel, cast iron
	Aluminum alloys
Zinc	

Εικόνα 109 Κατάταξη των κοινών μετάλλων στην γαλβανική σειρά (© Barclay et al. 2020)

Όσο πιο ευγενές είναι το μέταλλο στη σειρά, τόσο λιγότερο πιθανό είναι να διαβρωθεί. Αν παρόλα αυτά δύο μέταλλα βρίσκονται σε επαφή (π.χ. ένα κράμα, ένα επιμεταλλωμένο μέταλλο, ή συγκολλημένα ή ενωμένα μεταλλικά συστατικά) και είναι εκτεθειμένα σε

περιβάλλον με υγρασία, τότε θα λάβει χώρα η γαλβανική διάβρωση, κατά την οποία το λιγότερο ευγενές μέταλλο θα διαβρωθεί γρηγορότερα, από ότι αν δεν ήταν σε επαφή με το πιο ευγενές.

Η θερμοκρασία μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στη διαδικασία διάβρωσης, καθώς είναι μια ηλεκτροχημική αντίδραση και τα ποσοστά αντίδρασης αυξάνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας (Schweitzer 2010).

Η ακτινοβολία μπορεί να έχει επίδραση στις ιδιότητες ενός υλικού. Η επίδραση στα μεταλλικά υλικά είναι πολύ σταδιακή και όχι πολύ έντονη. Οι καταπονήσεις, είτε υπολειπόμενες είτε εφαρμοζόμενες, επηρεάζουν τον τρόπο διάβρωσης και μειώνουν την ενέργεια που απαιτείται για την έναρξη της διάβρωσης (Schweitzer 2010).

Οι διάφοροι μηχανισμοί μπορούν να οδηγήσουν σε διαφορετικές μορφές ή τύπους διάβρωσης. Οι κύριες μορφές διάβρωσης που παρατηρούνται στα τοπογραφικά όργανα, είναι οι εξής:

- ❖ Γενική (ομοιόμορφη) διάβρωση
- ❖ Γαλβανική διάβρωση
- ❖ Ράγισμα διάβρωσης από καταπόνηση
- ❖ Επιλεκτική αποκραμάτωση
- ❖ Κόπωση διάβρωσης (Schweitzer 2010)

#### 5.1.1. Ατμοσφαιρική διάβρωση:

Η ατμοσφαιρική διάβρωση πραγματοποιείται με ηλεκτροχημική διαδικασία που συμβαίνει στο κελί διάβρωσης. Ένα κύτταρο διάβρωσης πρέπει να έχει τα ακόλουθα βασικά συστατικά:

1. Μεταλλική άνοδος
2. Μια μεταλλική κάθοδος
3. Μεταλλικός αγωγός μεταξύ της ανόδου και της καθόδου
4. Ηλεκτρολύτης (νερό που περιέχει αγωγιμα άλατα) σε επαφή με την άνοδο και την κάθοδο, αλλά όχι απαραίτητα της ίδιας σύνθεσης στις δύο θέσεις.

Η ατμοσφαιρική διάβρωση είναι μια περίπλοκη ηλεκτροχημική διαδικασία που λαμβάνει χώρα σε κύτταρα διάβρωσης που αποτελούνται από κοινά μέταλλα, μεταλλικά προϊόντα διάβρωσης, επιφανειακούς ηλεκτρολύτες και ατμόσφαιρα. Η σχετική υγρασία, η θερμοκρασία, η περιεκτικότητα σε διοξείδιο του θείου, η περιεκτικότητα σε χλώριο, η ποσότητα των βροχοπτώσεων, η σκόνη, ακόμη και η θέση του εκτεθειμένου μετάλλου παρουσιάζουν σημαντική επίδραση στη συμπεριφορά διάβρωσης. Η γεωγραφική θέση είναι επίσης ένας παράγοντας. (Schweitzer 2010)

Η ατμοσφαιρική διάβρωση εξαρτάται όχι μόνο από την περιεκτικότητα σε υγρασία, αλλά και από την περιεκτικότητα σε σκόνη και την παρουσία άλλων προσμείξεων στον αέρα που επιδρούν στη μεταλλική επιφάνεια και έτσι προκύπτει η διάβρωσή της. Η θερμοκρασία του αέρα μπορεί επίσης να είναι ένας παράγοντας. (Schweitzer 2010)

Όταν η **σκόνη** έρχεται σε επαφή με κάποια μεταλλική επιφάνεια, παρουσία υγρασίας, τότε προκαλείται γαλβανική διάβρωση της επιφάνειας αυτής. Ο αέρας χωρίς σκόνη είναι λιγότερο πιθανό να προκαλέσει διάβρωση. (Schweitzer 2010)

Οι συγκεντρώσεις ρύπων που εντοπίζονται τόσο σε εσωτερικές όσο και σε εξωτερικές ατμόσφαιρες μπορεί να διαφέρουν σημαντικά ως αποτέλεσμα του τύπου της ατμόσφαιρας ή/και της γεωγραφικής θέσης. (Schweitzer 2010)

Η οξείδωση του χαλκού πραγματοποιείται σύμφωνα με τις εξισώσεις:

Οξείδωση, ανοδική αντίδραση:  $2\text{Cu} \rightarrow 2\text{Cu}^{2+} + 4\text{e}^-$

Αναγωγή, καθοδική αντίδραση:  $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$

Πλήρης αντίδραση διάβρωσης:  $2\text{Cu} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Cu}(\text{OH})_2$

Το υδροξείδιο μετατρέπεται σε οξείδιο:  $2\text{Cu}(\text{OH}) \rightarrow \text{Cu}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$  (Salas *et al.* 2013)



Εικόνα 110 Γαλαζοπράσινα προϊόντα διάβρωσης στη σφαιρική αεροστάθμη του "κίτρινου θεοδόλιχου". ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 111 Γαλαζοπράσινα προϊόντα διάβρωσης στο δείκτη του "κίτρινου θεοδόλιχου". ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

### 5.1.2. Διάβρωση μετάλλων από οργανικά οξέα

Η παρουσία οργανικών οξέων, τόσο πτητικών και μη, μπορεί να προκαλέσει διάβρωση στα μέταλλα. Όσο αφορά τα πτητικά οξέα χαρακτηριστική είναι η δράση του οξικού ή αιθανικού οξέος ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) και του μυρμηκικού οξέος ή μεθανικού ( $\text{CHOOH}$ ). Τα συγκεκριμένα πτητικά οξέα δημιουργούνται σε εσωτερικό χώρο από ξύλινα στοιχεία και γενικά προϊόντα ξύλου, υλικά τα οποία αποτελούσαν τόσο τις αρχικές θήκες των αντικειμένων όσο και στοιχεία των επίπλων στον χώρο του Γ.Α.Ι. που φυλάσσονται. Μέταλλα όπως ο χαλκός, ο ψευδάργυρος και ο σίδηρος, τα οποία αποτελούν τα βασικά υλικά κατασκευής των αντικειμένων της συλλογής, είναι ευάλωτα στη διάβρωση από οργανικά οξέα. Η συνεχόμενη έκθεση χάλκινων κραμάτων σε ξύλινα κουτιά και ερμάρια μπορεί να προκαλέσει τον σχηματισμό πράσινων και γαλαζοπράσινων προϊόντων διάβρωσης, τα οποία σχηματίζονται από τις όξινες αποβολές των οργανικών υλικών (Selwyn 2004).



Εικόνα 112 Γαλαζοπράσινα προϊόντα διάβρωσης πάνω από το τηλεσκόπιο και κάτω από τη σωληνωτή αεροστάθμη του «κίτρινου θεοδόλιχου». ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

Στα μέταλλα επιπλέον επιδρούν και μη πτητικά οργανικά οξέα. Αυτό παρατηρείται όταν μέταλλα είναι σε διαρκή επαφή με υλικά ζωικής ή φυτικής προέλευσης (δέρμα, λίπη, έλαια, κεριά κ.α.). Τα μέταλλα κατά την επαφή τους με τέτοια υλικά αντιδρούν προκαλώντας **σαπωνοποίηση**, ιδιαίτερα επιρρεπή σε αυτή την διάβρωση είναι και ο χαλκός και ο ψευδάργυρος. Ελεύθερα λιπαρά οξέα, όπως το στεατικό οξύ [ $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$ ], υπάρχουν μέσα σε προϊόντα φυτικής και ζωικής προέλευσης και προκαλούν διάβρωση στα μέταλλα. Τα προϊόντα της σαπωνοποίησης είναι λιπαρά προϊόντα με κέρινη υφή και σχηματίζονται επιφανειακά και εξωτερικά του υλικού. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η σχηματοποίηση πράσινων προϊόντων διάβρωσης σαπωνοειδούς υφής όταν ορειχάλκινα αντικείμενα είναι σε εκτεταμένη επαφή με δέρμα. Λιπαρά οξέα μπορούν να δημιουργηθούν κατά την αλλοίωση οργανικών υλικών, όταν υφίσταντο υδρόλυση ή οξειδωση (Selwyn 2004). Οι αρχικές θήκες και κουτιά αποθήκευσης των μεταλλικών τοπογραφικών οργάνων είναι κατασκευασμένα από οργανικά υλικά, οπότε αυτά τα υλικά είναι ακατάλληλα για την επιπλέον αποθήκευση των οργάνων, καθώς είναι πιθανό να συνεχιστούν ή και να προκληθούν νέοι μηχανισμοί φθοράς.

### 5.1.3. Αμαύρωση του ορείχαλκου

Η αμαύρωση αποτελεί ένα είδος διάβρωσης, το οποίο προκαλείται εξαιτίας της παρουσίας αναγωγικού θείου και άλλων ρύπων. Η προέλευση των ρύπων συνήθως οφείλεται από φυσικούς, βιομηχανικούς και ανθρωπογενείς παράγοντες. Οι περισσότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι προέρχονται από βιομηχανικές δραστηριότητες, αλλά και από το αστικό τοπίο και του ρύπους που παράγονται από τα οχήματα και την θέρμανση. Το θείο προέρχεται κυρίως από ατμοσφαιρικούς ρύπους, αλλά μπορεί και να εκκριθεί και από ορισμένα οργανικά υλικά και διασπείρεται στην ατμόσφαιρα μέσω ανέμων. Στη συνέχεια οι ατμοσφαιρικοί ρύποι εισέρχονται

στους εσωτερικούς χώρους και σταδιακά ξεκινά η διάβρωση των χάλκινων κραμάτων (Selwyn 2004). Συγκεκριμένα, ατμοσφαιρικοί ρύποι που επιδρούν αρνητικά στην επιφάνεια του μετάλλου είναι ενώσεις των SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> και CO. Από όλους του ρύπους οι πιο επιθετικοί είναι οι θειικοί ρύποι, όπως προαναφέρθηκαν, και κυρίως το H<sub>2</sub>S και το SO<sub>2</sub>, και τα δύο όξινα, το πρώτο όμως αναγωγικό και το δεύτερο οξειδωτικό (Salas *et al.* 2013).

Αρκετά μέταλλα, ιδιαίτερα ο άργυρος και ο χαλκός, παρουσιάζουν μια ευαισθησία όταν εκτίθενται σε ρύπους, ιδιαίτερα όταν αυτοί οι ρύποι περιέχουν θειαιθέρες ή σουλφίδια, όπως σουλφίδιο του υδρογόνου ή υδρόθειο (H<sub>2</sub>S), καρβονυλικό σουλφίδιο (COS) ή ακόμα και θείο σε ελεύθερη κατάσταση (S). Το σουλφίδιο του υδρογόνου (H<sub>2</sub>S) θεωρείται από τους πιο διαβρωτικούς ρύπους, καθώς πρόκειται για ένα σχετικά αδύναμο, διπρωτικό αναγωγικό οξύ, το οποίο είναι ιδιαίτερα ευδιάλυτο στο νερό. Το θείο ως ρύπος έχει υψηλό βαθμό τοξικότητας, επιδρά στο χαλκό και στα κράματα του σχηματίζοντας λεπτά στρώματα μεταλλικών σουλφιδίων ή δενδρίτες, τα οποία είναι καθοδικά προς τη μεταλλική επιφάνεια, έτσι συνεχίζεται και ενισχύεται η διάβρωση του μετάλλου. Παρόλο που ο χαλκός είναι ένα ευγενές μέταλλο και εμφανίζει ανθεκτικότητα στην επίδραση του οξυγόνου στην επιφάνειά του, ορισμένοι ρύποι και ιδιαίτερα το H<sub>2</sub>S αλλοιώνουν το μέταλλο. Στη θερμοκρασία περιβάλλοντος, ακόμα και σε φυσιολογικές συνθήκες σε κλειστό χώρο, τα κράματα του χαλκού διαβρώνονται και τα λεπτά μαυρισμένα στρώματα που σχηματίζονται έχουν πλέον διαφορετικές ιδιότητες από αυτή της αρχικής μεταλλικής επιφάνειας. Αμαυρώσεις μπορούν να σχηματιστούν και σε μια ολόκληρη περιοχή αλλά και ως σημειακά μαύρα στίγματα διεσπαρμένα. Ο σχηματισμός αμαυρωμένων στρωμάτων σε μια χάλκινη επιφάνεια κυρίως πραγματοποιείται όταν το μέταλλο είναι εκτεθειμένο σε ένα περιβάλλον με περιεκτικότητα ατμοσφαιρικών ρύπων και υψηλών τιμών υγρασίας (50%<) και σχετικά υψηλών τιμών θερμοκρασίας (30°C) [(Selwyn 2004), (Salas *et al.* 2013)]. Συγκεκριμένα σε συνθήκες με υψηλές τιμές υγρασίας και όταν το καθαρό μέταλλο έρχεται σε επαφή με μολυσμένο αέρα από ρύπους υδρόθειου (H<sub>2</sub>S), τα κράματα χαλκού σχηματίζουν δύο είδη διαβρώσεων, την οξείδωση όπως έχει προαναφερθεί και τη θείωση/αμαύρωση.

Η θείωση του χαλκού που προκαλεί την αμαύρωση σχηματίζεται σύμφωνα με τις εξής αντιδράσεις:



Ανάλογα τις περιβαλλοντικές συνθήκες μπορούν να σχηματιστούν και άλλα προϊόντα διάβρωσης, δημιουργώντας οξειδώσεις σε πιο ορυστή μορφή. Στις μαυρισμένες περιοχές παρατηρείται γενικά η σχηματοποίηση διάφορων σουλφιδίων με στοιχειομετρική σύνθεση σύμφωνα με το τύπο Cu<sub>x</sub>S, όπου οι τιμές του x ποικίλουν από 1,6 με 2 (Salas *et al.* 2013 p. 1-7).

Συνοπτικά, η πιο κοινή διάβρωση του ορείχαλκου εξαιτίας της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι ο σχηματισμός λεπτών επιφανειακών μαύρων στρωμάτων πάνω από το μεταλλικό πυρήνα και αυτός ο τύπος διάβρωσης αποκαλείται αμαύρωση. Το στρώμα αμαύρωσης ουσιαστικά πρόκειται για ένα συσσωμάτωμα προϊόντων διάβρωσης του ορείχαλκου. Δεν αποτελείται

μόνο από σουλφίδια του κράματος, αλλά και από οξειδία του χαλκού και του ψευδαργύρου μαζί με ρύπους (Rickett and Payer 1995).

Σε υψηλές συγκεντρώσεις υγρασίας στα μέταλλα δημιουργείται ένα λεπτό επιφανειακό στρώμα υγρασίας που σε αυτό προσροφούνται ρύποι από την ατμόσφαιρα και ο συνδυασμός των δύο σχηματίζει έναν ηλεκτρολύτη. Σε πιο ήπιες και σε γενικά σταθερές συνθήκες προκαλείται ο σχηματισμός ενός λεπτού στρώματος, περίπου 1,6 nm., οξειδίων του χαλκού μαζί με υδρογονάνθρακες από το περιβάλλον και νερό. Αυτό το λεπτό στρώμα είναι ικανό να προστατέψει το μέταλλο από επιπλέον διάβρωση σε σταθερές συνθήκες, όμως σε πιο επιθετικό περιβάλλον το στρώμα οξειδίων ενεργοποιείται και συνεχίζονται οι μηχανισμοί αμαύρωσης και οξειδωσης. Η παρουσία διοξειδίου του αζώτου ( $\text{NO}_2$ ) σε περιβάλλον με υγρασία το οποίο περιέχει και διοξειδίου του θείου ( $\text{SO}_2$ ) επιταχύνει την διαδικασία αμαύρωσης. Σε ατμόσφαιρα περιεκτικότητας διοξειδίου του θείου στα 0,25 ppm και διοξειδίου του αζώτου στα 0,3 ppm σχηματίζονται τα οξειδία του χαλκού. Έχει όμως παρατηρηθεί πως η αυξημένη περιεκτικότητα  $\text{NO}_2$  σε ποσότητες περίπου 1,8 ppm, σχηματίζει διαφορετικές αμαυρώσεις με βάση τον νιτρικό χαλκό. Η στρωματογραφία των διαφορετικών στρωμάτων διάβρωσης είναι ως εξής: πάνω από τη μεταλλική επιφάνεια σχηματίζονται οξειδία του χαλκού, ύστερα ως ενδιάμεσο στρώμα σουλφίδια του χαλκού και τελικώς νιτρικός χαλκός (Rickett and Payer 1995).

#### 5.1.4. Αποψευδαργύρωση

Η έντονη παρουσία θειικών οξειδίων και η διατήρηση στρωμάτων αμαυρώσεων πλούσια σε σουλφίδια μπορούν να προκαλέσουν αποψευδαργύρωση στην ορειχάλκινη επιφάνεια που βρίσκεται κάτω από τις αμαυρώσεις. Αυτό το φαινόμενο εντείνεται ιδιαίτερα όταν το αντικείμενο φυλάσσεται σε χώρο με υψηλές τιμές υγρασίας, καθώς με την επίδραση υγρού ηλεκτρολύτη, ενεργοποιείται η αποκραμάτωση (Goidanich *et al.* 2011). Η αποψευδαργύρωση ουσιαστικά πρόκειται για ένα είδος αποκραμάτωσης και μάλιστα ένα από τα σύνηθες (Selvaraj *et al.* 2003). Αποψευδαργύρωση είναι η διαδικασία κατά την οποία ο ψευδάργυρος (Zn) διαλύεται επιλεκτικά (εκλεκτικά), αφήνοντας ένα πορώδες μέταλλο, πλούσιο σε χαλκό (Cu) (Selvaraj *et al.* 2003; Zhou *et al.* 2017). Η αποψευδαργύρωση εκδηλώνεται στις επιφάνειες του ορείχαλκου με δύο βασικές τύπους διάβρωσης.

- α) **Ομοιόμορφη διάβρωση:** Δημιουργείται ένα περίπου ισοπαχές και ομοιόμορφο στρώμα, το οποίο εκτείνεται σε μια ευρεία περιοχή. Παρομοιάζει με την ομοιόμορφη διάβρωση των μετάλλων, απλώς εδώ εκδηλώνεται εκλεκτική διάβρωση όπου αφαιρείται ο ψευδάργυρος και παραμένει ένα στρώμα χαλκού. Η επιφάνεια ουσιαστικά φαίνεται μακροσκοπικά να είναι επικαλυμμένη από αμαύρωση και από κάτω εκδηλώνεται η αποψευδαργύρωση.
- β) **Σημειακή διάβρωση:** Μέσω αυτής εκδηλώνεται μια πιο επιθετική διάβρωση, η οποία δρα απότομα σε ορισμένα σημεία. Η διάβρωση αυτή είναι πιο δραστική και διεισδύει εις βάθος στο μεταλλικό πυρήνα, προκαλώντας εσοχές σαν πόρους στο μέταλλο. Η σημειακή διάβρωση εμφανίζεται σε ορισμένα σημεία και όχι γενικά σε μια ευρεία περιοχή του μετάλλου (Selvaraj *et al.* 2003).

Πολλές θεωρίες έχουν εκφραστεί για την ακριβή λειτουργία του μηχανισμού αποψευδαργύρωσης, οι οποίες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο ομάδες.

1. Θεωρίες επιλεκτικής(εκλεκτικής) διαλυτοποίησης, όπως η διαλυτοποίηση όγκου του ψευδαργύρου και/ή του χαλκού, η διάχυση τους στη επιφάνεια, ορισμένες φορές σε συνδυασμό με τη κίνηση πλεγματικών κενών<sup>17</sup> και τον μηχανισμό διήθησης είναι οι πιο αντιπροσωπευτικές. Οι συγκεκριμένες θεωρίες παρουσιάζουν επιλεκτική-εκλεκτική διάλυση του ψευδαργύρου χωρίς όμως την ηλεκτροχημική επίδραση του ατομικού χαλκού. Κατά αυτήν αποδεσμεύονται στοιχεία ψευδαργύρου από το κράμα και απομένει ένα αδύναμο και πορώδες πλούσιο σε χαλκό μέταλλο.
2. Σε αντίθεση, η θεωρία της διάλυσης επανα-εναπόθεσης του χαλκού, περιγράφει μια ταυτόχρονη διαλυτοποίηση και του χαλκού και του ψευδαργύρου, ακολουθούμενη από μια διαδικασία επιχάλκωσης επάνω στην επιφάνεια του κράματος. Κατά αυτόν τον τρόπο δημιουργείται ένα ελλαττωματικό χάλκινο στρώμα, το οποίο αναπτύσσεται πάνω από τον ορείχαλκο.

Η διάβρωση της αποψευδαργύρωσης που ονομάζεται και ως 'κόκκινη σήψη' έχει μια ιδιαίτερη πολυπλοκότητα, καθώς αποτελείται από πολλά στρώματα. Συγκεκριμένα, μπορεί να αποτελείται από ένα στρώμα ψευδαργύρου και ένα στρώμα προϊόντων διάβρωσης με οξειδία χαλκού και ψευδαργύρου και άλλες φορές να διατηρείται μόνο ένα στρώμα χαλκού και προϊόντων διάβρωσής του (Zhou *et al.* 2017). Η 'κόκκινη σήψη' ή καλύτερα η αποψευδαργύρωση εμφανίζεται επειδή όλα τα μέταλλα δεν οξειδώνονται με τον ίδιο ρυθμό. Η ταχύτητα με την οποία ένα μέταλλο θα διαβρωθεί εξαρτάται από το πόσο ευγενές είναι ένα μέταλλο, δηλαδή πόσο ψηλά ή χαμηλά βρίσκεται στην γαλβανική σειρά. Ένα μέταλλο που είναι πολύ ευγενές, όπως ο χρυσός ή το τιτάνιο, θα διαβρωθεί πολύ αργά. Ένα μέταλλο χαμηλής ευγένειας, όπως ο ψευδάργυρος ή ο σίδηρος, θα διαβρωθεί πιο γρήγορα. Ένα μέταλλο με πολύ χαμηλή ευγένεια θα διαβρωθεί επίσης κατά προτίμηση από ένα άλλο μέταλλο, εάν έρχονται σε επαφή μεταξύ τους. Ο ψευδάργυρος είναι ένα από τα λιγότερο ευγενή μέταλλα, ενώ ο χαλκός είναι αρκετά πιο ευγενές μέταλλο. Υπό κανονικές συνθήκες, ο ορείχαλκος είναι στην πραγματικότητα ένα αρκετά σταθερό μέταλλο, με σχετικά υψηλή «ευγένεια». Για την δημιουργία του ορείχαλκου ο χαλκός και ο ψευδάργυρος είναι πολύ στενά συνδεδεμένοι έτσι διαβρώνονται και τα δύο μαζί με αργό ρυθμό. Η «κόκκινη σήψη» μπορεί να συμβεί μόνο σε ειδικές περιβαλλοντικές συνθήκες, όταν, μέσω μιας διαδικασίας παρόμοιας με την ηλεκτρόλυση, ο ψευδάργυρος και ο χαλκός διασπώνται. Όταν συμβεί αυτό, ο ψευδάργυρος, λόγω της πολύ χαμηλής του ευγένειας, θα οξειδωθεί αμέσως, και μόνο καθαρός χαλκός θα μείνει πίσω. Με αποτέλεσμα σχεδόν πάντα κατά την αποκρυστάλλωση του ορείχαλκου να διαλυτοποιείται ο ψευδάργυρος και να παραμένει ο χαλκός στην αρχική μεταλλική επιφάνεια, ως εκ τούτου η διάβρωση να ονομάζεται αποψευδαργύρωση, γιατί διαβρώνεται και 'χάνεται' ο ψευδάργυρος από το κράμα (Silver and Brass Music Shop 2022).

#### 5.1.5. Διάβρωση ορείχαλκου από επικαλυπτικά

Όπως προαναφέρθηκε οργανικά στοιχεία προκαλούν διάβρωση στο χαλκό και τα κράματα του. Οργανικά υλικά είναι και τα επικαλυπτικά και ειδικά τα φυσικά βερνίκια, δηλαδή η

---

<sup>17</sup> Πλεγματικά κενά, είναι η απλούστερη σημειακή ατέλεια κατά την οποία παρατηρείται έλλειψη ατόμου από σημεία-κόμβους του κρυσταλλικού πλέγματος και δημιουργείται κατά την στερεοποίηση του μετάλλου. Η κίνηση των πλεγματικών κενών συμβαίνει όταν ένα άτομο περνάει μέσα από την μία ή δύο κενές θέσεις που υπάρχουν στο κρυσταλλικό πλέγμα.

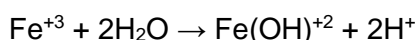


γομαλάκα. Υπολείμματα κέρινων επικαλυπτικών ή βερνικιών αντιδρούν με τον ορείχαλκο και σχηματίζουν πράσινα προϊόντα διάβρωσης (Barclay *et al.* 2020). Με την αύξηση των τιμών της υγρασίας η λάκα αντιδρά και οξειδώνει το χαλκό και τα κράματα του σχηματίζοντας διάφορα προϊόντα διάβρωσης. Ο πιο συνήθης σχηματισμός οξειδίων σε ιστορικά αντικείμενα είναι ο καστανέρυθρος κυπρίτης ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) και σε πιο ακραίες συνθήκες μπορεί ακόμα να σχηματιστούν και γαλαζοπράσινα προϊόντα μαλαχίτη  $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ . Όσο εντείνονται τα φαινόμενα διάβρωσης προκαλούνται συσσωματώματα οξειδώσεων στην επιφάνεια των αντικειμένων. Το επικαλυπτικό διαβρώνει το μέταλλο και τα οξείδια του κράματος στιγματίζουν αλλά και οξειδώνουν το βερνίκι. Έτσι καταλήγει μια επιφάνεια 'στιγματισμένη' από ποικίλα οξείδια του ορείχαλκου λόγω της αμαύρωσης και από το ίδιο το οξειδωμένο βερνίκι. Όσο παραμένουν αυτά τα συσσωματώματα διάβρωσης οι μηχανισμοί φθοράς συνεχίζουν να δρουν σε κατάλληλες συνθήκες και καταλήγουν τα δύο υλικά να διαβρώνει το ένα το άλλο (Webb 2000). Η ταυτόχρονη διάβρωση της γομαλάκας ή και του ορείχαλκου σχηματίζει μια καφέ σκουρόχρωμη σαν πατίνα επιφάνεια που σχηματίζεται από το συσσωμάτωμα προϊόντων οξείδωσης και αμαύρωσης του ορείχαλκου και του οξειδωμένου βερνικιού. Αυτή η διάβρωση δεν εκδηλώνεται πάντα ομοιόμορφα, αλλά αντιθέτως εμφανίζεται σε ορισμένα σημεία. Άλλα μέρη του βερνικιού διατηρούνται καθαρά και έχουν την κίτρινη όψη τους, ενώ άλλα οξειδώνονται δημιουργώντας καφέ στρώσεις. Οι καθαρές κίτρινες περιοχές της γομαλάκας διατηρούνται έτσι, επειδή πιθανότητα είχε γίνει σε αυτά τα σημεία καλύτερη και παχιά επικάλυψη (Barclay *et al.* 2020) και καλύπτονταν από άλλα εξαρτήματα, όποτε ήταν προστατευμένες από την ατμόσφαιρα.

#### 5.1.6. Διάβρωση σιδήρου σε εσωτερικές συνθήκες

Όσον αφορά τον σίδηρο, τα προϊόντα διάβρωσής του συνήθως είναι μαύρου, κόκκινου, πορτοκαλί, κίτρινου ή καφέ χρώματος, και είναι συμπαγή και προσκολλημένα στις επιφάνειες. Αντικείμενα κατασκευασμένα από σίδηρο, ειδικά εκείνα που έχουν χρησιμοποιηθεί σε εξωτερικούς χώρους ή αποθηκεύονται σε ανεξέλεγκτο περιβάλλον, καλύπτονται συχνά με ένα σταθερό κόκκινο-καφέ στρώμα 'σκουριάς' (Barclay *et al.* 2020).

Στο πλούσιο σε οξυγόνο ατμοσφαιρικό περιβάλλον, τα ιόντα  $\text{Fe}^{+2}$  οξειδώνονται περαιτέρω σχηματίζοντας ιόντα  $\text{Fe}^{+3}$ . Σε περιβάλλοντα όπου το pH υπερβαίνει το 6 το υδροξείδιο του σιδήρου(II) οξειδώνεται και υδρολύεται απότομα σε υδροξείδιο του σιδήρου(III). Σταδιακά, αυτό το υδροξείδιο μετατρέπεται σε υδροξυοξείδια του σιδήρου και συγκεκριμένα το γκαιίτη.



Η διάβρωση του σιδήρου γίνεται εμφανής μέσω των κόκκινο-καφέ προϊόντων οξείδωσής του, που οφείλονται στον γκαιίτη. Ο γκαιίτης είναι ένυδρο ορυκτό οξείδιο του σιδήρου και χημικά συμβολίζεται  $\alpha\text{-FeOOH}$ . Συνοπτικά, σχηματίζεται σε συνθήκες υψηλής συγκέντρωσης οξυγόνου, με παρουσία  $\text{Fe}^{3+}$  ενώσεων και είναι σταθερός (Selwyn 2004).

#### 5.1.7. Υποβάθμιση του επικαλυπτικού

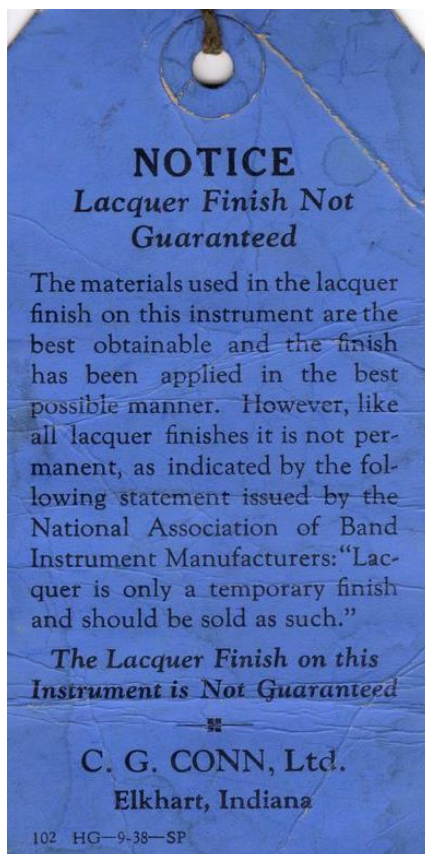
Η γομαλάκα, όπως κάθε λάκα και βερνίκι, διαβρώνεται κατά την πολυετή έκθεση του στις περιβαλλοντικές συνθήκες. Η πιο κοινή διάβρωση που εμφανίζεται στα βερνίκια και στη

γομαλάκα συγκεκριμένα είναι η υποβάθμιση του υλικού και της επιφάνειας του από το φως. Όλα τα επικαλυπτικά αργά ή γρήγορα καταλήγουν σε αποχρωματισμό, ξεθώριασμα και ρίκνωση εξαιτίας της έκθεσης στο φυσικό ή τεχνητό φως. Η επιφάνεια αποκτά μια πιο σκούρα απόχρωση, ενώ χάνει τη διαφανή στιλπνότητά της. Αυτό οφείλεται στη σταδιακή αποδυνάμωση της γομαλάκας, καθώς η επιφάνεια αποκτά μια εκτεταμένη μικρό-ρωγματομένη δομή. Η ενέργεια που περιέχεται στο φως έχει την ικανότητα να σπάει τους δεσμούς μεταξύ των μορίων του πολυμερούς, σχηματίζοντας μικρότερα μόρια. Η υπεριώδης ακτινοβολία που συμπεριλαμβάνεται στο ηλιακό φως έχει περισσότερη ενέργεια και φθείρει περισσότερο το επικαλυπτικό (Webb 2000). Η σταδιακή έκθεση της γομαλάκας και γενικά κάθε βερνικιού οδηγεί στη γήρανση του. Η γομαλάκα (shellac) υφίσταται γήρανση που είναι χημικά η αυτοεστεροποίησης της ή ο πολυμερισμός της. Καθώς τα περισσότερα από τα όξινα συστατικά της γομαλάκας έχουν υδροξυλομάδες, με την πάροδο του χρόνου η σταδιακή αυτοεστεροποίηση έχει ως αποτέλεσμα την πτώση της τιμής του οξέος, τη μειωμένη διαλυτότητα και της αύξηση της θερμοκρασίας της μετάπτωσης υάλου (Tg) και της ευθραυστότητας.

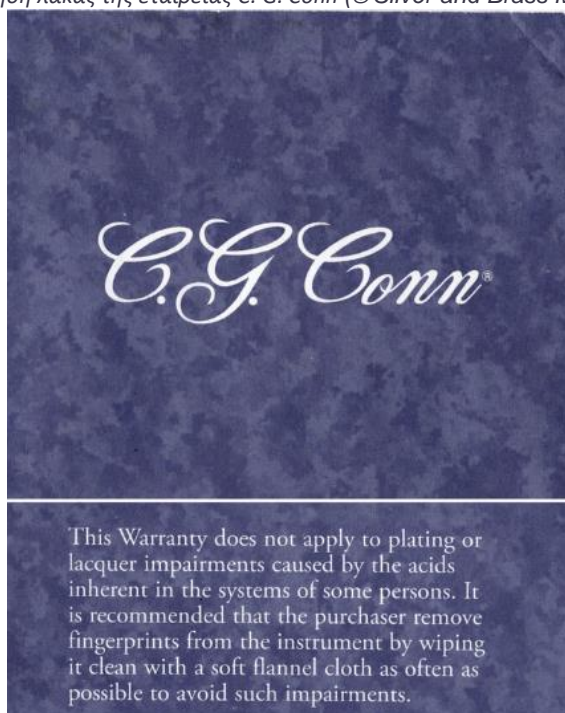
Στην πράξη σε ένα βερνικωμένο αντικείμενο είναι αναπόφευκτη η φθορά και καταστροφή της τελικής επικαλυμμένης περιοχής (φινίρισμα). Αυτό μπορεί να συμβεί όταν στο αντικείμενο παρουσιάζονται εκδορές, εάν η λάκα θρυμματιστεί ή εάν το αντικείμενο έχει εσοχές και αυλακώσεις. Μπορεί, επίσης, να συμβεί απλώς μέσω της έκθεσης στο ηλιακό φως ή της αποσύνθεσης της λάκας με την ηλικία. Ακόμη και σε ένα καλά φροντισμένο όργανο θα υπάρχει ο κίνδυνος να διαβρωθεί το φινίρισμά του λόγω κανονικής φθοράς. Μόλις το επικαλυπτικό αποκτήσει την παραμικρή απώλεια, οπή ή εκδορά, θα ξεκινήσει μια διαδικασία διάβρωσης που μπορεί να σταματήσει μόνο με την αφαίρεσή της λάκας από το όργανο. Μόλις υπάρξει μια τρύπα στη γομαλάκα, το εξωτερικό περιβάλλον θα αρχίσει να επιτίθεται και να διαβρώνει τον ορείχαλκο. Ο μεγαλύτερος εχθρός του αντικειμένου σε αυτό το σημείο είναι ο ιδρώτας από τα χέρια του χειριστή. Αυτός ο ιδρώτας περιέχει μικρές ποσότητες ηλεκτρολυτών (άλατα) και οξέων, τα οποία θα εναποτεθούν στην επικάλυψη λάκας. Μόλις εισχωρήσουν στο στρώμα του επικαλυπτικού, θα ξεκινήσει η διάβρωση. Αυτά τα άλατα και τα οξέα παρουσία υγρασίας προκαλούν ταυτόχρονα διάβρωση στον ορείχαλκο. Όταν όλα αυτά τα στοιχεία συνδυάζονται (χαλκός, ψευδάργυρος, αλάτι, οξύ και υγρασία), το αποτέλεσμα είναι ότι δημιουργείται ένα ηλεκτρικό αγωγίμο φορτίο. Επειδή η λάκα εγκλείει όλα αυτά τα στοιχεία, η διάβρωση του ορείχαλκου επιταχύνεται στα σημεία που η λάκα παρουσιάζει φθορά. Το αποτέλεσμα είναι ότι μετά από μερικά χρόνια βαθιές κοιλότητες ή χαράξεις θα αποτυπωθούν μόνιμα στην επιφάνεια του οργάνου.

Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο ιστορικά, όταν οι εταιρείες πρόσφεραν εγγύηση στα αντικείμενά τους, αυτή η εγγύηση δεν περιλάμβανε το φινίρισμα λάκας.

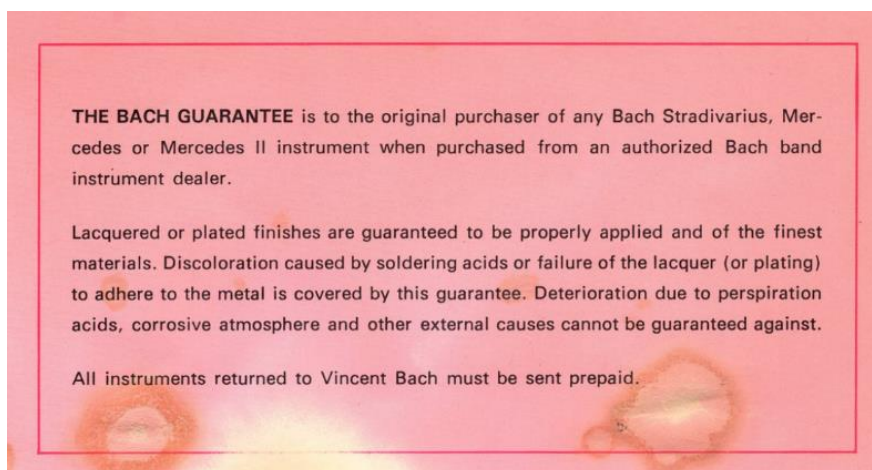
Ακολουθούν μερικά παραδείγματα εγγυήσεων κατασκευαστών για τη λάκα στα όργανά τους:



Εικόνα 113 Εγγύηση λάκας της εταιρείας C. G. Conn (© Silver and Brass Music Shop 2022)



Εικόνα 114 Εγγύηση λάκας της εταιρείας C. G. Conn (@Silver and Brass Music Shop 2022)



Εικόνα 115 Εγγύηση λάκας της εταιρείας Bach (@Silver and Brass Music Shop 2022)

Σε ακραίες περιπτώσεις, η διάβρωση ενός επικαλυμμένου ή επάργυρου οργάνου μπορεί να εξελιχθεί σε μια κατάσταση γνωστή στην αγορά ως «Red Rot». Αυτό συμβαίνει όταν εμφανίζονται συγκεντρωμένες κηλίδες διάβρωσης στο αντικείμενο και μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται " αποψευδαργύρωση ", φωτεινές ροζ-κόκκινες κηλίδες εμφανίζονται και αναπτύσσονται κάτω από τη λάκα ή την ασημένια πλάκα. Αυτό συνήθως συνοδεύεται από μια επιφανειακά ανώτερη κηλίδα στο κέντρο, είτε λευκού είτε πρασινωπού χρώματος. Αυτή η διαδικασία προκαλείται λόγω του μηχανισμού της αποψευδαργύρωσης που αφήνει καθαρό χαλκό. Συνεπώς, η οξείδωση του βερνικιού σε μη ελεγχόμενες συνθήκες έκθεσης/αποθήκευσης μπορεί να προκαλέσει αποκραμάτωση του ορείχαλκου και συγκεκριμένα αποψευδαργύρωση. Το επιφανειακό λευκό εξόγκωμα στη μέση είναι οξείδιο του ψευδαργύρου και το έντονο ροζ υπόστρωμα είναι ο χαλκός που έχει απομείνει. Όταν συμβεί αυτό, η δομική ακεραιότητα του μετάλλου διακυβεύεται. Το καθαρό μέταλλο του χαλκού που παραμένει είναι αρκετά πορώδες, γεμάτο οπές εκεί που υπήρχε ο ψευδάργυρος και αποδυναμωμένο. Η αποψευδαργύρωση οφείλεται στα άλατα, κυρίως ανθρώπινης προέλευσης, που προκαλούν τη συμπυκνωμένη διάβρωση (Silver and Brass Music Shop 2022).

### 5.1.8. Η ανθρώπινη χρήση ως φθοροποιός παράγοντας

Όλα τα αντικείμενα από την κατασκευή τους παράγονται και προορίζονται για τον άνθρωπο. Όμως με την πάροδο χρόνων η συνεχόμενη και εκτεταμένη χρήση των αντικειμένων αφήνει το αποτύπωμα της ως φθορά και επιφέρει την υποβάθμιση της μεταλλικής επιφάνειας. Δακτυλικά αποτυπώματα αφήνονται στην επιφάνεια του μετάλλου κατά την χρήση, επιπλέον ο ιδρώτας από τα χέρια αφήνει υπολείμματα. Άλατα, λίπη και υγρασία μεταφέρονται από τα χέρια στα αντικείμενα και αφήνουν στίγματα στις καθαρές μεταλλικές επιφάνειες, αλλά και πάνω στα βερνίκια. Αυτά τα στίγματα με τα οργανικά υπολείμματα μπορούν να προκαλέσουν σημειακή διάβρωση, η οποία γίνεται ιδιαίτερα εμφανής στις γυαλισμένες ορειχάλκινες επιφάνειες (Barclay *et al.* 2020). Αξιοσημείωτη και ιδιαίτερη είναι η επίδραση του ιδρώτα στα μεταλλικά αντικείμενα. Ο ιδρώτας μεταφέρεται στη μεταλλική επιφάνεια μέσω της άμεσης επαφής, αλλά και ως σταγονίδια από το ιδρωμένο μέτωπο και τα χέρια. Ο ιδρώτας περιέχει άλας και συγκεκριμένα χλωριούχο νάτριο που αποτελεί τη κύρια διαβρωτική ουσία του ιδρώτα. Σε αυτόν περιέχονται και ανόργανα και οργανικά στοιχεία που εντείνουν τη διάβρωση, αλλά δεν επιδρούν όσο το χλωριούχο νάτριο. Σε υψηλές τιμές υγρασίας (>50% RH) ο ιδρώτας σε συνδυασμό με δακτυλικά αποτυπώματα προκαλεί διάβρωση, η οποία προκαλεί λεκέδες και αμαύρωση στη μεταλλική επιφάνεια. Τη μεγαλύτερη φθορά την προκαλεί η παρουσία του χλωριούχου νατρίου που επιδρά στον ίδιο βαθμό σε ορείχαλκους με ή χωρίς βερνίκι. Συνοπτικά, η διάβρωση από τα ανθρώπινα υπολείμματα προκαλούν την φθορά της τελικής επεξεργασίας της μεταλλικής επιφάνειας, την υποβάθμιση της λειτουργίας, την αισθητική μείωση, ακόμα και την αχρήστευση του αντικειμένου σε περίπτωση επιστημονικού οργάνου ακρίβειας (Lind 1972). Τα δακτυλικά αποτυπώματα αφήνοντας υπολείμματα ιδρώτα διαβρώνουν και τα βερνίκια, πέρα από τα μέταλλα. Στα βερνίκια μπορεί να σχηματίζουν σημειακά μαυρίσματα και



Εικόνα 116 Μικρό ρωγμή στη βάση βραχίονα μικροσκοπίου του κίτρινου θεοδόλιχου. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

κιτρινίσματα στα όρια των δακτυλικών αποτυπωμάτων καθώς και τα οξέα και η αμμωνία που περιέχεται στο ιδρώτα να προκαλέσει περαιτέρω διάβρωση (Webb 2000). Μέχρι στιγμής αναφέρθηκαν οι χημικές φθορές στις οποίες υπόκεινται τα μεταλλικά αντικείμενα εξαιτίας της ανθρώπινης χρήσης. Όμως ο ανθρώπινος χειρισμός των οργάνων και η μεταφορά τους στο ανασκαφικό πεδίο δημιουργεί ένα περιβάλλον ιδιαίτερα ευνοϊκό για την πρόκληση μηχανικών φθορών. Η μετακίνηση των οργάνων στον ανασκαφικό χώρο, η συναρμολόγηση και αποσυναρμολόγηση για τη λειτουργία

γάνων στον ανασκαφικό χώρο, η συναρμολόγηση και αποσυναρμολόγηση για τη λειτουργία

και αποθήκευσή τους, η αποθήκευση σε οργανικά σκληρά υλικά και ο συνεχής χειρισμός αποτελούν παράγοντες που έχουν επιδράσει στα αντικείμενα και έχουν προκαλέσει φθορές. Εκδορές σε μεγάλη έκταση και σε όλες τις επιφάνειες των εξαρτημάτων αποτελούν τη σημαντικότερη φθορά. Επιπλέον, αυλακώσεις, στρεβλώσεις, παραμορφώσεις και ρωγμές είναι βασικοί τύποι φθορών που έχουν σχηματιστεί στις μεταλλικές επιφάνειες (Schaffer 2011). Πέρα από τα μεταλλικά στοιχεία, από την ανθρώπινη χρήση φθείρονται και άλλα υλικά των τοπογραφικών οργάνων. Το δεύτερο πιο σημαντικό υλικό είναι το επικαλυπτικό,











Εικόνα 117 Η απώλεια της εξωτερικής βαφής του "μικρού χωροβάτη" και η αποκάλυψη διαφορετικού επικαλυπτικού υποστρώματος. Η απώλεια σε αυτό το σημείο οφείλεται στη συχνή χρήση και στο άγγιγμα αυτής της συγκεκριμένης περιοχής. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

η γομαλάκα. Μετά από πολύ χρήση των αντικειμένων τα πολυμερή υλικά τα οποία έχουν τοποθετηθεί ως επικαλυπτικά, συγκολλητικά, στοιχεία εξαρτημάτων κ.α. φθείρονται και χρειάζονται αφαίρεση και αντικατάσταση (Lemos and Tissot 2020). Το επικαλυπτικό είτε ως βαφή είτε ως βερνίκι στα σημεία που ήταν υπό συχνό χειρισμό φθείρονται και αφαιρούνται σταδιακά, με αποτέλεσμα τη μείωση του πάχους τους και την απώλεια της προστασίας επικάλυψη που προσφέρουν.

## 5.2. Μακροσκοπική παρατήρηση

Πριν την οποιαδήποτε επέμβαση, συλλέχθηκαν στοιχεία για τις φθορές των αντικειμένων μέσω ενδελεχούς μακροσκοπικής παρατήρησης. Τα στοιχεία αυτά καταγράφονται στον ακόλουθο πίνακα:

Φθορά	Ενδεικτική Φωτογραφία	Σημείο εύρεσης	Λεπτομέρειες
<b>Αμαύρωση</b>		Στα ορειχάλκινα τμήματα όλων των αντικειμένων	Φυσική οξείδωση του ορείχαλκου λόγω της ρύπανσης του περιβάλλοντος
<b>Αποψευδαργύρωση</b>		Στα ορειχάλκινα τμήματα όλων των αντικειμένων και συγκεκριμένα στις έντονα αμαυρωμένες περιοχές τους	Αποκραμάτωση του ορείχαλκου και διάλυση του ψευδαργύρου λόγω υγρασίας, ρύπων και φθοράς του βερνικιού του
<b>Πράσινα προϊόντα διάβρωσης</b>		Σε διάφορα σημεία των ορειχάλκινων τμημάτων του θεοδόλιχου	Προϊόντα διάβρωσης ορείχαλκου που οφείλονται σε οργανικά οξέα
<b>Κόκκινα προϊόντα διάβρωσης</b>		Στα σιδερένια στοιχεία του θεοδόλιχου, του μαύρου χωροβάτη και του μικρού χωροβάτη	Προϊόντα διάβρωσης σιδήρου που οφείλονται στην οξείδωση του σιδήρου λόγω υγρασίας και ρύπων
<b>Στρεβλώσεις</b>		Στους βραχίονες των μικροσκοπίων του θεοδόλιχου και στον ανασταλτικό κοχλία του	Αλλοίωση αρχικού σχήματος λόγω μηχανικής καταπόνησης κατά τη χρήση
<b>Εκδορές</b>		Σε όλες τις επιφάνειες των αντικειμένων, κυρίως όμως του θεοδόλιχου	Μηχανικές επιφανειακές φθορές λόγω καταπόνησης κατά τη χρήση

<p><b>Οξείδωση βερνικιού</b></p>		<p>Σε όλες τις επικαλυμμένες ορειχάλκινες επιφάνειες των αντικειμένων, κυρίως όμως του θεοδόλιχου</p>	<p>Χρωματική αλλοίωση και αποδυνάμωση του βερνικιού, λόγω υγρασίας, ρύπων και οργανικών αλάτων του ορείχαλκου</p>
<p><b>Διάβρωση σκουρόχρωμου επικαλυπτικού</b></p>		<p>Στις επιφάνειες της διόπτρας μετροτράπεζας</p>	<p>Χρωματική αλλοίωση του επικαλυπτικού και αντικατάστασή του από νιτρικά οξείδια, λόγω υγρασίας, ρύπων και οργανικών αλάτων του ορείχαλκου</p>



### 5.3. Παθολογία αντικειμένων

Με βάση τα αποτελέσματα της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας και της ακτινογραφίας σε συνδυασμό με την μακροσκοπική παρατήρηση, δημιουργήθηκαν χάρτες παθολογίας για το κάθε αντικείμενο. Η ατμοσφαιρική διάβρωση, οι επικαθίσεις και η ανθρώπινη χρήση είναι οι κύριοι παράγοντες φθοράς των αντικειμένων.

#### 5.3.1. Θεοδόλιχος:



Όλη επιφάνεια του **Θεοδόλιχου** είναι καλυμμένη με επιφανειακές επικαθίσεις, οι οποίες αποτυπώνονται στις παραπάνω φωτογραφίες με πράσινο χρώμα. Οι επικαθίσεις αυτές είναι κυρίως σκόνη και λιπαρές ουσίες και οφείλονται στο ότι το τοπογραφικό όργανο, από όταν σταμάτησε να χρησιμοποιείται στο πεδίο, τοποθετήθηκε σε εσωτερικό χώρο. Συγκεκριμένα, στο κτήριο του Γερμανικού Αρχαιολογικού Ινστιτούτου, στην οδό Φειδίου στο κέντρο της Αθήνας, με χρήση ως διακοσμητικό αντικείμενο. Οι επικαθίσεις κάλυπταν όλα τα μέρη του οργάνου και σχημάτιζαν πυκνές γκρίζες στρώσεις, αλλοιώνοντας αισθητικά το αντικείμενο. Επιπλέον η υγροσκοπικότητα των επικαθίσεων έχει ως αποτέλεσμα την προσρόφηση υγρασίας επάνω στην επιφάνεια του αντικειμένου.



Με μπλε χρώμα, στον παραπάνω χάρτη, φαίνονται τα σημεία που ο ορείχαλκος έχει αμαυρωθεί. Η αμαύρωση είναι η φυσική οξείδωση του μετάλλου λόγω διάβρωσης από το ατμοσφαιρικό περιβάλλον με το πέρασμα του χρόνου και δημιουργεί ένα προστατευτικό στρώμα.



Με κόκκινο χρώμα αποτυπώνονται στις παραπάνω φωτογραφίες τα σημεία που έχει χρησιμοποιηθεί σίδηρος για την κατασκευή τμημάτων του, ενώ το μεγαλύτερο μέρος του αντικειμένου είναι ορειχάλκινο. Τα τμήματα αυτά είναι κυρίως σύνδεσμοι και κοχλίες. Ο σίδηρος λόγω των ατμοσφαιρικών ρύπων έχει οξειδωθεί αρκετά. Οι οξειδώσεις αυτές είναι κόκκινο-καφέ χρώματος.

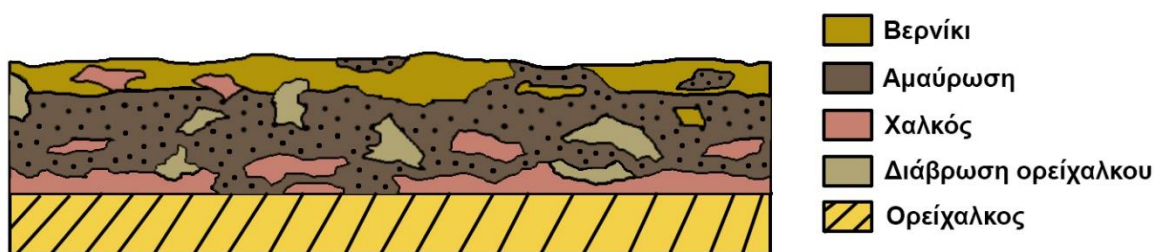


Σε γενικές γραμμές η κατάσταση του θεοδόλιχου κρίνεται ως καλή. Παρόλα αυτά, σε ορισμένα σημεία της μεταλλικής επιφάνειας του χαλκού, παρατηρούνται πράσινα προϊόντα διάβρωσης. Τα προϊόντα αυτά αποτυπώνονται με μωβ χρώμα στις παραπάνω φωτογραφίες.

### Στρωματογραφία Θεοδόλιχου

Αρχικά, όλα τα εξαρτήματα του οργάνου, είχαν επικαλυφθεί με βερνίκι ομοιόμορφου πάχους, το οποίο έχει εκδηλωθεί προκαλώντας ένα κιτρίνισμα. Το κιτρίνισμα του βερνικιού έχει αποδώσει ένα χρυσό χρώμα στο θεοδόλιχο, το οποίο όμως αλλοιώνει την αυθεντική όψη του αντικειμένου. Το όργανο αρχικά δεν είχε τόσο κίτρινη απόχρωση, αλλά την απέκτησε εξαιτίας της οξείδωσης του βερνικιού. Η χρυσή όψη που προσδίδει το βερνίκι παραπλανεί τον συντηρητή και δυσχεραίνει τον προσδιορισμό της πραγματικής απόχρωσης του αντικειμένου. Στη συνέχεια, σε όλες τις περιοχές του θεοδόλιχου έχει εκδηλωθεί αμαύρωση, είτε εκτεταμένη ως ομοιόμορφη διάβρωση ή σημειακή. Κανένα μέρος του οργάνου δεν έχει παραμείνει απρόσβλητο από την ατμοσφαιρική διάβρωση που έχει σχηματίσει ένα λεπτό μαύρο στρώμα. Τα θειικά στοιχεία της αμαύρωσης έχουν προκαλέσει αποψευδαργύρωση του κράματος, με

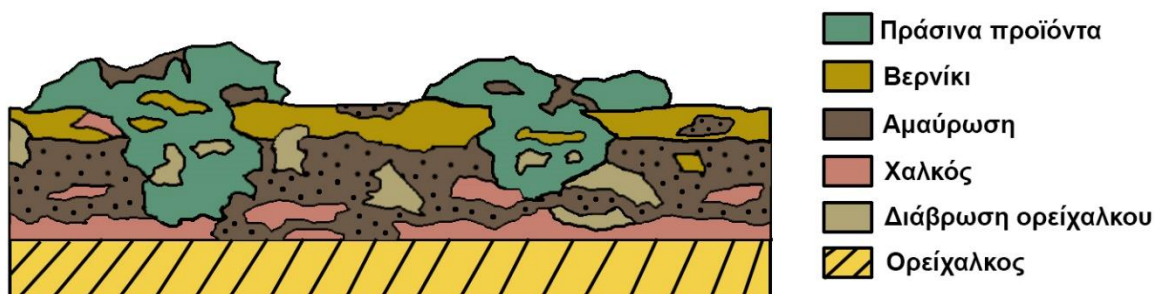
αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός στρώματος χαλκού με οξειδιά του ενδιάμεσα του στρώματος της αμαύρωσης και του μεταλλικού πυρήνα. Η αποψευδαργύρωση έχει εκδηλωθεί σε σημεία, όπου η αμαύρωση ήταν έντονη και είχε δημιουργήσει ένα πιο παχύ στρώμα. Ανάλογα την έκταση της αμαύρωσης, έχουν απομείνει χάλκινες-ροζ επιφάνειες ή σε μικρά σημεία ή καταλαμβάνουν μεγαλύτερη έκταση πάνω στα αντικείμενα. Οπότε σύμφωνα με τα άνωθεν, προκύπτει μια ενδεικτική γενική στρωματογραφία.



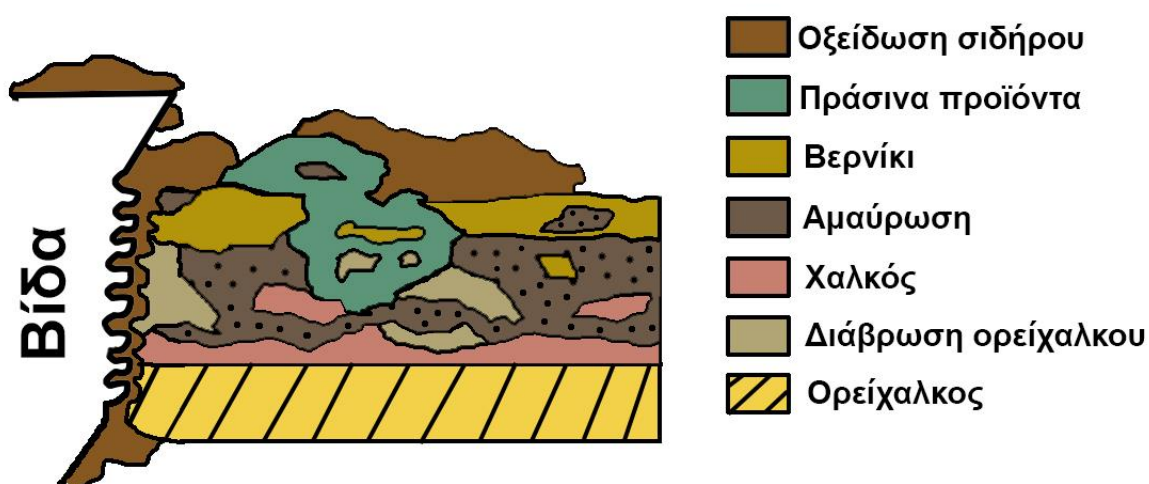
Σχέδιο 9 Στρωματογραφία των διαβρώσεων στο θεοδόλιχο. Παρόλο που οι διαβρώσεις είναι σαν συσσωμάτωμα, παρατηρείται το οξειδωμένο βερνίκι να είναι πιο επιφανειακό, από κάτω οι αμαυρώσεις με τις οξειδώσεις του κράματος που καλύπτουν το αποψευδαργυρωμένο στρώμα.

Όπως παρουσιάστηκε παραπάνω στο θεοδόλιχο εντοπίζεται μια ποικιλομορφία προϊόντων διάβρωσης. Στο συγκεκριμένο αντικείμενο, έχουν αναπτυχθεί και πράσινα προϊόντα οξειδω-σης και αμαυρώσεις και έχουν εναποτεθεί και οξειδία σιδήρου πάνω στις ορειχάλκινες περιο-χές. Κατά αυτόν το τρόπο, το αντικείμενο φέρει μια σύνθετη στρωματογραφία προϊόντων διά-βρωσης και γενικά ανεπιθύμητων στρωμάτων. Αξιοσημείωτο αποτελεί το γεγονός πως δεν διατηρείται μια κοινή παθολογία σε όλα τα μέρη του θεοδόλιχου. Σε ορισμένα σημεία οι δια-βρώσεις είναι περισσότερες και μεγαλύτερες σε όγκο, ενώ σε άλλες είναι πιο μετριασμένες. Παρόλο τις διαφοροποιήσεις από περιοχή σε περιοχή, στο θεοδόλιχο διατηρούνται κάποια στρώματα που είναι κοινά για όλα τα μέρη του οργάνου. Στο θεοδόλιχο, όμως δεν υπάρχουν μόνο αμαυρώσεις από προϊόντα οξειδωσης. Αντιθέτως, σε περιοχές, κυρίως εσωτερικές και εκεί όπου εφάπτονταν εξαρτήματα μεταξύ τους, έχουν αναπτυχθεί πράσινα προϊόντα οξειδω-σης. Αυτά, παρατηρούνται σε περιορισμένες περιοχές, συγκριτικά με τις αμαυρώσεις. Έχουν πιο ορυκτή μορφή με μεγαλύτερο όγκο, είναι επιφανειακά και συνήθως έχουν ρηγματώσει το βερνίκι και εισέρχονται και στο εσωτερικό του στρώματος του επικαλυπτικού. Γαλαζοπράσινα προϊόντα διάβρωσης παρατηρούνται σε ορισμένα σημεία του θεοδόλιχου, συνήθως βρίσκο-νται στα εσωτερικά στελέχη του οργάνου. Κανένα προϊόν διάβρωσης δεν αναπτύσσεται πλή-ρως μεμονωμένο στα συγκεκριμένα αντικείμενα, αλλά συνυπάρχει με άλλα οξειδία σε συσ-σωματώματα. Οι γαλαζοπράσινες διαβρώσεις εκδηλώνονται κυρίως πάνω από τις αμαυρώ-σεις και το βερνίκι. Τέλος, στο θεοδόλιχο υπάρχουν και οξειδία του σιδήρου. Οι οξειδώσεις του σιδήρου καστανό-πορτοκαλί χρώματος επικαλύπτουν τα σιδερένια εξαρτήματα (π.χ. σώμα κοχλιών, βίδες, ελάσματα) και έχουν επεκταθεί στις γειτνιάζουσες ορειχάλκινες περιο-χές που τα περιβάλλουν. Και αυτά παρουσιάζουν μια πιο ορυκτή μορφή, αλλά παραμένουν λεπτά και εκδηλώνονται πάνω από το βερνίκι, καθώς τα σιδερένια τμήματα δεν είχαν επικα-λυφθεί. Μόνο σε μία περίπτωση, κάτω από την σωληνωτή αεροστάθμη στο σώμα του

τηλεσκοπίου εντοπίστηκαν παχιά καστανά ορυκτά οξειδία σιδήρου πάνω από τις πράσινες διαβρώσεις. Έτσι, προκύπτει η δεύτερη πιο σύνθετη στρωματογραφία του θεοδόλιχου.



Σχέδιο 10 Η στρωματογραφία των διαβρώσεων του Θεοδόλιχου με τα πράσινα προϊόντα που είναι κυρίως επιφανειακά.



Σχέδιο 11 Στρωματογραφία διαβρώσεων Θεοδόλιχου, με τις πράσινες διαβρώσεις και τα οξειδία του σιδήρου όπως προέρχονται από τη βίδα.

### 5.3.2. Μαύρος χωροβάτης:



Η επιφάνεια του **μαύρου χωροβάτη** είναι καλυμμένη με επιφανειακές επικαθίσεις, οι οποίες αποτυπώνονται στις παραπάνω φωτογραφίες με πράσινο χρώμα. Οι επικαθίσεις αυτές είναι κυρίως σκόνη και ρύποι και οφείλονται στο ότι το τοπογραφικό αυτό όργανο από όταν σταμάτησε να χρησιμοποιείται στο πεδίο τοποθετήθηκε σε εσωτερικό χώρο ως διακοσμητικό αντικείμενο. Συγκεκριμένα, στο κτήριο του Γερμανικού Αρχαιολογικού Ινστιτούτου, στην οδό Φειδίου, στο κέντρο της Αθήνας.



Με κόκκινο χρώμα αποτυπώνεται στους παραπάνω χάρτες η αμαύρωση του χαλκού. Η αμαύρωση είναι η φυσική οξείδωση του μετάλλου που επέρχεται με τα χρόνια λόγω της ατμοσφαιρικής διάβρωσης και λειτουργεί σαν προστατευτικό στρώμα.



Με πορτοκαλί χρώμα παρουσιάζονται τα σιδερένια τμήματα του μαύρου χωροβάτη, τα οποία είναι οξειδωμένα. Η οξείδωση έχει προκύψει από την ατμοσφαιρική διάβρωση του μετάλλου και έχει ένα κόκκινο-καφέ χρώμα.



Με μπλε χρώμα, στους δύο παραπάνω χάρτες, επισημαίνεται η σκουρόχρωμη βαφή που υπάρχει στο αντικείμενο. Ο μαύρος χωροβάτης στο κεντρικό τμήμα του καλύπτεται από σκουρόχρωμη βαφή, η οποία έχει διαβρωθεί λόγω της χρήσης του και της ατμοσφαιρικής διάβρωσης με το πέρασμα των χρόνων.

### 5.3.3. Μικρός χωροβάτης:



Όλη η επιφάνεια του **μικρού χωροβάτη** είναι καλυμμένη με επιφανειακές επικαθίσεις, οι οποίες αποτυπώνονται στις παραπάνω φωτογραφίες με πράσινο χρώμα. Οι επικαθίσεις αυτές είναι κυρίως σκόνη και ρύποι και οφείλονται στο ότι το τοπογραφικό αυτό όργανο, από όταν σταμάτησε να χρησιμοποιείται στο πεδίο, τοποθετήθηκε σε εσωτερικό χώρο ως διακοσμητικό αντικείμενο. Συγκεκριμένα, στο κτήριο του Γερμανικού Αρχαιολογικού Ινστιτούτου, στην οδό Φειδίου, στο κέντρο της Αθήνας. Παρόλο που διαθέτει ξύλινη θήκη για την μεταφορά και την αποθήκευσή του, φαίνεται πως αυτή παρέμενε ανοιχτή, ώστε η επαφή με το αντικείμενο να είναι άμεση.



Με κόκκινο χρώμα στον παραπάνω χάρτη φαίνονται τα σημεία που ο ορείχαλκος έχει αμαυρωθεί. Η αμαύρωση είναι η φυσική οξείδωση του μετάλλου που επέρχεται λόγω της ατμοσφαιρικής διάβρωσης με το πέρασμα του χρόνου.



Με πορτοκαλί χρώμα, στον συγκεκριμένο χάρτη, παρουσιάζονται τα σιδερένια τμήματα του μικρού χωροβάτη, το οποία είναι οξειδωμένα. Η οξείδωση έχει προκύψει από την ατμοσφαιρική διάβρωση του μετάλλου και έχει ένα κόκκινο-καφέ χρώμα.



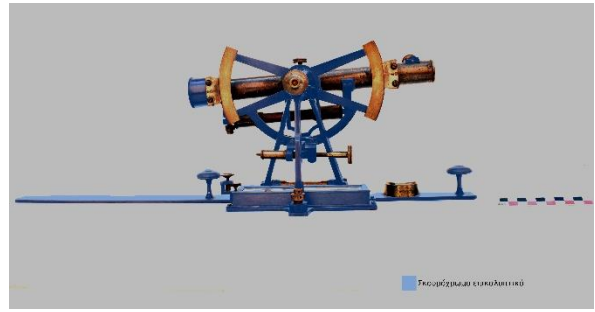
Με μπλε χρώμα στους δύο παραπάνω χάρτες επισημαίνεται η σκουρόχρωμη βαφή που υπάρχει στο αντικείμενο. Ο μικρός χωροβάτης στο κεντρικό τμήμα το, καλύπτεται από σκουρόχρωμη βαφή, η οποία έχει διαβρωθεί λόγω της χρήσης του και της ατμοσφαιρικής διάβρωσης, με το πέρασμα των χρόνων.

#### 5.3.4. Διόπτρα μετροτράπεζας:



Η επιφάνεια της **διόπτρας μετροτράπεζας** είναι καλυμμένη με επιφανειακές επικαθίσεις, οι οποίες αποτυπώνονται στις παραπάνω φωτογραφίες με πράσινο χρώμα. Οι επικαθίσεις αυτές είναι κυρίως σκόνη και ρύποι και οφείλονται στο ότι το τοπογραφικό αυτό όργανο, από όταν σταμάτησε να χρησιμοποιείται στο πεδίο, τοποθετήθηκε σε εσωτερικό χώρο ως διακοσμητικό αντικείμενο. Συγκεκριμένα, στο κτήριο του Γερμανικού Αρχαιολογικού Ινστιτούτου, στην οδό Φειδίου, στο κέντρο της Αθήνας.

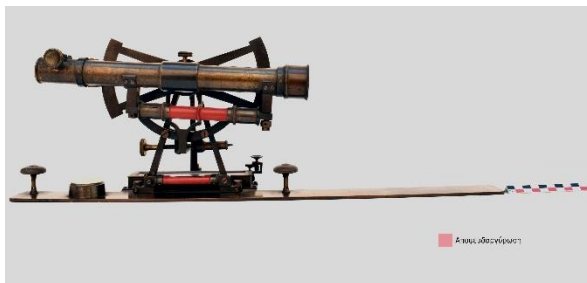




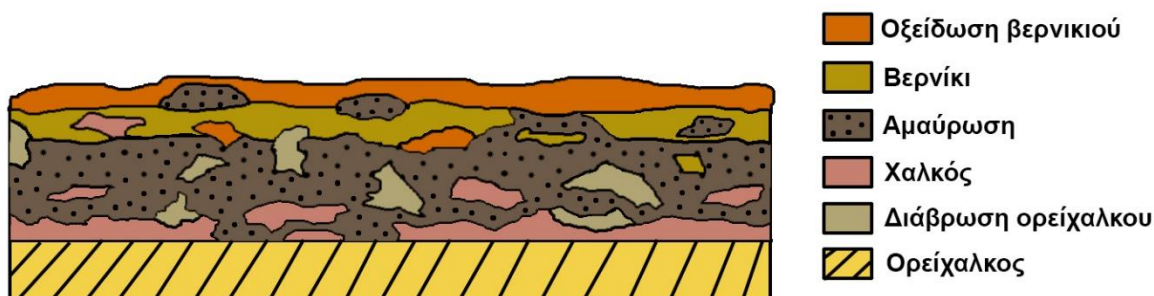
Με μπλε χρώμα, στους παραπάνω χάρτες, αστυπώνεται το σκουρόχρωμο επικαλυπτικό που υπάρχει στο αντικείμενο. Στο κεντρικό τμήμα της η διόπτρα μετροτάβερζας καλύπτεται από σκουρόχρωμη βαφή, η οποία έχει διαβρωθεί λόγω της χρήσης της και της ατμοσφαιρικής διάβρωσης με το πέρασμα των χρόνων.



Στους παραπάνω δύο χάρτες, με πορτοκαλί χρώμα, παρουσιάζεται η αμαύρωση του ορείχαλκου. Στα συγκεκριμένα σημεία, το αρχικό χρώμα του μετάλλου έχει οξειδωθεί από την φυσική οξείδωση του χαλκού που λειτουργεί σαν προστατευτικό στρώμα, ως αποτέλεσμα της χρήσης και της δράσης του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος.



Με κόκκινο χρώμα, παρουσιάζεται στους συγκεκριμένους χάρτες, η αποψευδαργύρωση του ορείχαλκου.



Εικόνα 12 Στρωματογραφία παθολογίας της Διόπτρας μετροτράπεζας.

Μια βασική διαφοροποίηση που παρουσιάζει η παθολογία της διόπτρας μετροτράπεζας σε σχέση με τα υπόλοιπα όργανα είναι πως έχει οξειδωθεί κυρίως το βερνίκι και όχι τόσο ο ορείχαλκος. Διάβρωση του ορείχαλκου υπάρχει κυρίως επιφανειακά μαζί με αμαυρωμένες περιοχές κάτω από το βερνίκι. Άνωθεν των στρωμάτων διάβρωσης υπάρχει το βερνίκι, το οποίο σε περιοχές όπως το τηλεσκόπιο της διόπτρας έχει οξειδωθεί σε όλη την έκτασή του. Περιοχές που ήταν εκτεθειμένες στην ατμόσφαιρα έχουν οξειδωθεί και το βερνίκι έχει αποκτήσει μια σκουρόχρωμη κα-



Εικόνα 118 Η περιοχή του καθαρού βερνικιού που καλυπτόταν από εξάρτημα σε σχέση με τη διαβρωμένη ακάλυπτη περιοχή. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).




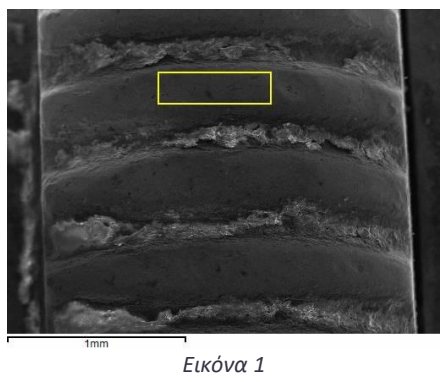

Εικόνα 119 Η οπίσθια όψη του τηλεσκοπίου με τα στίγματα διάβρωσης. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

στανό-μαύρη όψη. Γενικά, στην εμπρόσθια όψη του τηλεσκοπίου φαινόταν η διάβρωση της γομαλάκας ως μια ομοιόμορφη πατίνα, όμως έγινε εμφανής ότι αποτελεί διάβρωση όταν αποκαλύφθηκε η οπίσθια όψη του. Επιπλέον, αφού αφαιρέθηκαν οι βραχίονες ένωσης του τηλεσκοπίου με τη σωληνωτή αεροστάθμη εμφανίστηκε στην καλυμμένη περιοχή το υγιές βερνίκι, το οποίο δηλώνει την αρχική όψη του επικαλυπτικού. Όσες περιοχές παρέμειναν καλυμμένες από τα εξαρτήματα δεν οξειδώθηκαν, ενώ οι υπόλοιπες διαβρώθηκαν και απέκτησαν τη σκουρόχρωμη όψη. Στην οπίσθια όψη διαπιστώθηκε επιπλέον η ύπαρξη

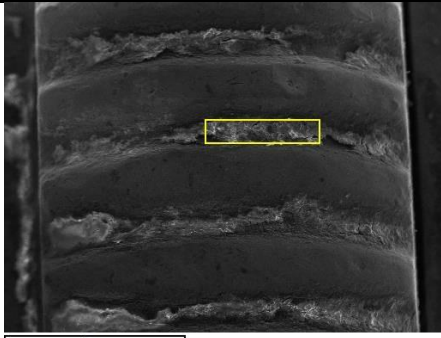



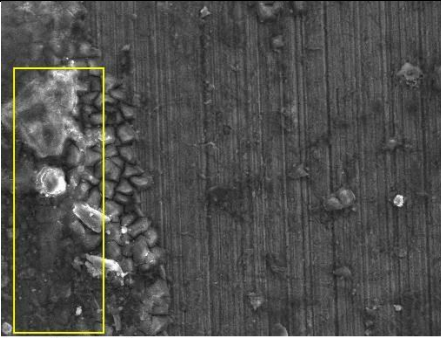
στιγμάτων και κηλίδων οξειδώσεων, δημιουργώντας μια ανομοιόμορφη διαβρωμένη επιφάνεια.

#### 5.4. Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης με φασματοφωτόμετρο ενεργειακής διασποράς ακτίνων- X (SEM-EDAX):

##### TH1 (Θεοδόλιχος/Προσοφθάλμιος)

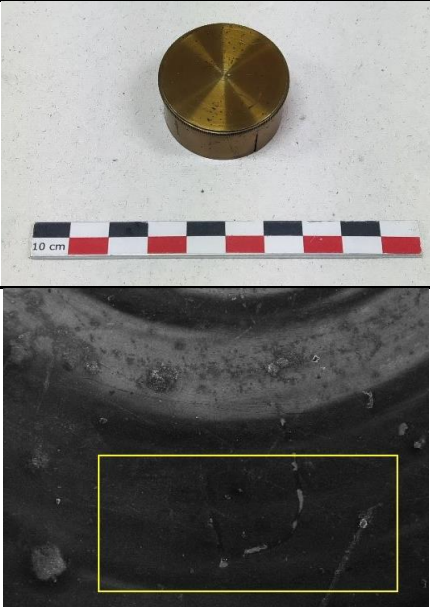
Δείγμα	Φωτογραφίες	Στοιχειακή Ανάλυση <sup>18</sup>	Παρατηρήσεις
TH1.1	 	<p><u>Cu</u>, <u>C</u>, <u>Zn</u>, <u>O</u>, (Cl), (Fe), (Ni), (S)**</p>	<p>Η ανάλυση, έγινε σε περιοχή «καθαρού» μετάλλου. Λόγω των στοιχείων που εμφανίστηκαν, συμπεραίνεται πως προέκυψαν από τον ιδρώτα του δέρματος των δαχτύλων κατά την χρήση.</p>
TH1.2		<p><u>O</u>, <u>C</u>, Ca, Cu, Si, Zn, Cl, Al, Na, (S), (Fe), (K), (Mg), (Ba)</p>	<p>Η ανάλυση, έγινε σε περιοχή με επικαθίσεις και λόγω του μεγάλου ποσοστού</p>

<sup>18</sup> Χημικά στοιχεία ταξινομούνται ποιοτικά ως μείζονα, δευτερεύοντα ή (ίχνος). Οι κατηγορίες βασίζονται σε κανονικοποιημένα ποσοστά βάρους που υπολογίζονται από το λογισμικό μικροανάλυσης ακτίνων X της Oxford Aztec. Τα υπογραμμισμένα στοιχεία είναι της τάξης άνω των 10%, τα μη υπογραμμισμένα της τάξης κάτω των 10% και σε παρένθεση τα στοιχεία κάτω του 1%.

	 <p>1mm</p> <p>Εικόνα 2</p>		<p>άνθρακα συμπεραίνεται πως πρόκειται για επικάλυψη με βερνίκι.</p>
TH1.3	 <p>10 cm</p>  <p>200µm</p> <p>Εικόνα 3</p>	<p><u>C</u>, <u>Cu</u>, <u>O</u>, <u>Zn</u>, Na, Cl, (S), (Ca), (Si), (K), (Fe)</p>	<p>Η ανάλυση έγινε σε καθαρή περιοχή του σώματος του αντικειμένου. Από την παρουσία θείου και χλωρίου, συμπεραίνεται η αμαύρωση του ορείχαλκου.</p>
TH1.4	 <p>10 cm</p>  <p>100µm</p> <p>Εικόνα 4</p>	<p><u>C</u>, <u>O</u>, Cu, Zn, Ca, Cl, Na, S, (Si), (K), (Al), (Fe), (Mg)</p>	<p>Η ανάλυση έγινε στο σώμα του αντικειμένου, σε περιοχή με επικαθίσεις. Το χλώριο και το θείο οφείλονται στους ρύπους, ενώ το Si και το Al προέρχονται από το περιβάλλον</p>


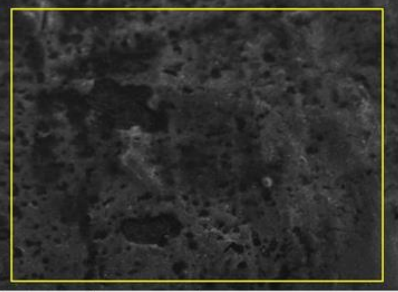
--	--	--	--

TH2(Θεοδόλιχος/Κάλυπτρο)


Δείγμα	Φωτογραφίες	Στοιχειακή Ανάλυση <sup>19</sup>	Παρατηρήσεις
TH2.2	 <p>10 cm</p> <p>1mm</p> <p>Εικόνα 5</p>		Δεν μπορούσε να γίνει ανάλυση λόγω της ύπαρξης βερνικιού.

<sup>19</sup> Χημικά στοιχεία ταξινομούνται ποιοτικά ως μείζονα, δευτερεύοντα ή (ίχνος). Οι κατηγορίες βασίζονται σε κανονικοποιημένα ποσοστά βάρους που υπολογίζονται από το λογισμικό μικροανάλυσης ακτίνων Χ της Oxford Aztec. Τα υπογραμμισμένα στοιχεία είναι της τάξης άνω των 10%, τα μη υπογραμμισμένα της τάξης κάτω των 10% και σε παρένθεση τα στοιχεία κάτω του 1%.

LS1(Μικρός χωροβάτης)

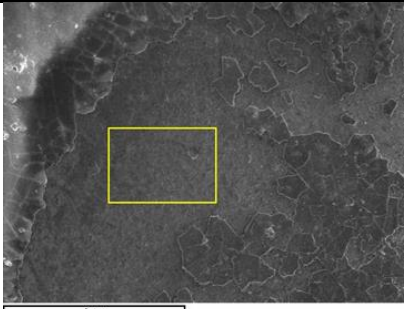
Δείγμα	Φωτογραφίες	Στοιχειακή Ανάλυση <sup>20</sup>	Παρατηρήσεις
LS1.1	  Εικόνα 6	<u>C, O,</u> (Zn),(Na), (Cu), (Ca), (Cl), (C), (K), (Al), (Fe), (S)	Η ανάλυση έγινε στην σκουρόχρωμη περιοχή. Το θείο, το χλώριο και το ασβέστιο, είναι οι παράγοντες που έχουν προκαλέσει την αμαύρωση του ορείχαλκου.

LB1(Μαύρος χωροβάτης)


Δείγμα	Φωτογραφίες	Στοιχειακή Ανάλυση <sup>21</sup>	Παρατηρήσεις
LB1.1		<u>O, C, Cu, Zn,</u> Cl, S, Ca, (Si), (Fe), (Cu), (Al), (Mg)	Η ανάλυση έγινε στην μαυρισμένη περιοχή. Το θείο, το χλώριο και το ασβέστιο, είναι οι παράγοντες που

<sup>20</sup> Χημικά στοιχεία ταξινομούνται ποιοτικά ως μείζονα, δευτερεύοντα ή (ίχνος). Οι κατηγορίες βασίζονται σε κανονικοποιημένα ποσοστά βάρους που υπολογίζονται από το λογισμικό μικροανάλυσης ακτίνων Χ της Oxford Aztec. Τα υπογραμμισμένα στοιχεία είναι της τάξης άνω των 10%, τα μη υπογραμμισμένα της τάξης κάτω των 10% και σε παρένθεση τα στοιχεία κάτω του 1%.

<sup>21</sup> Χημικά στοιχεία ταξινομούνται ποιοτικά ως μείζονα, δευτερεύοντα ή (ίχνος). Οι κατηγορίες βασίζονται σε κανονικοποιημένα ποσοστά βάρους που υπολογίζονται από το λογισμικό μικροανάλυσης ακτίνων Χ της Oxford Aztec. Τα υπογραμμισμένα στοιχεία είναι της τάξης άνω των 10%, τα μη υπογραμμισμένα της τάξης κάτω των 10% και σε παρένθεση τα στοιχεία κάτω του 1%.


	 <p style="text-align: center;">Εικόνα 7</p>	<p>έχουν προκαλέσει την αμαύρωση του ορείχαλκου. Από την φωτογραφία της ανάλυσης παρατηρείται το απολεπισμένο επικαλυπτικό βερνίκι.</p>
--	---	---

### AL1 (Alidade/Κάλυπτρο)

Δείγμα	Φωτογραφίες	Στοιχειακή Ανάλυση <sup>22</sup>	Παρατηρήσεις
AL1.1	 <p style="text-align: center;">Εικόνα 8</p>	<p><u>O</u>, <u>C</u>, <u>Cu</u>, <u>Zn</u>, Cl, S, (Si), (Ca), (Al), (Mg), (K), (Fe)</p>	<p>Η ανάλυση έγινε στην μαυρισμένη επιφάνεια. Το θείο και το χλώριο, είναι οι παράγοντες που έχουν προκαλέσει την αμαύρωση του ορείχαλκου και λόγω των υψηλών ποσοστών τους συμπεραίνεται πως έχει οξειδωθεί πολύ το μέταλλο.</p>

<sup>22</sup> Χημικά στοιχεία ταξινομούνται ποιοτικά ως μείζονα, δευτερεύοντα ή (ίχνος). Οι κατηγορίες βασίζονται σε κανονικοποιημένα ποσοστά βάρους που υπολογίζονται από το λογισμικό μικροανάλυσης ακτίνων X της Oxford Aztec. Τα υπογραμμισμένα στοιχεία είναι της τάξης άνω των 10%, τα μη υπογραμμισμένα της τάξης κάτω των 10% και σε παρένθεση τα στοιχεία κάτω του 1%.

AL2(Alidade/Κοχλίας)

Δείγμα	Φωτογραφίες	Στοιχειακή Ανάλυση <sup>23</sup>	Παρατηρήσεις
AL2.1	 <p>Εικόνα 9</p>	<p><u>O</u>, <u>C</u>, <u>Cu</u>, Zn, Sn, Cl, Ca, Si, (S), (Fe), (Al), (Mg)</p>	<p>Η ανάλυση έγινε σε περιοχή με επικαθίσεις. Το θείο και το χλώριο, είναι οι παράγοντες που έχουν προκαλέσει την αμαύρωση του ορείχαλκου</p>

Συμπερασματικά, από την ποιοτική και ποσοτική αποτίμηση των χημικών στοιχείων που βρέθηκαν, γίνεται εμφανής η οξείδωση του χαλκού λόγω του χαμηλού ποσοστού του. Από την φωτογραφία της ανάλυσης του βερνικιού παρατηρήθηκε πως έχει απολεπιστεί και συνεπώς έχει χάσει την προστατευτική του ιδιότητα. Το χλώριο προήλθε από τον ιδρώτα των δαχτύλων κατά την χρήση, ενώ μαζί με το θείο από το ατμοσφαιρικό περιβάλλον προκάλεσαν την οξείδωση και την αμαύρωση του ορείχαλκου.

<sup>23</sup> Χημικά στοιχεία ταξινομούνται ποιοτικά ως μείζονα, δευτερεύοντα ή (ίχνος). Οι κατηγορίες βασίζονται σε κανονικοποιημένα ποσοστά βάρους που υπολογίζονται από το λογισμικό μικροανάλυσης ακτίνων Χ της Oxford Aztec. Τα υπογραμμισμένα στοιχεία είναι της τάξης άνω των 10%, τα μη υπογραμμισμένα της τάξης κάτω των 10% και σε παρένθεση τα στοιχεία κάτω του 1%.



## 6. Μεθοδολογία επεμβάσεων

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται ο σχεδιασμός της μεθοδολογία των επεμβάσεων συντήρησης και προστασίας. Αφού αποφασίστηκε η επιφάνεια διατήρησης, πραγματοποιήθηκαν δοκιμές καθαρισμού για την αφαίρεση των ρύπων και του βερνικιού με διάφορα χημικά και μηχανικά μέσα. Έγινε αξιολόγηση και σύγκριση των αποτελεσμάτων, ώστε να επιλεγεί μετέπειτα η κατάλληλη μέθοδος προσέγγισης.

### 6.1. Επιλογή επιφάνεια διατήρησης:

Αξιοσημείωτο είναι πως όσον αφορά τη συντήρηση ιστορικών επιστημονικών οργάνων απουσιάζει η ύπαρξη πρωτοκόλλων διαχείρισης, οδηγιών και επαρκούς βιβλιογραφίας για τον τρόπο χειρισμό τους. Παλαιότερα σε τέτοια όργανα εφαρμοζόταν η άποψη διατήρησης της λειτουργικότητάς τους, όμως αυτό αναιρούσε την ιστορικότητα των αντικειμένων και έθετε την προϋπόθεση της συχνής αντικατάστασης εξαρτημάτων και υλικών. Επιπλέον, η συνέχιση της λειτουργίας τους προκαλούσε εκ νέου φθορές και παραμορφώσεις. Τέλος όταν τα όργανα παραμένουν λειτουργικά, χρειάζονται εξειδικευμένο προσωπικό με την κατάλληλη τεχνογνωσία για να ελέγχουν και να διατηρούν λειτουργικούς τους μηχανισμούς των οργάνων. Αυτό επεκτείνεται από το πλαίσιο των ενεργειών που μπορεί να προσφέρει ένας φορέας και είναι ένας κοστοβόρος παράγοντας (Lemos and Tissot 2020). Οι δυσκολίες που προκύπτουν από τη λειτουργία των οργάνων αποτέλεσαν σημαντικό παράγοντα, ώστε να επιλεγεί η διατήρησή τους ως στατικά εκθεσιακά αντικείμενα. Γενικά, σε μουσειακές συλλογές παρόμοιων αντικειμένων ακολουθείται η ίδια στρατηγική. Μάλιστα σε ορισμένες περιπτώσεις είναι απαγορευτική η επαναφορά της χρησιμότητας των αντικειμένων, για αυτό το λόγο διατηρούνται ως ιστορικά εκθεσιακά αντικείμενα (Kuhn 1989). Παρόλο που και αυτή η μέθοδος έχει διάφορα μειονεκτήματα, τα προτερήματα είναι αρκετά περισσότερα και εξασφαλίζουν την πιο ασφαλή συντήρηση της συλλογής.

Διατήρηση αντικειμένων σε στατική θέση.	
Προτερήματα	Μειονεκτήματα
Διατήρηση των αρχικών εξαρτημάτων	Πρόκληση φθορών από την απουσία κίνησης και την επιβάρυνση μερών σε μία θέση.
Διατήρηση αρχικής ιστορικής όψης	Απουσία λειτουργικότητας
Απουσία πρόκλησης φθορών από τη χρήση	
Οικονομική μέθοδος	

Από την στιγμή που έχει διαβρωθεί ένα αντικείμενο και έχουν προκληθεί φθορές, με καμία μέθοδο συντήρησης δεν μπορεί να επιστρέψει στην αρχική του κατάσταση και στην αρχική του όψη (Kuhn 1989). Από τη στιγμή που το βερνίκι οξειδώθηκε και το μέταλλο έχει διαβρωθεί δεν μπορεί να υπάρξει πλήρης επαναφορά στην αρχική καθαρή όψη. Για να αποδοθεί μια πιο καθαρή και στιλπνή όψη, είναι αδύνατη η διατήρηση και των δύο υλικών. Για να αφαιρεθούν οι αμαυρώσεις και οξειδώσεις, πρέπει πρώτα να απομακρυνθεί το βερνίκι, καθώς οι διαβρώσεις βρίσκονται κυρίως κάτω ή ενδιάμεσα από το στρώμα του βερνικιού. Επιπλέον, το βερνίκι δεν μπορεί να διατηρηθεί καθαρό καθώς έχει οξειδωθεί και προϊόντα διάβρωσης

του ορείχαλκου και του σιδήρου μεταφέρονται στην επιφάνεια και στο εσωτερικό του, αλλοιώνοντας το.

Όλα τα υλικά του αντικειμένου αποτελούν κομμάτι της ιστορίας του και στοιχεία της χρήσης και λειτουργίας του. Η παραμονή αυτών των υλικών εξασφαλίζει τη διατήρηση της ιστορικότητας και της αυθεντικότητας του αντικειμένου (Kuhh 1989; Newey 2000). Όμως παρόλο αυτά, ενώ λαμβάνεται υπόψιν η εξασφάλιση της αυθεντικότητας, γίνεται αντιληπτό πως σε ορισμένες περιπτώσεις είναι αναγκαία να παραβιαστεί σε ένα βαθμό η αυθεντικότητα, ώστε να εξασφαλιστεί η συντήρηση και η διατήρηση του αντικειμένου (Newey 2000).

Διακοσμητικά στοιχεία και ίχνη της τεχνολογίας αποκρύπτονται από τα προϊόντα διάβρωσης, όποτε σε ορισμένες περιπτώσεις πρέπει να γίνει καθαρισμός της επιφάνειας (Keene 2000). Λεπτομέρειες, όπως τα ίχνη τόνευσης, επιγραφές, σημάδια αρίθμησης βιδών, όλα αυτά τα στοιχεία ήταν δυσδιάκριτα κάτω από τις αμαυρώσεις και το οξειδωμένο επικαλυπτικό.

Η αποσυναρμολόγηση ενός αντικειμένου πρέπει να υλοποιείται στη περίπτωση που έχει προηγηθεί καταγραφή και τεκμηρίωση των εξαρτημάτων του οργάνου. Επιπλέον, πρέπει να έχουν μελετηθεί όλοι οι σύνδεσμοι και οι ενώσεις και η ακριβής θέση του καθενός, καθώς ιδιαίτερα στα ιστορικά επιστημονικά όργανα κάθε κοχλίας και βίδα είχε συγκεκριμένο μέγεθος και προοριζόταν για συγκεκριμένη οπή, με αποτέλεσμα το όργανο να μην επανασυναρμολογηθεί σωστά και να προκληθούν εκδορές (Keene 2000).

## 6.2. Επιλογή μέσων καθαρισμού

Κατά την διάρκεια των επεμβάσεων καθαρισμού, η διαδικασία αφαίρεσης ρύπων, προϊόντων διάβρωσης, οξειδωμένων βερνικιών και επικαλυπτικών, χρωμάτων κ.ά., δεν πρέπει να επιδρά στο υπόστρωμα. Η αρχική επιφάνεια των αντικειμένων προς συντήρηση καθίσταται απαραίτητο να διατηρείται και να μην προξενούνται επιπλέον εκδορές κατά τον καθαρισμό (Stulik *et al.* 2004). Η ύπαρξη αρκετά λεπτών στρωμάτων διάβρωσης, η καλή διατήρηση της αρχικής επιφάνειας των αντικειμένων και η ευαισθησία του ορείχαλκου σε δραστικούς καθαρισμούς κατέστησαν αναγκαία την επιλογή ήπιων και ελεγχόμενων μέσων καθαρισμού. Αρχικά, απορρίφθηκε ο μηχανικός καθαρισμός με εργαλεία, για την αποφυγή πρόκλησης εκδορών, εξαιτίας των λεπτών στρωμάτων διάβρωσης που είχαν σχηματισθεί στην επιφάνεια του μετάλλου. Ο καταλληλότερος τρόπος καθαρισμού για την αφαίρεση ρύπων, αμαύρωσης και οξειδώσεων των μετάλλων στη συγκεκριμένη ιστορική συλλογή είναι ο χημικός καθαρισμός. Όμως, στο χημικό καθαρισμό παρατηρείται συχνά η διάχυση των υγρών διαλυτών και η διάβρωση των επιφανειών με αυτούς. Για αυτό το λόγο η επιλογή κατάλληλων υλικών και μεθόδων για τον περιορισμό της διάχυσης και τον έλεγχο του χημικού καθαρισμού είναι απαραίτητη. Οι γέλες επιλέχθηκαν ως το βέλτιστο μέσο ενός ιδιαίτερα αποτελεσματικού και ελεγχόμενου καθαρισμού.

Οι γέλες είναι χημικές ενώσεις βασισμένες στο νερό και γίνονται πιο παχύρρευστες με τη πρόσθεση πολυμερούς ή άλλων υλικών υψηλού μοριακού βάρους. Αποτελούν ένα μέσο μεταφοράς και διάχυσης των στοιχείων καθαρισμού επάνω στην επιθυμητή επιφάνεια (Stulik *et al.* 2004). Πρόκειται ουσιαστικά για διφασικά συστήματα που αποτελούνται τουλάχιστον από δύο φάσεις, μια πολυμερή και μια υγρή φάση. Τα πολυμερή αποδίδουν την παχύρρευστη υφή στις γέλες και δημιουργούν ένα τρισδιάστατο σύστημα στο εσωτερικό του υγρού μέσου. Αυτό

το σύστημα διατηρεί την υγρή φάση στο εσωτερικό, περιορίζοντας κατά αυτόν τον τρόπο την εξάτμιση και διαρροή του, καθώς το υγρό διατηρείται 'εγκλωβισμένο', χάριν σε αντιδράσεις που εκδηλώνονται μεταξύ των αλυσίδων των πολυμερών. Ο διαφορετικός σχηματισμός ενώσεων καταλήγει στη δημιουργία γελών με διαφορετικές ιδιότητες, αναλόγως των ενώσεων που περιέχουν. Πυκνωτικά μέσα (thickeners) επιλέγονται με βάση τις ιδιότητες που προσφέρουν την εκάστοτε φορά, όπως την ευκολία ανάμιξης, την ικανότητα διατήρησης του διαλύματος επάνω στη επιφάνεια του αντικειμένου, το βαθμό ελέγχου της δραστηριότητας του καθαρισμού και την ευκολία αφαίρεσης από την επιφάνεια. Στους πυκνωτές συμπεριλαμβάνονται κυτταρινικοί αιθέρες, προλυακρυλικά οξέα (carborsols) κ.α.. Το δεύτερο μέρος των γελών, η υγρή φάση, κατηγοριοποιείται ανάλογα τη σύσταση του υγρού μέσου. Δηλαδή, η παρουσία νερού σε αυτές τις κατατάσσει ως «υδρογέλες» (hydrogels). Σε αντίθεση όταν δεν αποτελείται το μείγμα από νερό, αλλά από οργανικούς υγρούς διαλύτες, τότε ονομάζονται «οργανικές γέλες» (organogels) ή «γέλες με διαλύτες» (solvent-gels) [(Canevali *et al.* 2016), (Giraud *et al.* 2021), (Stulik *et al.* 2004)]. Τέλος, στα μείγματα γελών μπορούν να τοποθετηθούν και πρόσθετα. Χρησιμοποιούνται τασιενεργά για να βελτιωθεί η επαφή της γέλης με την επιφάνεια και να αφαιρεθούν οι ρύποι μέσω του σχηματισμού μικκυλίων. Επιπλέον, τοποθετούνται επιφανειακές δραστικές ουσίες για τη μείωση της επιφανειακής τάσης και για να αλληλοεπιδράσουν με πηκτωματοποιητές, ώστε να σχηματιστούν γέλες. Ο συνδυασμός υγρών και στερεών φάσεων προσφέρει διάφορες ιδιότητες στα μείγματα. Γενικά, οι γέλες έχουν μια βασική ιδιότητα, όπου οι δυνάμεις συμβίωσης των στοιχείων είναι ισχυρότερες από τις συγκολλητικές δυνάμεις μεταξύ του gel και της επιφάνειας προς συντήρηση. Το συγκεκριμένο αποτελεί βασικό προτέρημα των γελών και τις καθιστά ιδιαίτερα επιθυμητά μέσα καθαρισμού, καθώς είναι εύκολη η αφαίρεση τους, χωρίς να απομείνουν υπολείμματα (Passaretti *et al.* 2021; Stulik *et al.* 2004).

### 6.3. Δοκιμές καθαρισμού ρύπων, προϊόντων διάβρωσης και αφαίρεσης βερνικιού

Πριν εφαρμοστεί οποιοδήποτε υλικό καθαρισμού πρέπει να πραγματοποιηθούν δοκιμές αφαίρεσης των μη επιθυμητών στοιχείων, ώστε να βρεθεί η καλύτερη μέθοδος και υλικό. Χωρίς τις δοκιμές παραμένει άγνωστη η αντοχή των βερνικιών και των προϊόντων διάβρωσης στα συγκεκριμένα αντικείμενα. Επιπλέον, η μη εφαρμογή κατάλληλου υλικού καθαρισμού συνεπάγεται την αδυναμία καθαρισμού, αλλά και χειρότερα την πρόκληση φθορών σε προσπάθεια καθαρισμού με ακατάλληλα μέσα. Τα μέσα και τα χημικά που δοκιμάστηκαν είχαν ως μεθοδολογία πρώτα να ελεγχθούν οι ηπιότερες μέθοδοι καθαρισμού και να ενισχύονται όσο παρατηρείται δυσκολία αφαίρεσης των διαβρωμένων περιοχών.

#### Εφαρμογή στο κάλυπτρο Διόπτρας μετροτράπεζας:

Στη κεφαλή του καλύπτρου εφαρμόστηκαν 5 αρχικές δοκιμές καθαρισμού με διαλύτη και μια επιπλέον αργότερα στα πλάγια τοιχώματα του καλύπτρου, με φορέα βαμβακοφόρο στυλεό. Οπότε συνολικά εφαρμόστηκαν 6 δοκιμές.



Εικόνα 120 Το κάλυπτρο της διόπτρας, πριν τις δοκιμές.



Εικόνα 121 Το κάλυπτρο της διόπτρας, μετά τις δοκιμές.

Διαλύτης	Αποτελεσματικότητα	Υπολείμματα στη βαμβακοφόρο στυλεό
1. Αιθανόλη	Μέτρια	Γκριζοπράσινα υπολείμματα
2. Ακετόνη	Μέτρια	Ανοιχτό κιτρινοπράσινο
3. Απιονισμένο νερό	Μικρή	Χωρίς υπόλειμα
4. Απιονισμένο νερό + αιθανόλη, 1:1	Ικανοποιητικό για ρύπους	Γκριζοκιτρινωπά υπολείμματα
5. Απιονισμένο νερό + ακετόνη, 1:1	Αρκετά ικανοποιητική	Γκρίζα υπολείμματα
6. Απιονισμένο νερό + ακετόνη + αιθανόλη, 1:1:1	Μέτρια	Πράσινα υπολείμματα

Παρόλες, τις διαφοροποιήσεις στις επιφάνειες μετά τις επιλεγμένες δοκιμές καθαρισμού, η μεταλλική επιφάνεια του αντικειμένου διατηρούσε παρόμοια κατάσταση με την αρχική. Οπότε οι δοκιμές στο κάλυπτρο ήταν ικανοποιητικές για την αφαίρεση κυρίως ρύπων και όχι για την αφαίρεση των επικαλυπτικών.

#### Δοκιμές αφαίρεσης βερνικιού στο κάλυπτρο του Θεοδόλιχου

Εφαρμόστηκαν στη κυκλική κεφαλή του καλύπτρου του Θεοδόλιχου 6 δοκιμές με διαλύτες και βαμβακοφόρο στυλεό.

Διαλύτης	Αποτελεσματικό-τητα	Επιφάνεια μετάλλου
1. Αιθανόλη	Καλή	Ιριδισμός, ροζ επιφάνεια
2. Ακετόνη	Μέτρια	Ιριδισμός, ροζ επιφάνεια
3. Απιονισμένο νερό	Μικρή	Σταθερή
4. Απιονισμένο νερό + αιθανόλη, 1:1	Μικρή	Σταθερή
5. Απιονισμένο νερό + ακετόνη, 1:1	Καθόλου	Σταθερή
6. Απιονισμένο νερό + ακετόνη + αιθανόλη, 1:1:1	Αρκετά καλή	Σταθερή χωρίς βερνίκι



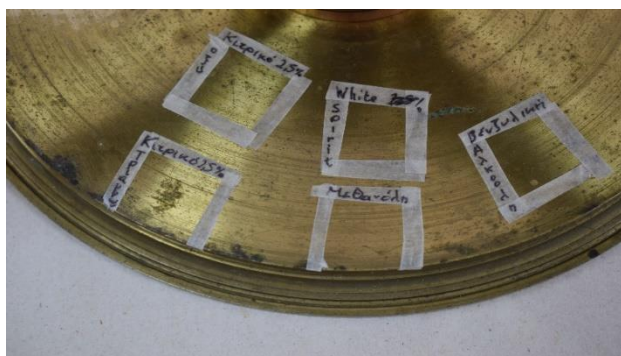
Εικόνα 122 Το κάλυπτρο του Θεοδόλιχου μετά τις δοκιμές. Είναι εμφανής οι ιριδισμοί στις δοκιμές 1 & 2 και παρατηρείται καθαρή και χωρίς ιριδισμό η δοκιμή 6. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

Το διάλυμα απιονισμένο νερό + ακετόνη + αιθανόλη 1:1:1 αφαιρεί πλήρως το βερνίκι, χωρίς να προκαλεί ιριδισμό στην επιφάνεια του μετάλλου. Δεν παραμένουν υπολείμματα, το επικαλυπτικό αφαιρείται, αλλά με δυσκολία. Χρησιμοποιείται έντονη μηχανική υποβοήθηση από τον συντηρητή με βαμβακοφόρο στυλεό για να είναι αποτελεσματικό το διάλυμα.

#### Δοκιμές αφαίρεσης βερνικιού- Αξιολόγηση

Σύμφωνα με τις προηγούμενες δοκιμές, παρατηρήθηκε πως ο διαλύτης απιονισμένο νερό + ακετόνη + αιθανόλη 1:1:1 είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός για την αφαίρεση ρύπων και βερνικιού από το κάλυπτρο του Θεοδόλιχου. Οπότε, αποφασίστηκε η εφαρμογή του συγκεκριμένου μίγματος διαλυτών σε όλο το αντικείμενο του Θεοδόλιχου. Όμως, μετά την εφαρμογή του διαλύματος σε όλα τα εξωτερικά μέρη και μετά από επίμονη προσπάθεια, το διάλυμα δεν είχε καμία αποτελεσματικότητα. Σε καμία επιφάνεια δεν παρατηρήθηκε η αφαίρεση βερνικιού, ούτε υπήρξαν υπολείμματα στους βαμβακοφόρους στυλεούς πέρα από ρύπους. Για αυτό το λόγο δοκιμάστηκαν για χημικό καθαρισμό ποικίλα χημικά αντιδραστήρια και διαλύτες. Συγκεκριμένα με βαμβακοφόρο στυλεό χρησιμοποιήθηκε white spirit, τολουόλιο και βενζυλική αλκόλη, τα οποία και αυτά με τη σειρά τους δεν είχαν ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Εν τέλει, αποφασίστηκε η χρήση ισχυρότερων χημικών και συγκεκριμένα διαλυτών και ήπιων οξέων για την αφαίρεση του βερνικιού. Κατά την εφαρμογή του αντιδραστηρίου προστέθηκε στον υγρό βαμβακοφόρο στυλεό ανθρακικό ασβέστιο ( $\text{CaCO}_3$ ) σε σκόνη για μηχανική υποβοήθηση. Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται επιγραμματικά τα χημικά αντιδραστήρια και οι διαλύτες που εφαρμόστηκαν. Οι δοκιμές έγιναν πιο εκτεταμένα σε διάφορα σημεία του αντικειμένου.



Εικόνα 123 Περιοχές δοκιμών κάτω από τον οριζόντιο κύκλο. Πριν τον καθαρισμό. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 124 Περιοχές δοκιμών κάτω από τον οριζόντιο κύκλο. Μετά τον καθαρισμό. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

Χημικό με CaCO <sub>3</sub>	Αποτελεσματικότητα
1. Κιτρικό οξύ 2,5 %	Μικρή
2. Κιτρικό τριαμμώνιο 2,5 %	Καλή
3. White spirit	Καθόλου
4. Μεθανόλη	Μέτρια
5. Βενζυλική αλκοόλη	Μέτρια

Τα αποτελέσματα των δοκιμών είχαν ελάχιστη αποτελεσματικότητα για την αφαίρεση του βερνικιού. Τα ανθρακικό ασβέστιο μαζί με διαλύτη, δημιουργούσε μια λευκή υγρή επικάλυψη, η οποία δεν αφαιρούσε καθόλου το επικαλύπτικο και στιγμάτιζε της γειτνιάζουσες περιοχές. Οπότε, για να είναι πιο δραστικοί οι καθαρισμοί κρίθηκε απαραίτητη η χρήση και μηχανικών μέσων για την υποβοήθηση των χημικών καθαρισμών. Σύμφωνα με τις παραπάνω δοκιμές, το πιο λειτουργικό χημικό ήταν το κιτρικό τριαμμώνιο 2,5%. Έτσι επιλέχθηκε αυτό με εμβάπτιση μικρής υαλόβουρτσας ή ορειχάλκινης μαλακής βούρτσας στο χημικό αντιδραστήριο και σκόνη ανθρακικού ασβεστίου. Η συγκεκριμένη μέθοδος, αποδείχθηκε ιδιαίτερα αποτελεσματική. Στην περιοχή του δείκτη όπου εφαρμόστηκε αφαιρέσε το βερνίκι και την αμαύρωση από την αργυρή πλάκα όχι όμως από τον ορείχαλκο.

#### Δοκιμές καθαρισμού με γέλη ξανθάνης

Από την στιγμή που επιλέχθηκε το κιτρικό τριαμμώνιο, ως ένα ικανοποιητικό χημικό για την αφαίρεση ή απλώς μείωση του στρώματος του βερνικιού, αποφασίστηκε η εφαρμογή χημικού καθαρισμού, ώστε να αφαιρεθεί το βερνίκι. Η εφαρμογή χημικών αντιδραστηρίων, επάνω σε μια επιφάνεια που είναι αρκετά λεπτή ως προς το επιθυμητό σημείο διατήρησης, είναι μια ιδιαίτερα δραστική επέμβαση και επιφέρει κινδύνους για το μεταλλικό υπόστρωμα. Κρίθηκε

αξιόλογη η χρήση φορέων μετρίασμού της διάχυσης των χημικών, ώστε να προσφέρουν έναν ήπιο και ελεγχόμενο χημικό καθαρισμό. Για αυτό επιλέχθηκε χημικός καθαρισμός με γέλη ξανθάνης.

#### Δοκιμή γέλης ξανθάνης με κιτρικό τριαμμώνιο 2,5 %:

Αρχικά εφαρμόστηκε σε ένα μικρό κομμάτι στο κάτω μέρος του οριζόντιου κύκλου, γέλη ξανθάνης με κιτρικό τριαμμώνιο 2,5 %. Το δοκίμιο ελεγχόταν σταδιακά ανά 1, 2 και 3 λεπτά μέχρι να παρατηρηθεί διαφοροποίηση στην επιφάνεια.



Εικόνα 125 Η εφαρμογή της πηκτής κιτρικού τριαμμώνιο 2,5% στο κάτω μέρος του οριζόντιου κύκλου. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 126 Η περιοχή δοκιμής, μετά τον καθαρισμό. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

Χημικό	Χρόνος εφαρμογής (min.)	Αποτελεσματικότητα
Γέλη ξανθάνης + κιτρικό τριαμμώνιο 2,5 %	1	Καθόλου
	2	Καθόλου
	3	Μικρή
	2	Μέτρια
	2	Καλή
	3	Αρκετά καλή
<b>Σύνολο</b>	13 min	

Η δοκιμή απέδωσε ικανοποιητικό αποτέλεσμα αφαίρεσης του βερνικιού και μικρής μείωσης της αμαύρωσης, σε συνολικά 13 λεπτά μετά την εφαρμογή της. Κατά τις αλλητάλληλες δοκιμές, η γέλη εφαρμογής διατηρούταν η ίδια.

#### Δοκιμές καθαρισμού στο άνω μέρος του οριζόντιου κύκλου

Σύμφωνα με τους προηγούμενους χημικούς καθαρισμούς, αξιολογήθηκε η εναπόθεση κιτρικού τριαμμώνιο με 2,5 % σε γέλη ξανθάνης ως η βέλτιστη μέθοδος καθαρισμού. Πρόκειται για έναν ελεγχόμενο τρόπο που επιτρέπει την χρήση χημικών υλικών. Το πάνω μέρος του οριζόντιου κύκλου χωρίστηκε σε τρία τμήματα.



1. Μια περιοχή παρέμεινε ακαθάριστη, ώστε να παρατηρείται άμεσα και να συγκρίνεται με τις γειτονικές περιοχές επέμβασης (δοκίμιο αναφοράς).
2. Στο δεύτερο τμήμα ο καθαρισμός έγινε με γέλη ξανθάνης με κιτρικό τριαμμώνιο 2,5%.
3. Στην τρίτη περιοχή, έγινε καθαρισμός με κιτρικό τριαμμώνιο 2,5% με ορειχάλκινη βούρτσα και ανθρακικό ασβέστιο.

Πραγματοποιήθηκε δηλαδή και μια σύγκριση, χημικού καθαρισμού με γέλη προς χημικό καθαρισμό με μηχανική υποβοήθηση.



Εικόνα 127 Το άνω μέρος του οριζόντιου κύκλου μετά τις δοκιμές καθαρισμού. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

Μέσο καθαρισμού	Χρόνος	Αποτελεσματικότητα
<b>Γέλη ξανθάνης + κιτρικό τριαμμώνιο 2,5%</b>	20 λεπτά	Μέτρια
<b>Κιτρικό τριαμμώνιο + ορειχάλκινη βούρτσα + CaCO<sub>3</sub></b>	Άμεση εφαρμογή	Αρκετά καλή

Η γέλη παρέμεινε για 20 λεπτά και όχι για 13, όπως αρχικά είχε υπολογιστεί. Αυτό συνέβη διότι η γέλη δρούσε λιγότερο. Η γέλη μείωσε το βερνίκι, όμως σε ελάχιστο βαθμό. Δηλαδή, συγκριτικά με τις προγενέστερες επεμβάσεις, η γέλη δεν είχε την ίδια αποτελεσματικότητα. Σε αντίθεση, ο χημικός καθαρισμός με μηχανική υποβοήθηση απέδωσε ιδιαίτερα ικανοποιητικά αποτελέσματα. Μέσω του δεύτερου καθαρισμού, αφαιρέθηκε πλήρως το βερνίκι και οι αμαυρώσεις, με αποτέλεσμα τη δημιουργία μίας καθαρής, γυαλιστερής ορειχάλκινης επιφάνειας.

Πιθανός λόγος για την διατήρηση του βερνικιού μετά την εφαρμογή της γέλης, είναι πως στη συγκεκριμένη επιφάνεια το βερνίκι διατηρείτο σε μεγαλύτερο πάχος.

**Δοκιμές καθαρισμού με κιτρικό τριαμμώνιο 5%  
Δοκιμή γέλης ξανθάνης με κιτρικό τριαμμώνιο 5%:**

Η μειωμένη αποτελεσματικότητα της γέλης με κιτρικό τριαμμώνιο 2,5 % έθεσε νέα δεδομένα, και επέβαλλε την περαιτέρω δοκιμή της δραστηριότητας των γελών για την αφαίρεση του βερνικιού. Παρασκευάστηκε κιτρικό τριαμμώνιο 5% σε γέλη ξανθάνης και τοποθετήθηκε στην ίδια περιοχή με τις προηγούμενες δοκιμές, δηλαδή στον οριζόντιο κύκλο. Συγκεκριμένα, η δοκιμή έγινε στη περιοχή του οριζόντιου κύκλου που είχε διατηρηθεί ακαθάριστη ως δοκίμιο αναφοράς. Στα υπόλοιπα σημεία είχε μειωθεί ή/και αφαιρεθεί το βερνίκι, οπότε δεν θα μπορούσε να αξιολογηθεί η δραστηριότητα της εφαρμογής. Η γέλη ελεγχόταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα, για να υπολογιστεί ο απαιτούμενος χρόνος διατήρησης επάνω στην επιφάνεια. Εν τέλει, μετά την πάροδο 35 λεπτών, παρατηρήθηκε μείωση του βερνικιού. Η αποτελεσματικότητα της γέλης δεν ήταν ιδιαίτερα ικανοποιητική. Ήταν αντιληπτή η μείωση του βερνικιού και η αποδυνάμωση του, όχι όμως η ολοκληρωτική αφαίρεση του. Έτσι αξιολογήθηκε ως πιο αποτελεσματική, με βάση τα προηγούμενα, η δοκιμή του κιτρικού τριαμμώνιου 2,5 % με ανθρακικό ασβέστιο και ορειχάλκινη βούρτσα.



Εικόνα 128 Η μειωμένη περιοχή του βερνικιού σε σύγκριση με την πλήρως καθαρισμένη. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 129 Ο οριζόντιος κύκλος, πριν την επέμβαση της πηκτής ξανθάνης με κιτρικό τριαμμώνιο 5%. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 130 Ο οριζόντιος κύκλος, μετά την επέμβαση της πηκτής ξανθάνης με κιτρικό τριαμμώνιο 5%. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

Μέσο καθαρισμού	Διάρκεια (min.)	Αποτελεσματικότητα
Γέλη ξανθάνης + κιτρικό τριαμμώνιο 5 %	20	Μικρή
Κιτρικό τριαμμώνιο 2,5 % + ανθρακικό ασβέστιο + ορειχάλκινη βούρτσα	Άμεσο	Αρκετά καλή
Γέλη ξανθάνης + κιτρικό τριαμμώνιο 5 %	35	Μέτρια

#### Δοκιμή καθαρισμού με κομπρέσα κιτρικό τριαμμώνιο 5 %

Οι αποτυχημένες δοκιμές χημικού καθαρισμού χωρίς μηχανική υποβοήθηση, υπέδειξαν την εφαρμογή χημικών με άλλα μέσα για την επιτυχημένη λειτουργία τους. Η επιλογή βαμβακοφόρου επιθέματος (κομπρέσα) δοκιμάστηκε. Ένα κοινό θετικό που έχουν τόσο οι κομπρέσες όσο και οι γέλες είναι πως οριοθετούνται και ορίζεται η ακριβής περιοχή εφαρμογής τους. Εάν είναι κατασκευασμένη σωστά μια κομπρέσα με την κατάλληλη ποσότητα υγρού χημικού, μπορεί να αποφευχθεί η διασπορά του υγρού στην επιφάνεια του αντικειμένου. Στην κομπρέσα τοποθετήθηκε κιτρικό τριαμμώνιο 5% με την χρήση σταγονόμετρου. Εφαρμόστηκε στο κάτω μέρος του οριζόντιου κύκλου και η παραμονή της επάνω στην επιφάνεια ελεγχόταν συχνά. Συνολικά, διατηρήθηκε για 20 λεπτά, επιφέροντας ικανοποιητικά αποτελέσματα αφαίρεσης του βερνικιού και μείωσης των αμαυρώσεων.

#### Σύγκριση αποτελεσματικότητας μεταξύ γέλης και κομπρέσας

Μέχρι στιγμής, συνοψίζοντας όλες τις προηγούμενες δοκιμές, παρατηρείται ότι η κομπρέσα είναι πιο αποτελεσματική από τη γέλη, όσον αφορά διαλύματα ίδιων συγκεντρώσεων. Η αμεσότητα διάχυσης του χημικού που προσφέρει η κομπρέσα, είναι εξαιρετικά πιο δραστική από ένα επίθεμα γέλης. Όμως, οι περιοχές εφαρμογής στο Θεοδόλιχο δεν παρομοιάζουν, όσο αφορά την παθολογία. Σε ορισμένα σημεία το βερνίκι διατηρείται σε μεγαλύτερο πάχος, ενώ σε άλλες όχι τόσο. Επιπλέον, οι διαβρώσεις του κράματος δεν είναι πανομοιότυπες παντού, υπάρχουν σημεία με έντονη αμαύρωση και άλλα με μικρά στίγματα. Οπότε, ήταν αναγκαία για την αξιολόγηση των δύο επιθεμάτων, η εφαρμογή τους σε μια πανομοιότυπη περιοχή,



Εικόνα 131 Βραχίονας τρικοχλίου, πριν τις δοκιμές. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 132 Βραχίονας τρικοχλίου, μετά τις δοκιμές. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

όσον αφορά το υλικό και τη διάβρωση. Η συγκεκριμένη περιοχή πρόκειται για τους βραχίονες του τριχοχλίου. Σε αυτές τις δοκιμές, ελέγχθηκε η ικανότητα αφαίρεσης των διαβρώσεων του ορείχαλκου, για αυτό και εφαρμόστηκαν σε περιοχή που είχε αφαιρεθεί το βερνίκι. Σε έναν βραχίονα διαμορφώθηκαν δύο επιθέματα, ένα γέλης ξανθάνης με κιτρικό τριαμμώνιο 5% και μία κομπρέσα με κιτρικό τριαμμώνιο 5%. Οι συγκεντρώσεις ήταν κοινές για συγκριθεί η διαφοροποίηση καθαρισμού, όσον αφορά το μέσο του επιθέματος.

Επίθεμα	Διάρκεια (min.)	Αποτελεσματικότητα
Κομπρέσα κιτρικό τριαμμώνιο 5%	20	Καλή, γρήγορη και απότομη
	+10	Αρκετά καλή, βέλτιστο
	+10	Σταθερή
Συνολικά	40 λεπτά	
Γέλη ξανθάνης +κιτρικό τριαμμώνιο 5 %	20	Μικρή
	+10	Μέτρια
	+10	Καλή
	+30	Μέτρια
	+30	Σταθερή
Συνολικά	100 λεπτά (1ώρα και 40 λεπτά)	

Με βάση τις δοκιμές τα συμπεράσματα ήταν:

- Η κομπρέσα αφαιρεί τις αμαυρώσεις σε ικανοποιητικό επίπεδο, ενώ η γέλη δεν τις αφαιρεί πλήρως.
- Και τα δύο επιθέματα καθαρίζουν μέχρι μια συγκεκριμένη χρονική διάρκεια παραμονής τους. Παραπάνω από αυτό το χρόνο, ο καθαρισμός παραμένει σταθερός ή καταλήγει σε υπερκαθαρισμό της επιφάνειας.
  - Για την κομπρέσα κιτρικό τριαμμώνιο 5% είναι 30 λεπτά.
  - Για τη γέλη κιτρικό τριαμμώνιο 5% είναι 70 λεπτά.
- Ο καθαρισμός με κομπρέσα χρειάζεται μικρότερο χρονικό διάστημα από την γέλη.
- Συνεπώς, η κομπρέσα προσφέρει καλύτερο καθαρισμό σε σύγκριση με την γέλη.

#### *Δοκιμές για αξιολόγηση της συγκέντρωσης του κιτρικού τριαμμώνιου σε επίθεμα*

Η εφαρμογή κομπρέσας κιτρικού τριαμμώνιου 5% στο βραχίονα του τρίποδα, απέδωσε ιδιαίτερα ικανοποιητικά αποτελέσματα για τον καθαρισμό της ορειχάλκινης επιφάνειας από τις αμαυρώσεις και τα υπολείμματα του βερνικιού. Ωστόσο, κρίθηκε απαραίτητη η δοκιμή της αποδοτικότητας της κομπρέσας και σε άλλες συγκεντρώσεις. Εφόσον το επίθεμα με κιτρικό τριαμμώνιο 5% ήταν ιδιαίτερα αποδοτικό, ελέγχθηκαν επιθέματα χαμηλότερης συγκέντρωσης, ώστε να παρατηρηθεί εάν είναι εφικτός παρόμοιος καθαρισμός με πιο ήπια συγκέντρωση χημικού. Οι δοκιμές έγιναν πάλι στο τριχοχλίο, καθώς πρόκειται για ένα εξάρτημα με γνωστή την παθολογία της επιφάνειας του. Σύγκριση και αξιολόγηση έγιναν και με επιθέματα γελών που εφαρμόστηκαν στο δείκτη του θεοδόλιχου. Βασικός στόχος, ήταν να συγκριθεί στον ίδιο

χρόνο εφαρμογής και σε πανομοιότυπη περιοχή, εάν τα επίθεμα διαφορετικών συγκεντρώσεων θα είχαν παρόμοιο και ικανοποιητικό καθαρισμό.

#### *Δοκιμή κομπρέσας με κιτρικό τριαμμώνιο 5% σε βραχίονα τριχοχλίου*

Πρώτα παρασκευάστηκε ένα επίθεμα με κομπρέσα με κιτρικό τριαμμώνιο 5%, το οποίο εφαρμόστηκε σε άλλο βραχίονα του τριχοχλίου. Το επίθεμα διατηρήθηκε για 20 λεπτά στην επιφάνεια, αποδίδοντας ικανοποιητικά αποτελέσματα. Στην επιφάνεια μετά τον καθαρισμό αποκαλύφθηκαν ροζ περιοχές, κυρίως κάτω από τις έντονες αμαυρώσεις. Μετά τη δοκιμή το βερνίκι είχε αφαιρεθεί, αλλά παρέμενε μια ανομοιογενής επιφάνεια εξαιτίας των υπολειμμάτων των διαβρώσεων. Για αυτό αποφασίστηκε η ενίσχυση του καθαρισμού. Στη συνέχεια, δηλαδή η επιφάνεια καθαρίστηκε με κιτρικό τριαμμώνιο 2,5% με ορειχάλκινη βούρτσα και ανθρακικό ασβέστιο. Ο τελευταίος καθαρισμός, οδήγησε στην τελειοποίηση της μεταλλικής επιφάνειας, αφήνοντας το καθαρό κίτρινο χρώμα του κράματος.

Επίθεμα	Διάρκεια (min.)	Αποτελεσματικότητα
Κομπρέσα κιτρικό τριαμμώνιο 5%	20	Καλή
Κιτρικό τριαμμώνιο 2,5% + ανθρακικό ασβέστιο + ορειχάλκινη βούρτσα	Άμεση	Αρκετά καλή



Εικόνα 133 Ο βραχίονας του τριχοχλίου, πριν την δοκιμή. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 135 Ο βραχίονας του τριχοχλίου, μετά το χημικό καθαρισμό με μηχανική υποβοήθηση. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

#### *Δοκιμή κομπρέσας κιτρικό τριαμμώνιο 2,5% στο κεντρικό στέλεχος του τριχοχλίου:*

Στα πλαίσια των δοκιμών σύγκρισης συγκεντρώσεων, εφαρμόστηκε και κομπρέσα με κιτρικό τριαμμώνιο 2,5%. Το επίθεμα τοποθετήθηκε στο κεντρικό στέλεχος του τριχοχλίου, από το οποίο προεξέχουν οι βραχίονες. Το επίθεμα διατηρήθηκε επίσης για 20 λεπτά. Μετά τα πρώτα 20 λεπτά είχε αφαιρεθεί το βερνίκι και οι έντονες αμαυρώσεις, παρέμεναν όμως υπολείμματα των διαβρώσεων στη επιφάνεια. Εξαιτίας του μέτριου αποτελέσματος του

καθαρισμού, εφαρμόσθηκε για επιπλέον 10 λεπτά. Μετά τα επιπλέον 10 λεπτά δεν υπήρχε μεταβολή στον καθαρισμό της επιφάνειας.

Επίθεμα	Διάρκεια (min.)	Αποτελεσματικό-τητα
<b>Κομπρέσα κιτρικό τριαμμώνιο 2,5%</b>	20	Καλή
	+10	Σταθερή
<b>Σύνολο</b>	30 λεπτά	



Εικόνα 136 Μέρος τριχοχλίου, πριν τη δοκιμή. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 137 Μέρος τριχοχλίου, μετά τη δοκιμή. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

#### *Δοκιμή κομπρέσας με κιτρικό τριαμμώνιο 5% στο άγκιστρο*

Η μειωμένη δραστηριότητα της κομπρέσας με κιτρικό τριαμμώνιο 2,5%, οδήγησε στην επιλογή συγκέντρωσης 5% για την εφαρμογή επιθεμάτων. Για αυτό το λόγο, το επιλεγμένο επίθεμα ελέγχθηκε και σε άλλη περιοχή για να επιβεβαιωθεί η αποτελεσματικότητά του. Ως περιοχή δοκιμής επιλέχθηκε το άγκιστρο, το οποίο είχε παχύ στρώμα διατήρησης βερνικιού και αρκετές σημειακές αμαυρώσεις. Πρώτα δοκιμάστηκε για 20 λεπτά και λειτούργησε ιδιαίτερα δραστικά, όμως δεν αφαίρεσε το βερνίκι πλήρως. Ήταν απαραίτητη η εναπόθεση του επιθέματος για επιπλέον 20 λεπτά, η οποία μείωσε και άλλο το βερνίκι αφήνοντας μόνο σε ορισμένα σημεία υπολείμματα.

Επίθεμα	Διάρκεια	Αποτελεσματικότητα
<b>Κομπρέσα κιτρικό τριαμμώνιο 5%</b>	20	Καλή
	+20	Καλή
<b>Σύνολο</b>	40 λεπτά	

### Δοκιμή σύγκρισης συγκεντρώσεων κιτρικού τριαμμώνιου σε γέλες ξανθάνης

Στο άνω μέρος του δείκτη του θεοδόλιχου διατηρείτο βερνίκι σε παχιά στρώση. Εφαρμόστηκαν γέλες ξανθάνης σε διαφορετικές συγκεντρώσεις και χρόνους για να ελεγχθεί η βέλτιστη όλων. Για να αφαιρεθεί σε ικανοποιητικό επίπεδο το βερνίκι, χρειάστηκε η εναπόθεση επιθεμάτων και των δύο συγκεντρώσεων. Σύμφωνα με τις προγενέστερες δοκιμές, καμία γέλη δεν αφαίρεσε πλήρως με μία εφαρμογή το βερνίκι. Κατά συνέπεια παραμένουν σημεία στα



Εικόνα 138 Η περιοχή του δείκτη, στην οποία διατηρείται βερνίκι μετά την εναπόθεση των πηκτών. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

οποία διατηρείται βερνίκι και σε αυτά η επέμβαση αφαίρεσης γίνεται σημειακά. Η τρίτη δοκιμή αφορούσε το σημειακό τελικό καθαρισμό του βερνικιού. Ενώ όμως ήταν αποτελεσματική, η σημειακή εναπόθεση επιθέματος αφήνει μέτωπο διαβροχής και διατηρείται μια διαφοροποίηση στην όψη της τελικής επιφάνειας σε σχέση με τις γεινιάζουσες.

Γέλη ξανθάνης + κιτρικό τριαμμώνιο	Διάρκεια (min.)	Αποτελεσματικότητα
2,5%	15	Μέτρια
5%	30	Μικρή
2,5%	20	Καλή

### Δοκιμές με μυρμηκικό οξύ με μηχανική υποβοήθηση

Όλες οι προγενέστερες δοκιμές, απέδειξαν μια ικανότητα αφαίρεσης του βερνικιού και των διαβρώσεων του ορείχαλκου. Όμως, κάθε δοκιμή που αποδεικνυόταν ως καταλληλότερη, όταν εφαρμοζόταν ως συνολική επέμβαση καθαρισμού του Θεοδόλιχου, δεν απέδιδε το επιθυμητό και αναμενόμενο αποτέλεσμα. Ακόμα και τα επιθέματα με κιτρικό τριαμμώνιο επέδειξαν αδυναμία στην ικανότητα αφαίρεσης πλήρως του βερνικιού και των αμαυρώσεων. Στις περιοχές που εντοπίστηκε ιδιαίτερα ικανοποιητικό αποτέλεσμα καθαρισμού, πρόκειται για αυτές που έγινε επέμβαση και με μηχανικά μέσα. Η αδυναμία των προηγούμενων δοκιμών, έθεσε ξανά την ανάγκη εύρεσης πιο δραστικού οξέος, αλλά η μη ελεγχόμενη και απότομη δράση της υαλόβουρτσας και της ορειχάλκινης βούρτσας έπρεπε να αντικατασταθεί. Ως υποκατάστατο των προηγούμενων χημικών, κρίθηκε θεμιτή η χρήση μυρμηκικού οξέος, το οποίο πρόκειται γενικά για ένα ήπιο οξύ, το οποίο είναι όμως πιο δραστικό από το κιτρικό οξύ και το κιτρικό τριαμμώνιο. Για μηχανικό μέσο επιλέχθηκε σύρμα ψιλό N. 12, το οποίο πρόκειται για πολύ λεπτό και μαλακό υλικό και μειώνεται η πιθανότητα πρόκλησης εκδορών στην επιφάνεια κατά τον καθαρισμό. Συνολικά με αυτή τη μέθοδο έγιναν δύο δοκιμές με διαφορές στις συγκεντρώσεις του μυρμηκικού οξέος.

Μυρμηκικό οξύ + σύρμα ψιλό N. 12	Αποτελεσματικότητα
10%	Αρκετά καλή, απότομη
5%	Αρκετά καλή, ελεγχόμενη



Εξαιτίας της ανθεκτικότητας και σκληρότητας τόσο του βερνικιού όσο και των αμαυρώσεων εφαρμόστηκε πρώτα μυρμηκικό οξύ 10%, για να είναι σίγουρη η δραστικότητα του καθαρισμού. Αποδειχθεί ιδιαίτερα αποτελεσματική, αλλά ταυτόχρονα και απότομη. Γίνεται ταχεία αφαίρεση του βερνικιού και των διαβρώσεων, με αποτέλεσμα να μειώνεται ο έλεγχος δράσης του επιθέματος. Επιπλέον, η παραμονή υψηλής συγκέντρωσης στην ορειχάλκινη επιφάνεια μπορεί να ξεπεράσει το στάδιο καθαρισμού και μπορεί να αρχίσει μια εκ νέου διάβρωση. Για αυτούς του λόγους εφαρμόστηκε το οξύ σε υποδιπλάσια συγκέντρωση 5%, κατά την οποία η αφαίρεση των φθορών γινόταν εξίσου αποτελεσματικά και αρκετά πιο ελεγχόμενα. Γενικά, σε όλες τις εφαρμογές οξέων οι περιοχές ξεπλένονταν με απιονισμένο νερό και ακετόνη για να απομακρύνεται γρήγορα το οξύ και η υγρασία από την μεταλλική επιφάνεια.

Η τελευταία μέθοδος αποδείχθηκε συγκριτικά με άλλες ως η πιο ικανοποιητική για τους εξής λόγους:

- Πλήρης αφαίρεση βερνικιού και διαβρώσεων
- Διατήρηση καθαρής και στιλπνής επιφάνειας στον ορείχαλκο
- Χρήση ήπιου οξέος
- Χρήση ήπιου μηχανικού μέσου
- Αποφυγή πρόκλησης εκδορών και νέων διαβρώσεων

Οι παραπάνω λόγοι συνέβαλλαν στην επιλογή του μυρμηκικού οξέος 5% με σύρμα ψιλό N. 12 ως το μέσο καθαρισμού του Θεοδόλιχου.

#### Δοκιμές καθαρισμού κανόνα διόπτρας μετροτράπεζας

Με τη χρήση του μυρμηκικού οξέος 5% με μηχανικά μέσα σε μπατονέτα με σύρμα ψιλό N. 12 συντηρήθηκε το μεγαλύτερο μέρος των ορειχάλκινων επιφανειών των τοπογραφικών οργάνων. Ένα εξάρτημα το οποίο δεν είχε καθαριστεί από τα οξειδία μετάλλου και τα αλλοιωμένα βερνίκια ήταν ο κανόνας της διόπτρα μετροτράπεζας. Εν τέλει η ανομοιόμορφη όψη που είχε λόγω του οξειδωμένου βερνικιού μαζί με οργανικά άλατα του χαλκού κατέστησαν απαραίτητο τον καθαρισμό του κανόνα από το σκουρόχρωμο επιφανειακό στρώμα. Η επιφάνεια του όμως αποτελούσε μια σύνθετη πρόκληση, καθώς αποτελούταν από σημειακές επιμεταλλώσεις και ο ορείχαλκος ήταν πιο ευαίσθητος.

Αρχικά ακολουθήθηκε η προαναφερθείσα μέθοδος καθαρισμού ή ίδια που είχε εφαρμοστεί και στα υπόλοιπα εξαρτήματα των οργάνων. Όμως με μια μικρή δοκιμή παρατηρήθηκε πως το μυρμηκικό οξύ 5% ανάγει το μέταλλο και διατηρούσε μια ροζ επιφάνεια που οφειλόταν σε δευτερογενή εναπόθεση χαλκού. Η διαμόρφωση ροζ επιφάνειας έπρεπε να αποφευχθεί οπωσδήποτε καθώς δεν σχετιζόταν με την αρχική και κανονική όψη του ορείχαλκου. Για αυτό το λόγο εφαρμόστηκε με την ίδια μέθοδο πιο ήπιο χημικό, το κιτρικό τριαμμώνιο 5%. Το χημικό αυτό αφαιρούσε την σκουρόχρωμη διάβρωση και διατηρούσε μια καθαρή κίτρινη επιφάνεια, επιφέροντας ιδιαίτερα ικανοποιητικά αποτελέσματα. Μετά από την εφαρμογή του χημικού γινόταν έκπλυση της επιφάνειας με απιονισμένο νερό και ακετόνη κατά σειρά, ώστε να απομακρυνθούν τα χημικά υπολείμματα και να επέλθει ξήρανση του αντικειμένου.



Εικόνα 139 Η ροζ εναπομείναν επιφάνεια μετά τον καθαρισμό με μυρμηκικό οξύ. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

Μέσο καθαρισμού	Επιφάνεια διατήρησης	Αποτελεσματικότητα
Μυρμηκικό οξύ 5% + σύρμα ψιλό N.12	Ροζ	Μη ικανοποιητική
Κιτρικό τριαμμώνιο 5% + σύρμα ψιλό N.12	Κίτρινη	Ικανοποιητική



*Εικόνα 140 Η οπίσθια όψη του κανόνα πριν τον καθαρισμό. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).*



*Εικόνα 141 Η οπίσθια όψη του κανόνα μετά τη συντήρηση. Στην πάνω αριστερή γωνία διακρίνεται ο μάρτυρας της αρχικής κατάστασης, που αφήσαμε. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).*

## 7. Μεθοδολογία επεμβάσεων συντήρησης:

Με βάση τις πληροφορίες που ελήφθησαν από τη μακροσκοπική παρατήρηση των αντικειμένων και τις φυσικοχημικές αναλύσεις, διαγνώστηκε η κατάσταση διατήρησης των αντικειμένων. Στο επόμενο στάδιο σχεδιάστηκε η μεθοδολογία συντήρησής τους. Οι μέθοδοι επεμβάσεων και η έκταση του καθαρισμού που θα εφαρμοστούν καθορίστηκαν σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, τις δοκιμές και τις πληροφορίες που υπάρχουν. Η μεθοδολογίας συντήρησης και η εφαρμογή της σε στάδια παρουσιάζεται στο συγκεκριμένο κεφάλαιο.

### 7.1. Αποσυναρμολόγηση αντικειμένων:

Ένα βασικό χαρακτηριστικό των αντικειμένων που διευκόλυνε την αποσυναρμολόγηση των αντικειμένων είναι η ύπαρξη σημαδιών αρίθμησης στις βίδες και τους κοχλίες. Με σημεία τελειών δίνεται μια αρίθμηση (π.χ. ., .., ..., κ.λ.π) στη κεφαλή τη βίδας και έξω από την εσοχή τοποθέτησής της. Αυτό δηλώνει πως αντικείμενα ήταν κατασκευασμένα για να αποσυναρμολογούνται και να επανασυναρμολογούνται από τον χρήστη και για αυτό του δινόταν μέσω των υλικών οδηγίες για τη σειρά τοποθέτησης των βιδών και την ακριβή θέση κάθε βίδας. Σε ορισμένους κοχλίες διαγραφόταν η φορά περιστροφής τους, ενώ σε κάποιο σημείο υπήρχε το σημάδι αρίθμησης. Αυτό το είδος σήμανσης παρατηρήθηκε και στα τέσσερα όργανα, οπότε υπήρχε η ίδια οδηγία παρόλο τις διαφορετικές κατασκευαστικές εταιρίες. Αυτά τα σημάδια αποτελούν στοιχείο των αντικειμένων και της τεχνολογίας κατασκευής τους και



Εικόνα 142 Η σήμανση βίδας και θέσης με τριπλή τελεία στη βάση της άντυγα του "κίτρινου θεοδόλιχου". ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 143 Το "X" στην οπίσθια όψη της σφαιρικής αεροστάθμης δηλώνει ποια οπή πρέπει να βιδωθεί πρώτη. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 144 Βέλος φοράς περιστροφής του κοχλία του κλισιμέτρου στη "διόπτρα μετεροτράπεζας". ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

υποδηλώνουν τον τρόπο συναρμολόγησης και λειτουργίας των τοπογραφικών οργάνων. Σύμφωνα με αυτές τις πληροφορίες καθίσταται ακόμα πιο αναγκαίος ο καθαρισμός των επιφανειών, ώστε να είναι ευδιάκριτα όλα αυτά τα στοιχεία.



Εικόνα 145 Η διόπτρα μετροτράπεζας αποσυναρμολογημένη. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 146 Ο μαύρος χωροβάτης αποσυναρμολογημένος. ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

## 7.2. Μέθοδοι και Υλικά που επιλέχθηκαν:

Σε όλα τα τμήματα των αντικειμένων από ορείχαλκο και άργυρο χρησιμοποιήθηκε διάλυμα μυρμηκικού οξέος 5% σε απιονισμένο νερό, το οποίο εφαρμόστηκε με ψιλό σύρμα N.12. Μετά τον καθαρισμό, ακολουθούσε έκπλυση της επιφάνειας με απιονισμένο νερό και ακετόνη, ώστε να γίνει γρήγορα η εξάτμιση των υγρών μέσων. Μετέπειτα, στα τμήματα αυτά, χρησιμοποιήθηκε Dremel με χάλκινο βουρτσάκι για το φινίρισμα των αντικειμένων και εφαρμόστηκε προστατευτικό επικαλυπτικό διάλυμα Paraloid B72 15% σε τολουόλιο.

Στα σιδερένια τμήματα των αντικειμένων χρησιμοποιήθηκε καυστικό Νάτριο 5% σε απιονισμένο νερό, το οποίο εφαρμόστηκε με ψιλό σύρμα N.12. Μετά τον καθαρισμό ακολουθούσε έκπλυση της επιφάνειας, με απιονισμένο νερό και ακετόνη, ώστε να γίνει γρήγορα η εξάτμιση των υγρών μέσων. Έγινε και μηχανικός καθαρισμός με την χρήση dremel για τον καθαρισμό της επιφάνειας, ώστε να αφαιρεθούν τυχόν υπολείμματα. Τέλος, έγινε τελική έκπλυση με απιονισμένο νερό και ακετόνη.

Στα τμήματα που έφεραν βαφή έγινε επιφανειακός καθαρισμός των ρύπων με διάλυμα Ακετόνης-Αιθανόλης-Απιονισμένου νερού 1:1:1.

Στον κανόνα της Διόπτρας μετροτράπεζας χρησιμοποιήθηκε διάλυμα Κιτρικού τριαμμώνιου 5% σε απιονισμένο νερό. Μετά τον καθαρισμό, ακολουθούσε έκπλυση της επιφάνειας με απιονισμένο νερό και ακετόνη. Μετέπειτα χρησιμοποιήθηκε για την ομογενοποίηση της επιφάνειας Ανθρακικό Ασβέστιο με ακετόνη και έκπλυσή του με απιονισμένο νερό και ακετόνη. Τέλος, εφαρμόστηκε προστατευτικό επικαλυπτικό διάλυμα Paraloid B72 15% σε Τολουόλιο.

Τα ξύλινα τμήματα του κανόνα της Διόπτρας μετροτράπεζας καθαρίστηκαν με απιονισμένο νερό και ακετόνη και επικαλύφθηκαν με προστατευτικό κερί (Renaissance micro-crystalline wax polish).

### 7.3. Πίνακες αντικειμένων πριν και μετά τις επεμβάσεις συντήρησης:



Εικόνα 147 Το τηλεσκόπιο του χωροβάτη, πριν τη συντήρηση (Μαύρος χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 148 Το τηλεσκόπιο του χωροβάτη, μετά τη συντήρηση (Μαύρος χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 149 Ο σωλήνας του προσοφθάλμιου φακού, πριν τη συντήρηση (Μαύρος χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 150 Ο σωλήνας του προσοφθάλμιου φακού, μετά τη συντήρηση (Μαύρος χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).





Εικόνα 151 Τα εξαρτήματα του ανασταλτικού κοχλίου, πριν τη συντήρηση (Μαύρος χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



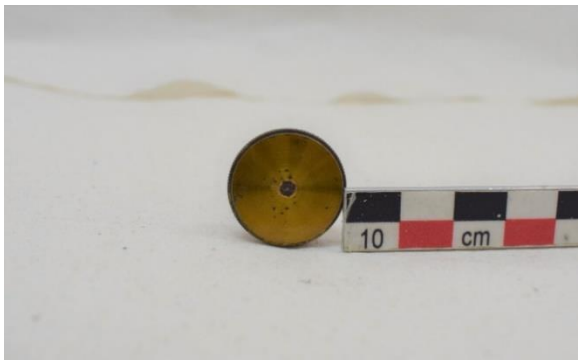
Εικόνα 152 Τα εξαρτήματα του ανασταλτικού κοχλίου, μετά τη συντήρηση (Μαύρος χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



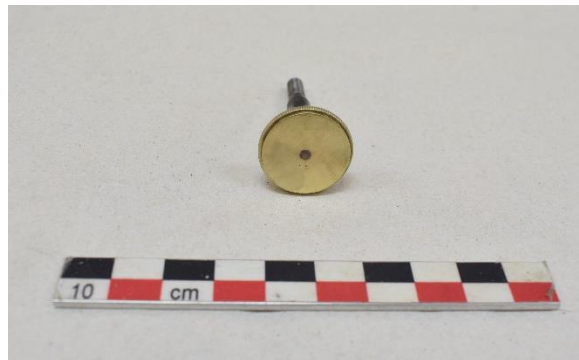
Εικόνα 153 Ο κοχλίας σύσφιξης, πριν τη συντήρηση (Μαύρος χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 154 Ο κοχλίας σύσφιξης, μετά τη συντήρηση (Μαύρος χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 155 Η κεφαλή του κοχλία σύσφιξης, πριν τη συντήρηση (Μαύρος χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 156 Η κεφαλή του κοχλία σύσφιξης, μετά τη συντήρηση (Μαύρος χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 157 Οι κεφαλές των κοχλιών του τρικοχλίου, πριν τη συντήρηση (Μαύρος χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 158 Οι κεφαλές των κοχλιών του τρικοχλίου, μετά τη συντήρηση (Μαύρος χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 159 Οι κοχλίες τριχοχλίου, πριν τη συντήρηση (Μαύρος χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 160 Οι κοχλίες τριχοχλίου, μετά τη συντήρηση (Μαύρος χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 161 Ο προσοφθάλμιος φακός, πριν τη συντήρηση (Μαύρος χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 162 Ο προσοφθάλμιος φακός, μετά τη συντήρηση (Μαύρος χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 163 Πλάγια όψη του προσοφθάλμιου, πριν τη συντήρηση (Μαύρος χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 164 Πλάγια όψη του προσοφθάλμιου, μετά τη συντήρηση (Μαύρος χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 165 Επάνω όψη του κοχλία εστίασης, πριν τη συντήρηση (Μαύρος χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 166 Επάνω όψη του κοχλία εστίασης, μετά τη συντήρηση (Μαύρος χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 167 Κάτω όψη του κοχλία εστίασης, πριν τη συντήρηση (Μαύρος χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 168 Κάτω όψη του κοχλία εστίασης, πριν τη συντήρηση (Μαύρος χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 169 Πάνω όψη της σωληνωτής αεροστάθμης, πριν τη συντήρηση (Μαύρος χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 170 Πάνω όψη της σωληνωτής αεροστάθμης, μετά τη συντήρηση (Μαύρος χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 171 Πλάγια όψη της σωληνωτής αεροστάθμης, πριν τη συντήρηση (Μαύρος χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 172 Πλάγια όψη της σωληνωτής αεροστάθμης, μετά τη συντήρηση (Μαύρος χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 173 Εσωτερικό καλύπτρου, πριν τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 174 Εσωτερικό καλύπτρου, μετά τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 175 Εξωτερικό καλύπτρου, πριν τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 176 Εξωτερικό καλύπτρου, μετά τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 177 Επάνω όψη σωληνωτής αεροστάθμης βραχιόνων, πριν τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 178 Επάνω όψη σωληνωτής αεροστάθμης βραχιόνων, μετά τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 179 Κάτω όψη σωληνωτής αεροστάθμης βραχιόνων, πριν τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 180 Κάτω όψη σωληνωτής αεροστάθμης βραχιόνων, πριν τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 181 Άνω όψη του κοχλία εστίασης, πριν τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 182 Άνω όψη του κοχλία εστίασης, μετά τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 183 Κάτω όψη του κοχλία εστίασης, πριν τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 184 Κάτω όψη του κοχλία εστίασης, μετά τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 185 Πλάγια όψη σωληνωτής αεροστάθμης τηλεσκοπίου, πριν τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 186 Πλάγια όψη σωληνωτής αεροστάθμης τηλεσκοπίου, μετά τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 187 Άνω όψη σωληνωτής αεροστάθμης τηλεσκοπίου, πριν τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 188 Άνω όψη σωληνωτής αεροστάθμης τηλεσκοπίου, μετά τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).





Εικόνα 189 Εξαρτήματα του κοχλία του κλισιμέτρου, πριν τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 190 Εξαρτήματα του κοχλία του κλισιμέτρου, μετά τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 191 Εσωτερικό των βραχιόνων του τηλεσκοπίου, πριν τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 192 Εσωτερικό των βραχιόνων του τηλεσκοπίου, πριν τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 193 Οι βραχίονες τηλεσκοπίου μετωπικά, πριν τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 194 Οι βραχίονες τηλεσκοπίου μετωπικά, μετά τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 195 Εξαρτήματα ανασταλτικού κοχλία, πριν τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 196 Εξαρτήματα ανασταλτικού κοχλία, μετά τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



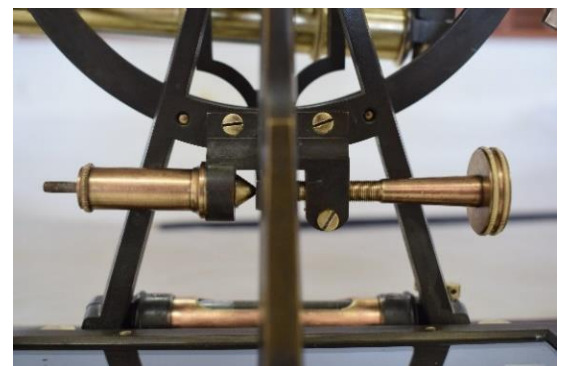
Εικόνα 197 Εξαρτήματα ανασταλτικού κοχλία, πριν τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 198 Εξαρτήματα ανασταλτικού κοχλία, μετά τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 199 Τα εξαρτήματα του ανασταλτικού κοχλία πάνω στη διόπτρα, πριν τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 200 Τα εξαρτήματα του ανασταλτικού κοχλία πάνω στη διόπτρα, μετά τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 201 Πώμα κοχλία ατράκτου, πριν τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 202 Πώμα κοχλία ατράκτου, μετά τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 203 Πώμα κοχλία ατράκτου, πριν τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 204 Πώμα κοχλία ατράκτου, μετά τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 205 Εμπρόσθια όψη βερνιέρων κύκλου, πριν τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 206 Εμπρόσθια όψη βερνιέρων κύκλου, μετά τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 207 Οπίσθια όψη βερνιέρων, πριν τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 208 Οπίσθια όψη βερνιέρων, μετά τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 209 Οπίσθια όψη κανόνα της διόπτρας, πριν τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 210 Οπίσθια όψη κανόνα της διόπτρας, μετά τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 211 Εμπρόσθια όψη του κανόνα της διόπτρας, πριν τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 212 Εμπρόσθια όψη του κανόνα της διόπτρας, μετά τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 213 Οι βραχίονες άντυγα της διόπτρας, πριν τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 214 Οι βραχίονες άντυγα της διόπτρας, μετά τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 215 Ο κατακόρυφος κύκλος, πριν τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 216 Ο κατακόρυφος κύκλος, μετά τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 217 Εμπρόσθια όψη της σφαιρικής αεροστάθμης του κανόνα, πριν τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 218 Εμπρόσθια όψη της σφαιρικής αεροστάθμης του κανόνα, μετά τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 219 Οπίσθια όψη της σφαιρικής αεροστάθμης του κανόνα, πριν τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 220 Οπίσθια όψη της σφαιρικής αεροστάθμης του κανόνα, μετά τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 222 Πλάγια όψη της σφαιρικής αεροστάθμης του κανόνα, πριν τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 223 Πλάγια όψη της σφαιρικής αεροστάθμης του κανόνα, μετά τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 224 Κοχλίες του κατακόρυφου κύκλου, πριν τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 225 Κοχλίες του κατακόρυφου κύκλου, μετά τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 226 Κοχλίες των βραχιόνων της άντυγα, πριν τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 227 Κοχλίες των βραχιόνων της άντυγα, μετά τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



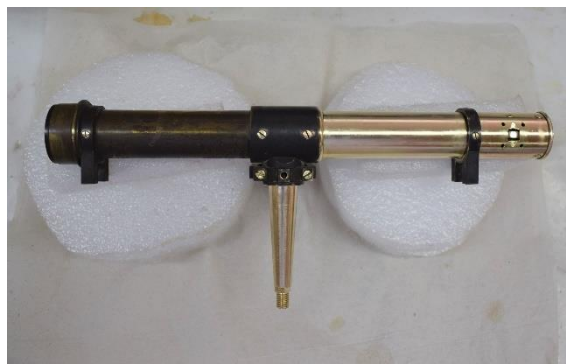
Εικόνα 228 Οπίσθια όψη του κλισιμέτρου, πριν τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 229 Οπίσθια όψη του κλισιμέτρου, πριν τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 230 Το τηλεσκόπιο της διόπτρας, πριν τη συντήρηση (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 231 Το τηλεσκόπιο της διόπτρας, κατά τη διάρκεια της συντήρησης (Διόπτρα μετροτράπεζας). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).





Εικόνα 232 Εμπρόσθια όψη σωληνωτής αεροστάθμης, πριν τη συντήρηση (Μικρός χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 233 Εμπρόσθια όψη σωληνωτής αεροστάθμης, μετά τη συντήρηση (Μικρός χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 234 Οπίσθια όψη της σωληνωτής αεροστάθμης, πριν τη συντήρηση (Μικρός χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 235 Οπίσθια όψη της σωληνωτής αεροστάθμης, μετά τη συντήρηση (Μικρός χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 236 Πλάγια όψη της σωληνωτής αεροστάθμης, πριν τη συντήρηση (Μικρός χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 237 Πλάγια όψη της σωληνωτής αεροστάθμης, μετά τη συντήρηση (Μικρός χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 238 Εμπρόσθια όψη κοχλία τηλεσκοπίου, πριν τη συντήρηση (Μικρός χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 239 Εμπρόσθια όψη κοχλίας τηλεσκοπίου, μετά τη συντήρηση (Μικρός χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 240 Οπίσθια όψη κοχλία τηλεσκοπίου, πριν τη συντήρηση (Μικρός χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 241 Οπίσθια όψη κοχλία τηλεσκοπίου, μετά τη συντήρηση (Μικρός χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 242 Πλάγια όψη του κοχλία τηλεσκοπίου, πριν τη συντήρηση (Μικρός χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 243 Πλάγια όψη του κοχλία τηλεσκοπίου, μετά τη συντήρηση (Μικρός χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 244 Πλάγια όψη προσοφθάλμιου φακού, πριν τη συντήρηση (Μικρός χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 245 Πλάγια όψη προσοφθάλμιου φακού, μετά τη συντήρηση (Μικρός χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 246 Επάνω όψη προσοφθάλμιου φακού, πριν τη συντήρηση (Μικρός χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 247 Επάνω όψη προσοφθάλμιου φακού, μετά τη συντήρηση (Μικρός χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 248 Βάση μικρού χωροβάτη, πριν τη συντήρηση (Μικρός χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 249 Βάση μικρού χωροβάτη, μετά τη συντήρηση (Μικρός χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 250 Βάση μικρού χωροβάτη, πριν τη συντήρηση (Μικρός χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 251 Βάση μικρού χωροβάτη, μετά τη συντήρηση (Μικρός χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 252 Άνω μέρος μικρού χωροβάτη, πριν τη συντήρηση (Μικρός χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 253 Άνω μέρος μικρού χωροβάτη, μετά τη συντήρηση (Μικρός χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 254 Άνω μέρος μικρού χωροβάτη, μετά τη συντήρηση (Μικρός χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 255 Άνω μέρος μικρού χωροβάτη, μετά τη συντήρηση (Μικρός χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 256 Ο μικρός χωροβάτης, πριν τη συντήρηση (Μικρός χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 257 Ο μικρός χωροβάτης, μετά τη συντήρηση (Μικρός χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 258 Ο μικρός χωροβάτης, πριν τη συντήρηση (Μικρός χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 259 Ο μικρός χωροβάτης, μετά τη συντήρηση (Μικρός χωροβάτης). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



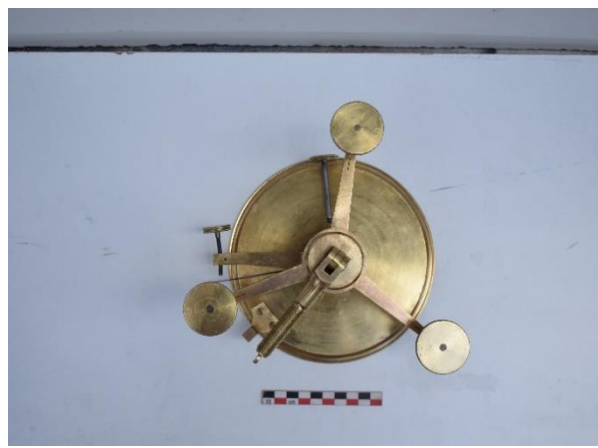
Εικόνα 260 Άνω μέρος οριζόντιου κύκλου, πριν τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 261 Άνω μέρος οριζόντιου κύκλου, πριν τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 262 Οπίσθια όψη τρικοχλίου, πριν τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 263 Οπίσθια όψη τρικοχλίου, μετά τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 264 Σώμα τριχοχλίου, πριν τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 265 Σώμα τριχοχλίου, μετά τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 266 Το τηλεσκόπιο του θεοδόλιχου, πριν τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 267 Το τηλεσκόπιο του θεοδόλιχου, μετά τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 268 Το άγκιστρο, πριν τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



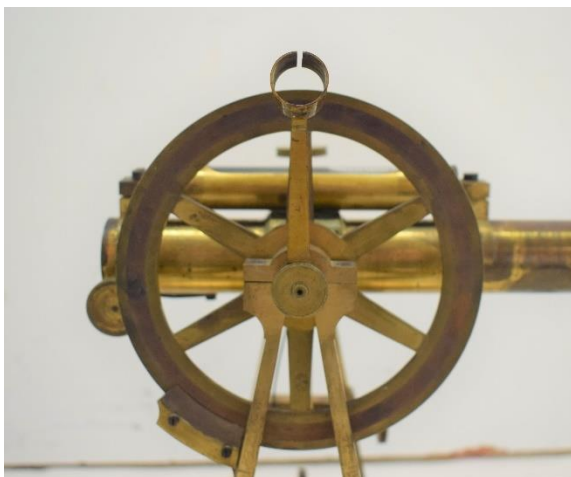
Εικόνα 269 Το άγκιστρο, μετά τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



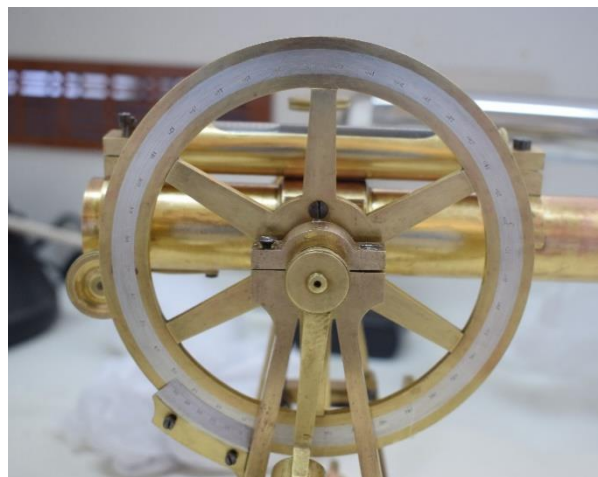
Εικόνα 270 Οι κοχλίες του τρικοχλίου, πριν τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 271 Οι κοχλίες του τρικοχλίου, μετά τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 272 Ο κατακόρυφος κύκλος, πριν τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 273 Ο κατακόρυφος κύκλος, μετά τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).





Εικόνα 274 Άνω μέρος βραχιόνων άντυγα άνω όψη, πριν τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 275 Άνω μέρος βραχιόνων άντυγα άνω όψη, μετά τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 276 Οπίσθια όψη άνω μέρους βραχιόνων άντυγα, πριν τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 277 Οπίσθια όψη άνω μέρους βραχιόνων άντυγα, μετά τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 278 Πλάγια όψη άνω μέρους βραχιόνων άντυγα, πριν τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 279 Πλάγια όψη άνω μέρους βραχιόνων άντυγα, μετά τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



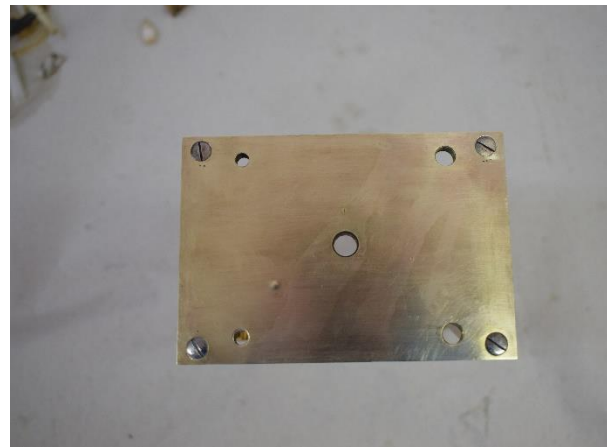
Εικόνα 280 Πλάγια όψη άνω μέρους βραχιόνων άντυγα, πριν τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 281 Πλάγια όψη άνω μέρους βραχιόνων άντυγα, μετά τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 282 Βάση άντυγα, πριν τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 283 Βάση άντυγα, μετά τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 284 Δείκτης θεοδόλιχου, πριν τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 285 Δείκτης θεοδόλιχου, μετά τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 286 Ο δείκτης του θεοδόλιχου, κατά τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



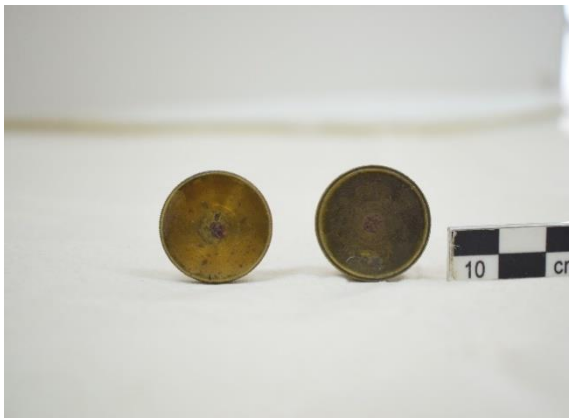
Εικόνα 287 Ο δείκτης του θεοδόλιχου, μετά τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



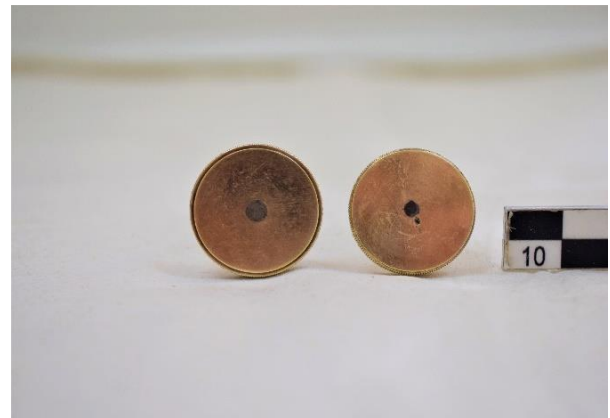
Εικόνα 288 Ο οριζόντιος σφικτικός και ανασταλτικός κοχλίας, πριν τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 289 Ο οριζόντιος σφικτικός και ανασταλτικός κοχλίας, μετά τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 290 Οι κεφαλές του ανασταλτικού και σφικτικού κοχλίας, πριν τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 291 Οι κεφαλές του ανασταλτικού και σφικτικού κοχλίας, μετά τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 292 Ο προσοφθάλμιος φακός του θεοδόλιχου, πριν τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 293 Ο προσοφθάλμιος φακός του θεοδόλιχου, μετά τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 294 Ο προσοφθάλμιος φακός του θεοδόλιχου, πριν τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 295 Ο προσοφθάλμιος φακός του θεοδόλιχου, μετά τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 296 Η εμπρόσθια όψη του προσοφθάλμιου φακού, πριν τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 297 Η εμπρόσθια όψη του προσοφθάλμιου φακού, μετά τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 298 Η εμπρόσθια όψη της σφαιρικής αεροστάθμης, πριν τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 299 Η εμπρόσθια όψη της σφαιρικής αεροστάθμης, μετά τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 300 Η οπίσθια όψη της σφαιρικής αεροστάθμης, πριν τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 301 Η οπίσθια όψη της σφαιρικής αεροστάθμης, μετά τη συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 302 Σωληνωτή αεροστάθμη του τηλεσκοπίου, πριν την συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 303 Σωληνωτή αεροστάθμη του τηλεσκοπίου, μετά την συντήρηση (Θεοδόλιχος). ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

## 8. Αποτίμηση επεμβάσεων:

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει αποτίμηση των μεθόδων που επιλέχθηκαν και πραγματοποιήθηκαν στα τέσσερα επιστημονικά όργανα. Θα αναλυθεί το κατά πόσον ήταν σωστή η επιλογή τους, αν το αποτέλεσμα ήταν ικανοποιητικό, αν ήταν το επιθυμητό και κυρίως αν υπήρξε κάποιο σφάλμα.

### 8.1. Εκτίμηση των επεμβάσεων συντήρησης:

Η διαδικασία της συντήρησης στοχεύει στην αλλαγή της κατάστασης διατήρησης του αντικειμένου ή του περιβάλλοντος του και στοχεύει στη μακροχρόνια διατήρησή του μέσω της διαχείρισης του βαθμού επεμβάσεων και στον περιορισμό ή την αναστολή της δράσης των φθοροποιών παραγόντων. Οι διαδικασίες συντήρησης γίνονται για να διατηρηθεί μια αποδεκτή κατάσταση ή να αναβαθμιστεί μια μη αποδεκτή κατάσταση. Μερικές δραστικές αλλαγές μπορεί να θεωρηθούν αναβάθμιση για ορισμένους, αλλά για άλλους όχι. Ένα στερεωτικό ή επικαλυπτικό επιφάνειας μπορεί όχι μόνο να ενδυναμώσει ή να προστατέψει την υποκείμενη δομή της επιφάνειας, αλλά και να εντείνει το χρώμα και έτσι να θεωρηθεί ως ανάδειξη της επιφάνειας, ενώ από άλλους ως συγκάλυψη της εμφάνισης του αντικειμένου που έχει προκύψει από τη χρήση και τη διάβρωση. Κατά τη λήψη αποφάσεων όσον αφορά τη μεθοδολογία συντήρησης, χρειάζεται να ληφθεί υπόψιν ο βαθμός κατά τον οποίο διαφορετικές μέθοδοι συντήρησης μπορούν να επηρεάσουν τη σπουδαιότητα και τη χρήση (Pye 2007). Συγκεκριμένα, η συντήρηση είναι μια επέμβαση η οποία επηρεάζει άμεσα τα αντικείμενα, αλλάζει την αισθητική, τη χρήση και τη λειτουργία τους. Ειδικά όσον αφορά επιστημονικά όργανα, η λειτουργία τους τροποποιείται μόνιμα. Το γεγονός αυτό θεωρείται αναμενόμενο και η πιθανότητα αλλαγής της κατάστασης διατήρησης του αντικειμένου δεν πρέπει να αποτελεί αποτρεπτικό παράγοντα για τη συντήρηση μιας συλλογής.

Παρόλο που χρησιμοποιήθηκαν ήπια αποξεστικά και χημικά μέσα στις ευαίσθητες επιφάνειες των αντικειμένων, δεν σημειώθηκε περαιτέρω καταπόνησή τους. Αντιθέτως, οι επιφάνειες διατηρήθηκαν καθαρές, εξομαλύνθηκαν οι χρωματικές αλλοιώσεις και αναχαιτίστηκαν όλοι οι μηχανισμοί που προκαλούσαν διάβρωση, με αποτέλεσμα την δημιουργία μίας πλέον υγιούς μεταλλικής επιφάνειας. Για την προστασία αυτής της υγιούς επιφάνειας εφαρμόστηκε επικαλυπτικό, το οποίο ανέδειξε την αισθητική όψη και την ιστορία των αντικειμένων. Με βάση τα προαναφερθέντα, οι μέθοδοι και τα υλικά συντήρησης που επιλέχθηκαν να χρησιμοποιηθούν, έπειτα από τις διάφορες δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν, κρίθηκαν άρτια ως προς το αποτέλεσμα τους.

Οι εργασίες συντήρησης που πραγματοποιήθηκαν κρίθηκαν αρκετά ωφέλιμες για τα αντικείμενα, καθώς βελτιώθηκε η εικόνα τους και η κατάσταση διατήρησής τους. Αποτράπηκε η περαιτέρω φθορά τους από το οξειδωμένο βερνίκι και αναβαθμίστηκε η αισθητική και ιστορική τους αξία.

Παρόλο που το προστατευτικό βερνίκι που εφαρμόστηκε προστατεύει τις συντηρημένες επιφάνειες από την εκ νέου διάβρωση, καλό θα ήταν τα αντικείμενα να είναι προστατευμένα. Θα μπορούσε να επιλεγθεί η διατήρησή τους σε προθήκη με κατάλληλα υλικά, φωτισμό και σταθερή θερμοκρασία και υγρασία, για τη καλύτερη ανάδειξη και προστασία τους. Κρίνεται αναγκαίο να μην έρθουν εκ νέου τα αντικείμενα σε επαφή με γυμνά χέρια και να μην είναι εκτεθειμένα στο εσωτερικό ατμοσφαιρικό περιβάλλον ως διακοσμητικά στοιχεία.



Εικόνα 304 Εμπρόσθια όψη του Θεοδόλιχου, μετά τη συντήρηση, ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης)



Εικόνα 305 Οπίσθια όψη του Θεοδόλιχου, μετά τη συντήρηση, ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης)



Εικόνα 309 Οπίσθια όψη του Μαύρου χωροβάτη, μετά τη συντήρηση, ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης)



Εικόνα 308 Εμπρόσθια όψη του Μαύρου χωροβάτη, μετά τη συντήρηση, ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης)

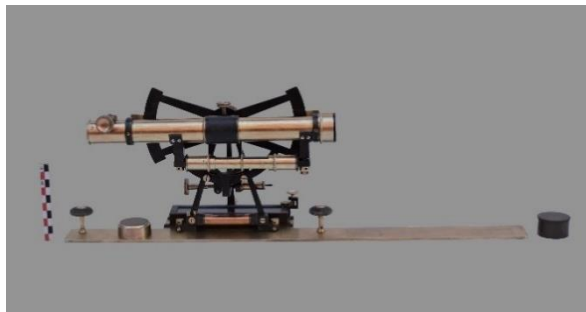




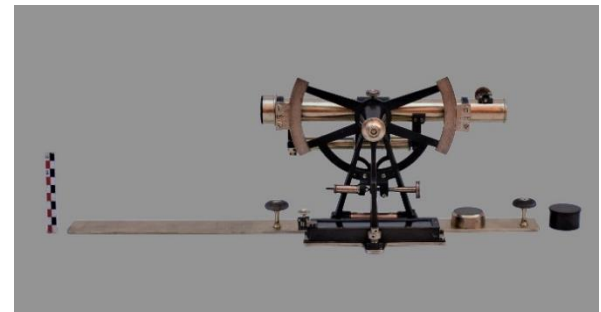
Εικόνα 306 Εμπρόσθια όψη του Μικρού χωροβάτη, μετά τη συντήρηση ,©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης)



Εικόνα 307 Οπίσθια όψη του Μικρού χωροβάτη, μετά τη συντήρηση ,©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης)



Εικόνα 310 Εμπρόσθια όψη της Διόπτρας μετροτράπεζας, ©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).



Εικόνα 311 Οπίσθια όψη της Διόπτρας μετροτράπεζας ,©Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών Αντικειμένων, Πα.Δ.Α. (Ε. Αναμουρλίδου, Α. Σαμπάνης).

## Βιβλιογραφία:

### Ελληνόγλωσση βιβλιογραφία:

1. Βλάχος Δ., (2012), *Όργανα & μέθοδοι μετρήσεων*, Εκδοτικός οίκος Μέλισσα, Αθήνα, σσ. 85-88, 102-103, 113-115, 130, 137, 141, 158, 182-184
2. Brandt K., (2021), Επέτειος 2024 – 150 χρόνια Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο Αθηνών In: Sporn K., Hoffman S και Schulz U. ed., *DAI AtheNea 2020/2021*, Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο Αθηνών, σσ. 9-11
3. Γρηγορόπουλος Δ., (2019), Από το αρχείο των ανασκαφών – Legacy data και διαχείριση δεδομένων της έρευνας In: Γρηγορόπουλος Δ., Hoffman S., Μαραθάκη Ε., Schluz U. ed. και Καίσαρη Β., *DAI AtheNea 2018/2019*, Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο Αθηνών, Αθήνα, σσ. 15-17
4. Δελλαπόρτας Δ., Μανίκας Θ. και Τσούμας Ε., (2011), *Τεχνολογία μηχανολογικών κατασκευών*, Οργανισμός εκδόσεως διδακτικών βιβλίων, Αθήνα, σσ. 403-404
5. Δρίβα Χ., (1963), *Τοπογραφία*, Εκδόσεις Κ. Δανιγγέλη, Αθήνα, σσ. 139-140, 142-143, 158, 176-178, 182-184
6. Eisenberg R.L., (2000). *Εγχειρίδιο κλινικής ακτινολογίας*, Ιατρικές Εκδόσεις Π.Χ. Πασχαλίδης, Αθήνα
7. Κολοβού Π., (2016), *Ίδρυση αστικού δικτύου κατακόρυφου ελέγχου στην κεντρική και δυτική Λεμεσό*, Πτυχιακή εργασία (Eds : Χ. Δανέζης), Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής, Λεμεσός, σσ. 19-20
8. Kotsanas K., (2022), Kotsanas museum of ancient Greek technology, Η διόπτρα του Ήρωνος, <[http://kotsanas.com/exh.php?exhibit=130\\_1002](http://kotsanas.com/exh.php?exhibit=130_1002)>, (Πρόσβαση 17 Φεβρουαρίου 2022)
9. Κουή, Μ. και Λυμπεροπούλου Θ., (2019), *Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης με φασματόμετρο ενεργειακής διασποράς ακτινών-Χ (Scanning electron microscope with energy dispersive X-ray spectrometer (SEM-EDAX))*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
10. Λούκα Γ. και Πατσαλοσαββής Δ., (2008), *Μελέτη και κατασκευή μοντέλου χύτευσης*, Πτυχιακή εργασία (Eds: Α. Μάρκου), Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Σερρών, σσ.8-9
11. Λυριτζής Ι., (2007), *Φυσικές επιστήμες στην αρχαιολογία*, τυπωθήτω-Γιώργος Δαρδάνος, Αθήνα, σσ. 206-212
12. Λυρώνης Α., (2011), *Οπτική εποπτεία για τον εντοπισμό χωρικών χαρακτηριστικών σε μνημεία*, Διπλωματική εργασία (Eds: Μ. Ζερβάκης και Α. Αντωνιάδης), Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, σσ.10-15
13. Μαυροκορδάτου Α. Ν., (1888), *Στρατιωτική τοπογραφία*, Καρόλου Μπεκ, Αθήνα, σσ. 297

14. Μπαλοδήμος Δ., Λάμπρου Ε. και Πανταζής Γ., (χ. η.), *Η εξέλιξη των επίγειων συμβατικών γεωδαιτικών οργάνων τον 20<sup>ο</sup> αιώνα στην Ελλάδα*, Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, σσ. 1-24
15. Παναγιωτόπουλος Ε. και Καριώτης Γ., (2001), *Τοπογραφία Ι*, Τμήμα Γεωπληροφορικής και Τοπογραφίας, Τ.Ε.Ι. Σερρών, Σέρρες, σσ. 25-34
16. Πετροπούλου Π. Γ., (1994), *Μηχανουργική τεχνολογία εργαστήριο ΙΙ*, Τεύχος Α, Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα, σσ. 1-3, 7-9
17. Πίτρης Κ., (2009), *Βασικές οδηγίες κασσιτεροκόλλησης*, Πανεπιστήμιο Κύπρου Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Λευκωσία
18. Σούτης Σ., (2006), *Συγκολλήσεις χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος: Χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος, υλικό και μόρφωση*, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα, σ. 3
19. Sporn K., (2018), Το Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο Αθηνών εξέλιξη και σημασία In: Sporn K. ed. και Μπιλή Θ., *Το Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο Αθηνών: Αρχιτεκτονική και ιστορία*, Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο Αθηνών, Αθήνα, σσ. 6-7
20. Στεργιάδη Γ. Χ., (1984), *Τοπογραφία*, Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη, σσ. 96-100, 118-119, 130-131

#### Ξενόγλωσση βιβλιογραφία:

21. Avram D., Bratosin I. and Ilie D., (2016), Surveying Theodolite Between Past and Future, *Journal of Young Scientist*, **IV**: 129-134
22. Ammen C. W., (1979), *The complete handbook of sand casting: first edition*, Tab books, U.S.A., pp. 15-20
23. Barclay R. L., Dignard C. and Selwyn L., (2020), Caring for metal objects, Canadian Conservation Institute, Ottawa, pp. 44-45, 50, 73
24. Cambridge Dictionary, (2022), *Shellac*, Cambridge University Press, [shellac | meaning in the Cambridge English Dictionary](#), (Accessed 10 July 2022)
25. Canevali C., Fasoli M., Bertasa M., Botteon A., Colombo A., Di Tullio V., Capitani D., Proietti N., Scalarone D. and Sansonetti A., (2016), A multi-analytical approach for the study of copper stain removal by agar gels, *Microchemical Journal*, **129**: 249-258
26. Caple C. and Garlick V., (2018), Identification and valuation of archaeological artefacts: developments using digital X-radiography, *Journal of the Institute of Conservation*, **41**: 2, 128-141
27. Copper Development Association Inc., (1994), *Copper casting alloys*, Copper Development Association Inc., New York, p. 93
28. Deck C., (2016), *The care and preservation of historical brass and bronze*, The Henry Ford, Dearborn, pp.1-11

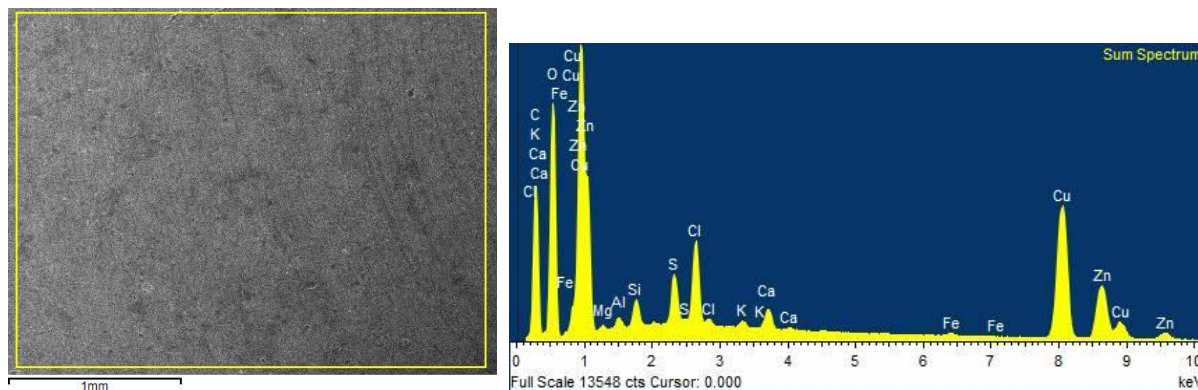
29. Giannoulaki M., Argyropoulos V., Panou Th., Moundrea-Agrafioti A. and Themelis P., (2005), The feasibility of using portable X-ray radiography for the examination of the technology and the condition of a metals collection housed in the museum of Ancient Messene, Greece, *e-Journal of Science & Technology (e-JST)*, 48-63
30. Giraud T., Gomez A., Lemoine S., Pele-Meziani C., Raimon A. and Guilminot E., (2021), Use of gels for the cleaning of archaeological metals. Case study of silver-plated copper alloy coins, *Journal of Cultural Heritage*, **52**: 73-83
31. Goidanich S., Brunk J., Herting G., Arenas M. A. and Odnevall Wallinder I., (2011), Atmospheric corrosion of brass in outdoor applications: Patina evolution, metal release and aesthetic appearance at urban exposure conditions, *Science of the Total Environment*, **412-413**: 46-57
32. Heimatverein Grevenbruck eV, (2022), *exhibit of the month July 2010*, Available at: <http://www.heimatverein-grevenbrueck.de/Archive/243>, (Accessed: 21 January 2022)
33. Jones D. M., (2006), *Guidelines on the X-radiography of archaeological metalwork*, English Heritage Publications, Swindon, pp.6-14
34. Keene S., (2000), Instruments of history: appearance and evidence, In : *Proceedings of the workshop held in Florence, on The restoration of scientific instruments*, Florence 1998, 57-67
35. Khan M. A. A., Sheikh A. K. and Al-Shaer B. S., (2017), *Evolution of metal casting technologies: A historical perspective*, Springer, Cham, p. 8
36. Khoshhesab Z. M., (2012), Reflectance IR Spectroscopy In: Theophanides T. ed., *Infrared Spectroscopy – Materials Science, Engineering and Technology*, InTech, pp. 233-234,
37. Kuhn H., (1989), The restoration of historic technological artefacts, scientific instruments and tools, *The International Journal of Museum Management and Curatorship*, **8**: 389-405
38. Lemos M. and Tissot I., (2020), Reflections on the conservation challenges of scientific and technological objects, *Conervar Patrimnio*, **33**: 24-33
39. Lind S. E., (1972), Corrosion of metals by human sweat and its prevention, *Corrosion Science*, **12**: 749-755
40. Michels H. T., (2006), *Copper and the Skin: Copper and Copper Alloys*, informa healthcare, New York, pp.2-6
41. Met Turner and Gerard L'E., (2000), *Elizabethan Instrument Makers: The Origins of the London Trade in Precision Instrument Making*, Oxford University Press, ISBN 978-0-19-856566-6
42. Nadolinets L., Levin E. and Akhmedov D., (2017), Theodolites, *Surveying Instruments and Technology*, **3**: 43-78
43. Newey H., (2000), Conservation and the preservation of scientific and industrial collections, *Studies in Conservation*, **45**: 137-139

44. Passaretti A., Cuvillier L., Sciutto G., Guilminot E. and Joseph E., (2021), Biologically derived gels for the cleaning of historical and artistic metal heritage, *Applied Sciences*, **11**, **3405**: 3-5
45. Pye E., (2007), *Caring for the past: Issues in conservation for archaeology and museums*, James & James (Science Publishers) Ltd., London, pp. 121-123
46. Read O. and Welch L.W., (1976), *From tin foil to stereo: Evolution of the phonograph*, Howard W. Sams, Johannesburg
47. Remmert E., *Georg Butenschon-Feinmechanik und Optik in Hamburg-Bahrenfeld*, Georg Butenschon Hamburg-Bahrenfeld, pp.1-10
48. Rickett B. I. and Payer J. H., (1995), Composition of copper tarnish products formed in moist air with trace levels of pollutant gas: Sulfur dioxide and sulfur dioxide/nitrogen dioxide, *Journal of the electrochemical society*, **142**: 3713-3722
49. Salas V. B., Wiener S. M., Koytchev Z. R., Badilla L. G., Irigoyen R. R., Beltran C. M., Nedev R. N., Alvarez C. M., Gonzalez R. N. and Rull B. J. M., (2013), Copper corrosion by atmospheric pollutants in the electronics industry, *ISRN Corrosion*, **2013**: 1-7
50. Schaffer S., (2011), Easily cracked: scientific instruments in states of disrepair, *Isis*, **Vol. 102 No. 4**: 706-717
51. Schweitzer, P., A., (2010). *Fundamentals of Corrosion Mechanisms, Causes, and Preventative Methods*. Taylor and Francis Group, LLC, United States of America, pp. 77, 88-89, 101
52. Scott D. A., (2002), *Copper and bronze in art: corrosion, colorants, conservation*, The Getty Conservation Institute, Los Angeles, pp. 10, 323, 382, 388, 398
53. Selwyn L., (2004), *Metals and corrosion: a handbook for the conservation professional*, Canadian Conservation Institute, Ottawa, pp. 35-37, 62-63, 101-102
54. Selvaraj S., Ponmariappan S., Natesan M. and Palaniswamy N., (2003), Dezincification of Brass and its Control-An Overview, *Corrosion Reviews*, **Vol. 21 No. 1**: 41-74
55. Silver and Brass Music Shop, (n. d.), *Damaged Lacquer & Red Rot/ Dezincification*, <https://www.silverandbrassmusic.com/damaged-lacquer--red-rot-dezincification.html#>, (Accessed: 7 July 2022)
56. Smithsonian, Telescopic Alidade, National Museum of American History, [https://www.si.edu/object/telescopic-alidade%3Anmah\\_764363](https://www.si.edu/object/telescopic-alidade%3Anmah_764363), (Accessed: 19 January 2022)
57. South Bend Lathe Works, (1936), *How to cut screw threads on the lathe*, South Bend Lathe Works, South Bend, pp. 1, 7-9
58. Stanley W.F., (1890), *Surveying and levelling instruments*, E. & F. Spon Publisher, London, pp. 190-196, 210-218, 232

59. Stulik D., Miller D., Khanjian H., Khandekar N., Wolbers R., Carlson J. and Petersen C., (2004), *Solvent gels for the cleaning of works of art: The residue question* (Eds: V. Dorge), Research in conservation, The Getty Conservation Institute, Los Angeles, pp. 5-6
60. Thombare N., Kumar S., Kumari U., Sakare P., Kumar Yogi R., Prasad N., Sharma K.K., (2022), Shellac as a multifunctional biopolymer: A review on properties, applications and future potential, *International Journal of Biological Macromolecules*, Volume 215, 31 August 2022, Pages 203-223
61. Thyer N., (1961), Double theodolite pibal evaluation by computer, *Journal of Applied Meteorology*, **1**: 66-68
62. Turner-Walker G., (2008), *A practical guide to the care and conservation of metals*, Xi Wang Art and Design Agency, Taipei, pp. 23-25
63. Walter L. D. and Walter J., (1842), *Improvement in the machine for making screws, bolts, pins and rivets*, United States Patent Office, Washington D. C., p.1
64. Wainwright D. B., (1915), *Surveying a plane table manual*, Washington government printing office, Washington, pp. 297-298
65. Webb M., (2000), *Lacquer technology and conservation*, Butterworth Heine-  
mann, China, pp. 54, 57-58
66. Wilson H. M., (1902), *Topographic surveying*, John Wiley & Sons, London, pp. 157-159
67. Yates R. F., (1922), *Lathe work for beginners*, The Norman W. Henley publishing company, New York, pp. 103-106, 112-113, 146-150
68. Zhou P., Hutchison M.J., Erning J.W., Scully J.R. and Ogle K., (2017), An in situ kinetic study of brass dezincification and corrosion, *Journal of Electrochimica Acta*, **229**: 141-154

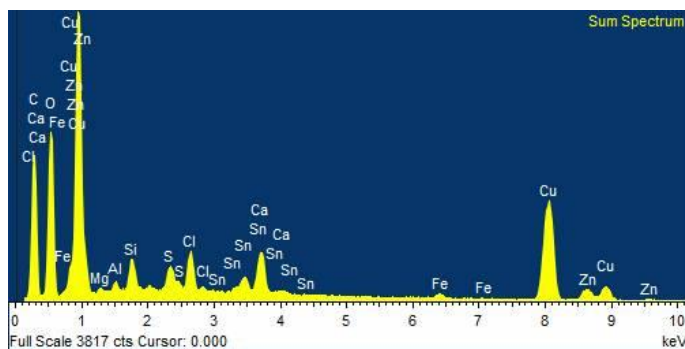
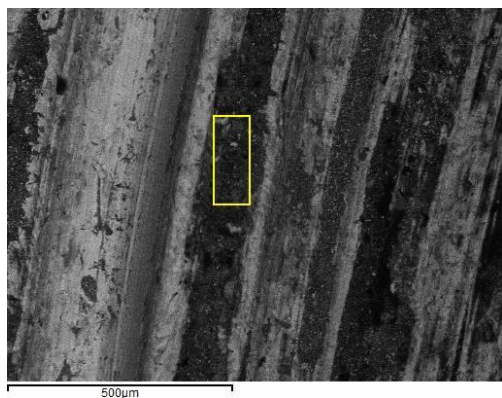
## Παράρτημα αναλύσεων

### Δείγμα 1 (AL1):



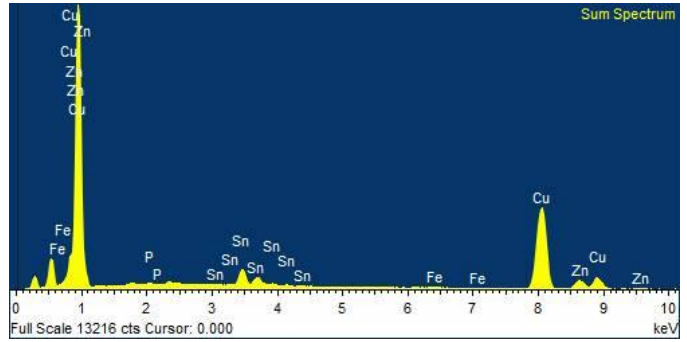
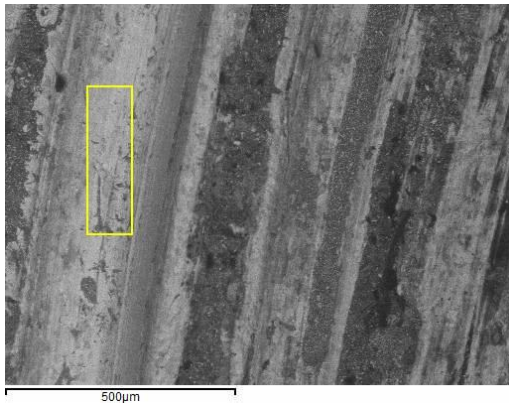
Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
C K	84.66	0.3926	28.17	0.53	48.12
O K	150.68	0.7027	28.01	0.25	35.91
Mg K	0.93	0.4461	0.27	0.03	0.23
Al K	1.39	0.5638	0.32	0.02	0.25
Si K	4.03	0.6821	0.77	0.02	0.56
S K	9.23	0.8478	1.42	0.03	0.91
Cl K	15.87	0.7668	2.70	0.04	1.56
K K	1.83	1.0432	0.23	0.02	0.12
Ca K	5.49	1.0082	0.71	0.02	0.36
Fe K	1.42	0.9805	0.19	0.03	0.07
Cu K	159.30	0.8331	24.98	0.22	8.06
Zn K	77.76	0.8313	12.22	0.14	3.83
Totals			100.00		

**Δείγμα 2 (AL2):**



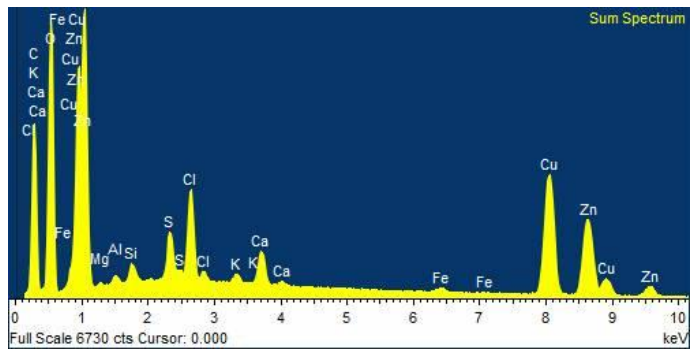
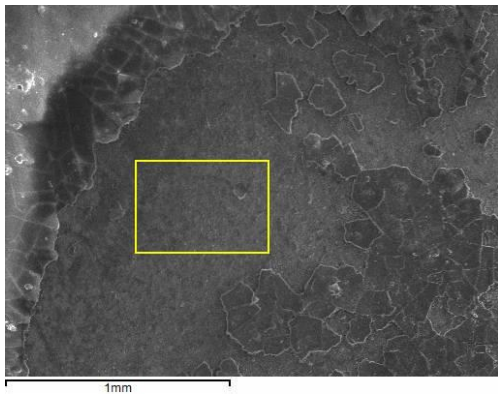
Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
C K	155.28	0.5004	34.98	0.49	54.02
O K	162.31	0.6158	29.71	0.39	34.45
Mg K	0.99	0.4992	0.22	0.05	0.17
Al K	1.82	0.6183	0.33	0.04	0.23
Si K	6.95	0.7313	1.07	0.05	0.71
S K	4.97	0.8740	0.64	0.05	0.37
Cl K	11.69	0.7861	1.68	0.05	0.88
Ca K	14.37	1.0103	1.60	0.06	0.74
Fe K	4.15	0.9348	0.50	0.06	0.17
Cu K	175.87	0.8130	24.38	0.30	7.12
Zn K	21.92	0.8109	3.05	0.17	0.86
Sn L	12.88	0.7913	1.83	0.12	0.29
Totals			100.00		





Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Cornn.		Sigma	
C K	43.63	0.3831	13.61	0.44	36.83
O K	86.68	0.7722	13.42	0.28	27.26
P K	2.99	0.9658	0.37	0.05	0.39
Fe K	4.19	1.0839	0.46	0.06	0.27
Cu K	452.37	0.9195	58.81	0.42	30.08
Zn K	52.65	0.9211	6.83	0.22	3.40
Sn L	44.99	0.8291	6.49	0.15	1.78
Totals			100.00		

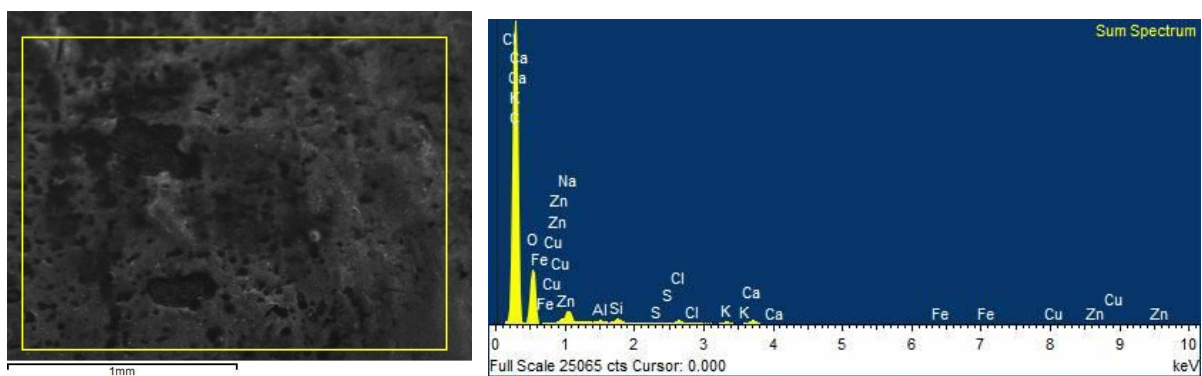
**Δείγμα 3 (LB1):**



Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Cornn.		Sigma	

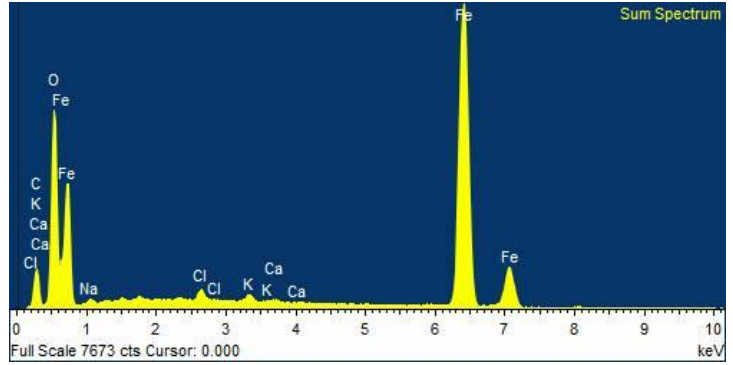
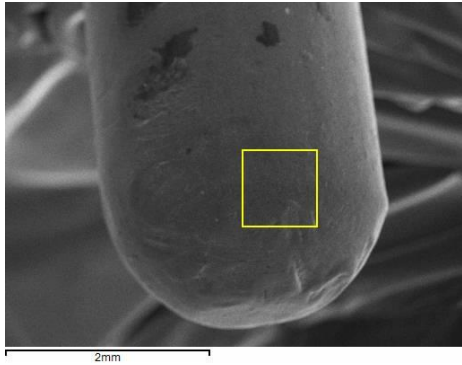
C K	92.50	0.4011	27.79	0.69	47.22
O K	171.40	0.7032	29.37	0.34	37.46
Mg K	0.73	0.4441	0.20	0.03	0.17
Al K	1.15	0.5621	0.25	0.03	0.19
Si K	2.53	0.6809	0.45	0.03	0.33
S K	8.19	0.8488	1.16	0.03	0.74
Cl K	17.06	0.7689	2.67	0.05	1.54
K K	2.35	1.0446	0.27	0.02	0.14
Ca K	9.12	1.0080	1.09	0.03	0.56
Fe K	2.60	0.9719	0.32	0.04	0.12
Cu K	141.21	0.8314	20.47	0.24	6.57
Zn K	109.87	0.8296	15.96	0.22	4.98
Totals			100.00		

**Δείγμα 4 (LS1):**

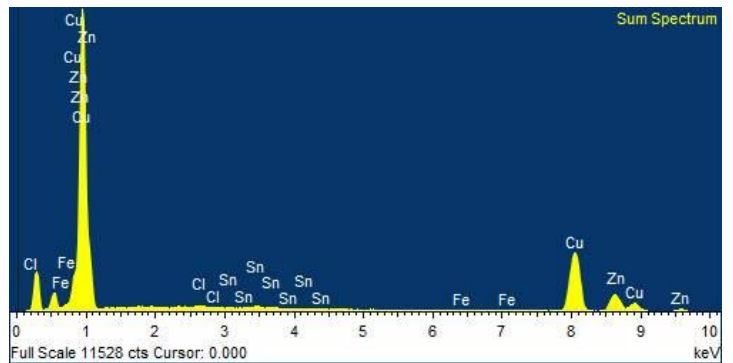
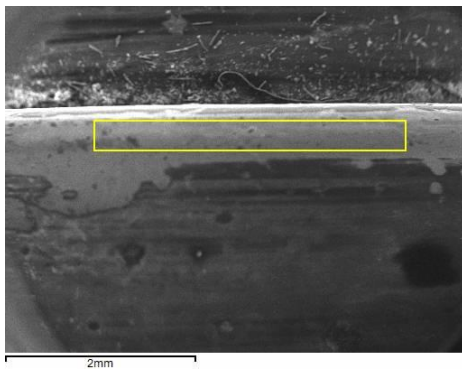


Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
C K	697.58	1.1914	62.94	0.34	70.57
O K	137.99	0.4434	33.45	0.32	28.16
Na K	5.21	0.8044	0.70	0.05	0.41
Al K	1.09	0.8361	0.14	0.01	0.07
Si K	2.11	0.9085	0.25	0.02	0.12
S K	0.63	0.9556	0.07	0.01	0.03

Cl K	2.07	0.8243	0.27	0.02	0.10
K K	2.05	1.0432	0.21	0.01	0.07
Ca K	3.86	0.9758	0.43	0.02	0.14
Fe K	0.57	0.7932	0.08	0.02	0.02
Cu K	4.32	0.7421	0.63	0.04	0.13
Zn K	5.75	0.7379	0.84	0.05	0.17
Totals			100.00		



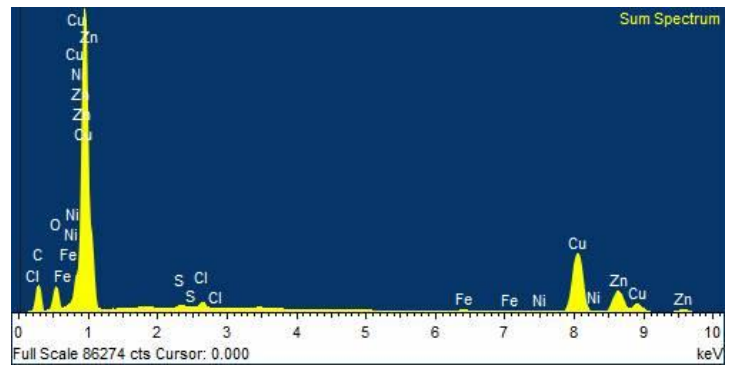
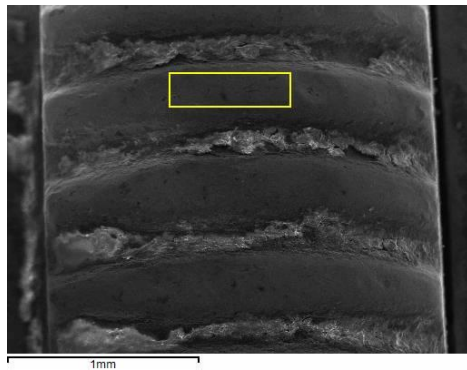
Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Cornn.		Sigma	
C K	33.12	0.4969	10.38	0.86	23.14
O K	220.17	1.2367	27.73	0.36	46.40
Na K	1.92	0.4252	0.70	0.09	0.82
Cl K	3.79	0.8090	0.73	0.04	0.55
K K	3.28	1.1218	0.46	0.04	0.31
Ca K	1.31	1.0919	0.19	0.04	0.12
Fe K	349.06	0.9093	59.81	0.62	28.66
Totals			100.00		



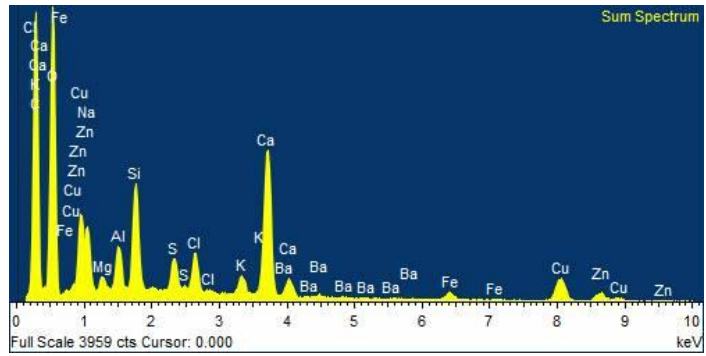
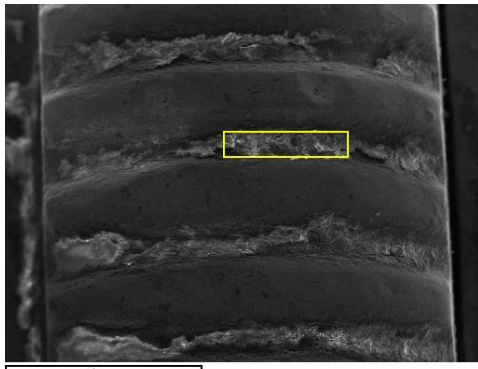
Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Cornn.		Sigma	
Cl K	1.45	0.7202	0.53	0.09	0.95
Fe K	2.14	1.2226	0.46	0.10	0.53

Cu K	276.39	0.9983	72.56	0.45	73.29
Zn K	94.71	1.0018	24.78	0.42	24.33
Sn L	5.34	0.8372	1.67	0.20	0.90
Totals			100.00		

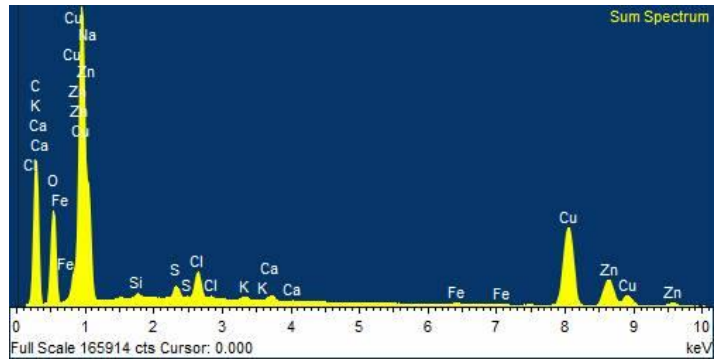
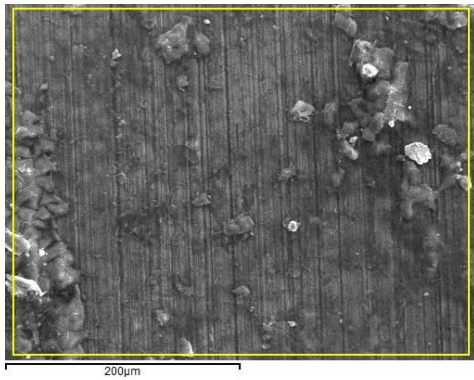
**Δείγμα 5 (TH1):**



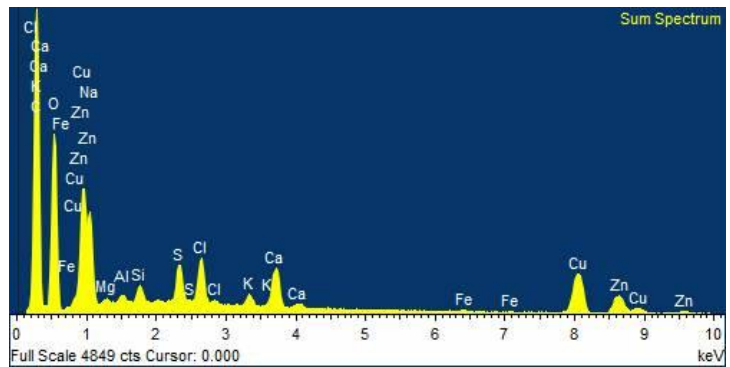
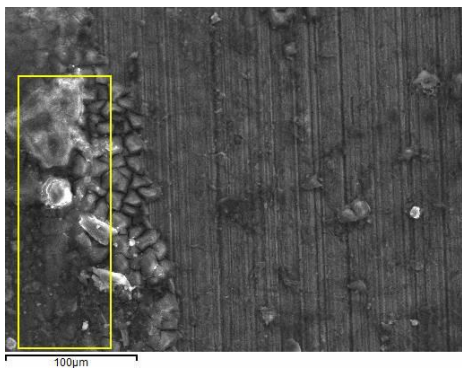
Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
C K	117.56	0.3774	27.45	0.21	58.09
O K	87.65	0.7219	10.70	0.11	17.00
S K	2.13	0.8013	0.23	0.02	0.19
Cl K	6.92	0.7511	0.81	0.02	0.58
Fe K	5.48	1.0830	0.45	0.02	0.20
Ni K	2.82	1.0277	0.24	0.03	0.10
Cu K	418.09	0.8821	41.77	0.16	16.71
Zn K	183.51	0.8811	18.35	0.11	7.14
Totals			100.00		



Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
C K	195.61	0.6133	35.76	0.76	47.93
O K	218.54	0.5663	43.27	0.58	43.54
Na K	6.51	0.6928	1.05	0.10	0.74
Mg K	2.39	0.6371	0.42	0.04	0.28
Al K	7.33	0.7480	1.10	0.04	0.66
Si K	19.48	0.8329	2.62	0.06	1.50
S K	7.16	0.9119	0.88	0.04	0.44
Cl K	8.90	0.8013	1.25	0.04	0.57
K K	5.90	1.0518	0.63	0.03	0.26
Ca K	48.44	0.9836	5.52	0.09	2.22
Fe K	5.17	0.8259	0.70	0.05	0.20
Cu K	31.04	0.7711	4.51	0.13	1.14
Zn K	13.25	0.7684	1.93	0.12	0.48
Ba L	2.37	0.7729	0.34	0.07	0.04
Totals			100.00		



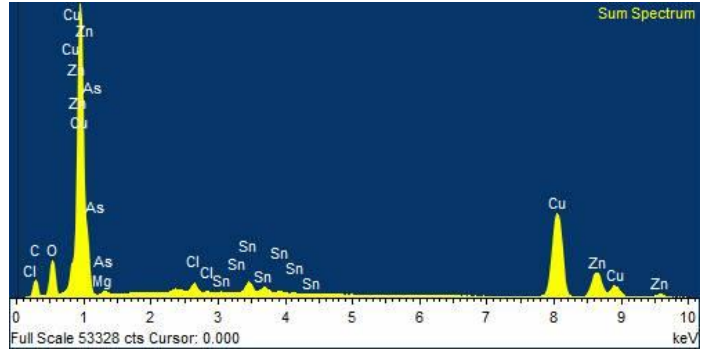
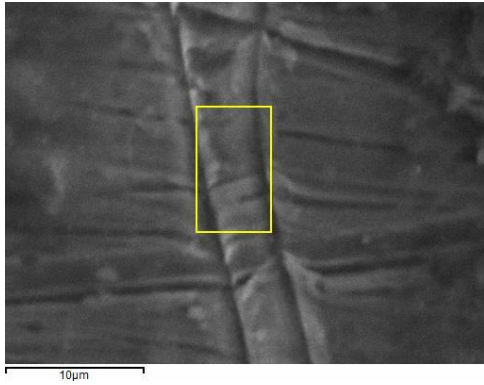
Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
C K	230.33	0.4675	38.62	0.17	61.10
O K	170.30	0.6198	21.54	0.08	25.58
Na K	10.41	0.5332	1.53	0.04	1.26
Si K	2.02	0.6942	0.23	0.01	0.15
S K	6.15	0.8557	0.56	0.01	0.33
Cl K	14.13	0.7755	1.43	0.01	0.77
K K	2.54	1.0509	0.19	0.01	0.09
Ca K	3.96	1.0116	0.31	0.01	0.15
Fe K	2.19	0.9833	0.17	0.01	0.06
Cu K	262.52	0.8230	25.00	0.08	7.48
Zn K	109.16	0.8207	10.42	0.05	3.03
Totals			100.00		



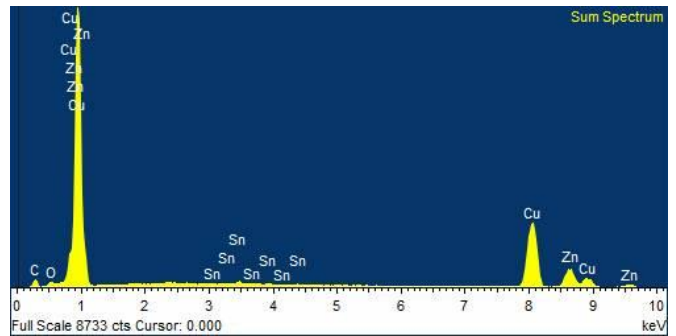
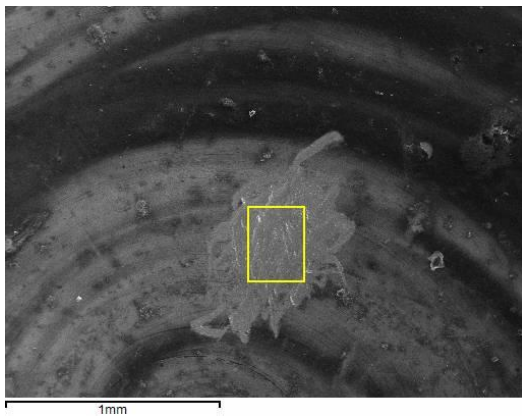
Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
C K	251.25	0.5969	45.29	0.72	60.14
O K	163.64	0.5392	32.66	0.50	32.55
Na K	7.61	0.6588	1.24	0.12	0.86
Mg K	0.86	0.5840	0.16	0.04	0.10
Al K	1.46	0.7004	0.22	0.03	0.13
Si K	3.80	0.8018	0.51	0.03	0.29
S K	10.15	0.9102	1.20	0.04	0.60
Cl K	12.46	0.7975	1.68	0.05	0.76
K K	4.55	1.0426	0.47	0.03	0.19
Ca K	15.89	0.9867	1.73	0.05	0.69
Fe K	1.39	0.8752	0.17	0.04	0.05
Cu K	68.10	0.7788	9.41	0.19	2.36
Zn K	37.86	0.7757	5.25	0.17	1.28
Totals			100.00		



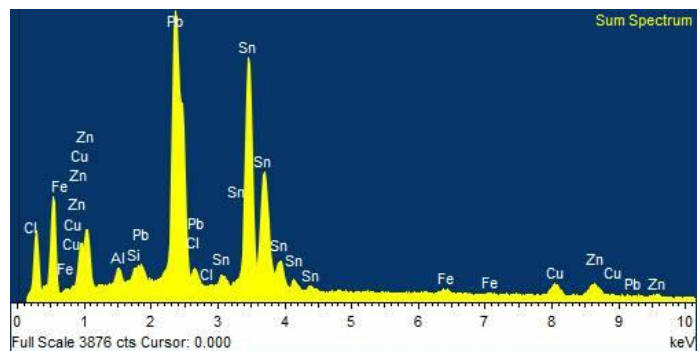
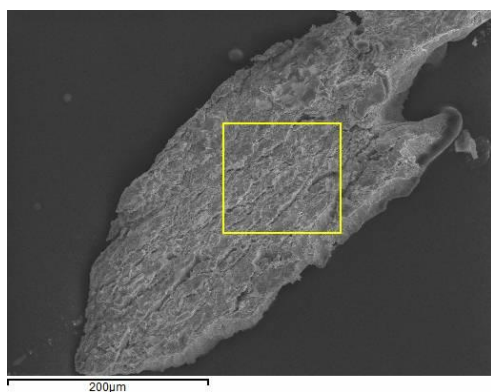
**Δείγμα 6 (TH2):**



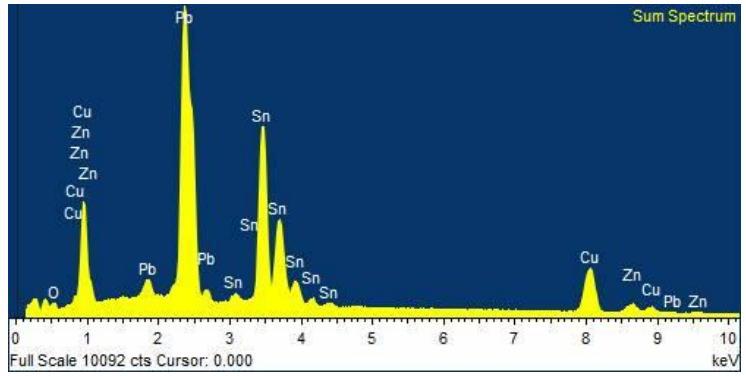
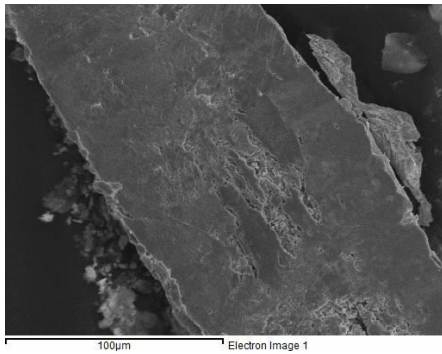
Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corn.		Sigma	
C K	39.60	0.3526	15.53	0.24	40.51
O K	71.50	0.7862	12.57	0.12	24.63
Mg K	0.30	0.3467	0.12	0.04	0.15
Cl K	5.57	0.7469	1.03	0.02	0.91
Cu K	323.32	0.9145	48.88	0.19	24.11
Zn K	114.30	0.9153	17.26	0.13	8.28
As L	4.64	0.5082	1.26	0.07	0.53
Sn L	19.78	0.8183	3.34	0.06	0.88
Totals			100.00		



Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corn.		Sigma	
C K	21.27	0.3251	12.66	0.68	42.18
O K	8.25	0.8423	1.90	0.25	4.74
Cu K	309.19	0.9517	62.88	0.64	39.60
Zn K	105.19	0.9534	21.36	0.42	13.07
Sn L	5.16	0.8278	1.21	0.16	0.41
Totals			100.00		



Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corn.		Sigma	
Al K	2.08	0.6632	0.98	0.08	4.45
Si K	1.72	0.8069	0.67	0.08	2.91
Cl K	1.57	0.6851	0.72	0.11	2.47
Fe K	2.34	1.0396	0.71	0.12	1.54
Cu K	12.13	1.0968	3.47	0.21	6.66
Zn K	16.78	1.1215	4.70	0.26	8.76
Sn L	123.16	0.8069	47.93	0.40	49.21
Pb M	118.79	0.9139	40.82	0.41	24.01
Totals			100.00		



Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
O K	5.23	0.4197	2.52	0.30	16.72
Cu K	72.14	1.0918	13.36	0.17	22.34
Zn K	16.85	1.1143	3.06	0.15	4.97
Sn L	147.15	0.7904	37.64	0.25	33.70
Pb M	194.21	0.9041	43.43	0.28	22.27
Totals			100.00		

## Ευρετήριο εικόνων και σχεδίων

Αριθμός Εικόνας	Προέλευση
1	©Αρχείο Γ.Α.Ι., D-DAI-ATH-2019-00028
2	©Αρχείο Γ.Α.Ι., D-DAI-ATH-2019-00042
3	©Αρχείο Γ.Α.Ι., D-DAI-ATH-2019-00001
4	©Αρχείο Γ.Α.Ι., D-DAI-ATH-2019-00021
5	©Αρχείο Γ.Α.Ι., D-DAI-ATH-2019-00003
6	©Αρχείο Γ.Α.Ι., D-DAI-ATH-2019-00017
7	©Αρχείο Γ.Α.Ι., D-DAI-ATH-2019-00018
8	©Αρχείο Γ.Α.Ι., D-DAI-ATH-2019-00007
9	©Αρχείο Γ.Α.Ι., D-DAI-ATH-2019-00015
10	©Αρχείο Γ.Α.Ι., D-DAI-ATH-2019-00011
11	©Αρχείο Γ.Α.Ι., D-DAI-ATH-2019-00023
12	©Αρχείο Γ.Α.Ι., D-DAI-ATH-2019-00023
13	©Αρχείο Γ.Α.Ι., D-DAI-ATH-2019-00019
14	©Αρχείο Γ.Α.Ι., D-DAI-ATH-2019-00034
15	©Αρχείο Γ.Α.Ι., D-DAI-ATH-2019-00035
16	©Αρχείο Γ.Α.Ι., D-DAI-ATH-2019-00014
17	©Αρχείο Γ.Α.Ι., D-DAI-ATH-2019-00026
18	©Αρχείο Γ.Α.Ι., D-DAI-ATH-TROJA-0181_2109741
19	©Αρχείο Γ.Α.Ι., D-DAI-ATH-1973-1141
20	©Paul Kunkel 2012, <a href="http://whistleralley.com/surveying/the_oorror/">http://whistleralley.com/surveying/the_oorror/</a>
21	©Kostas Kotsanas 2022
23	<a href="https://www.brainkart.com/article/Vernier-Theodolite_4632/">https://www.brainkart.com/article/Vernier-Theodolite_4632/</a>
25	©CIVIL ENGG. TIPS, 2020, <a href="https://civiltips98.blogspot.com/2020/03/verious-part-of-transit-theodolite.html">https://civiltips98.blogspot.com/2020/03/verious-part-of-transit-theodolite.html</a>
42	©Stanley 1890
47	©Stanley 1890
50	© Heimatverein Grevenbruck eV (2022) <a href="http://www.heimatverein-greven-brueck.de/Archive/243">http://www.heimatverein-greven-brueck.de/Archive/243</a>
52	©Heer ND
58	©Copper Development Association Inc. 1994
60	©Δελλαπόρτας κ.ά. 2011
61	©Thombare N. et al 2022
62	©Thombare N. et al 2022
63	©Thombare N. et al 2022
64	©Thombare N. et al 2022
81	©Κυριακίδης κ.ά. 2014
84	©Khoshhesab 2012
85	©Khoshhesab 2012
108	©Barclay et al 2020

<b>109</b>	©Barclay et al 2020
<b>113</b>	©Silver and Brass Music Shop 2022
<b>114</b>	©Silver and Brass Music Shop 2022
<b>115</b>	©Silver and Brass Music Shop 2022

<b>Αριθμός Σχεδίου</b>	<b>Προέλευση</b>
<b>1</b>	© Stanley 1890
<b>2</b>	© Stanley 1890
<b>3</b>	© Stanley 1890
<b>4</b>	© Yates 1922
<b>5</b>	© Πετροπούλου 1994
<b>6</b>	©South Bend Lathe Works 1936
<b>8</b>	© Yates 1922

## Υλικά και προμηθευτές

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την τέλεση των εργασιών συντήρησης προέρχονται από τους ακόλουθους προμηθευτές:

Προϊόν	Προμηθευτής	Λεπτομέρειες
Αιθανόλη	ACRÖS ORGANICS	<a href="http://www.acros.com/">www.acros.com/</a>
Ακετόνη	ΕΞΑΙΡΕΤΟΝ	<a href="http://www.exaireton.com/mainsite/">www.exaireton.com/mainsite/</a>
Κιτρικό τριαμμώνιο	IN SITU	<a href="http://www.insituconservation.com/products">www.insituconservation.com/products</a>
Μυρμηκικό οξύ	Riedel-de Haën	<a href="http://www.lab-honeywell.com/products/brands/riedeldehaen/">www.lab-honeywell.com/products/brands/riedeldehaen/</a>
Ανθρακικό ασβέστιο	IN SITU	<a href="http://www.insituconservation.com/products">www.insituconservation.com/products</a>
Paraloid B-72	ΕΞΑΙΡΕΤΟΝ	<a href="http://www.exaireton.com/mainsite/">www.exaireton.com/mainsite/</a>
Βενζυλική αλκοόλη	PENTA	<a href="https://www.pentachemicals.eu/en/">https://www.pentachemicals.eu/en/</a>
Κιτρικό οξύ	IN SITU	<a href="http://www.insituconservation.com/products">www.insituconservation.com/products</a>
Τολουόλιο	KREMER	<a href="https://www.kremer-pigmente.com">https://www.kremer-pigmente.com</a>
Renaissance micro-crystalline wax polish	ΕΞΑΙΡΕΤΟΝ	<a href="http://www.exaireton.com/mainsite/">www.exaireton.com/mainsite/</a>
Σύρμα ψιλό N.12	AB Βασιλόπουλος	<a href="https://www.ab.gr/eshop">https://www.ab.gr/eshop</a>
Μάσκες προστασίας	3M	<a href="http://www.3mhellas.gr/3M/el_GR/company-gr/">www.3mhellas.gr/3M/el_GR/company-gr/</a>
Προστατευτικά Γάντια	SUPERMAX	<a href="http://www.supermax.com.my/">www.supermax.com.my/</a>
Εργαστηριακή ρόμπτα	KYBOΣ	<a href="https://kyvosnet.gr">https://kyvosnet.gr</a>

## Ασφάλεια και υγεία

Καθ' όλη την διάρκεια των εργασιών συντήρησης χρησιμοποιήθηκαν διάφορα χημικά και αντιδραστήρια, όπου η έκθεση σε αυτά μπορεί να προκαλέσει προβλήματα. Για αυτό λήφθηκαν διάφορα μέτρα ατομικής ασφαλείας. Παραδείγματα επιπτώσεων είναι οι σοβαροί οφθαλμικοί ερεθισμοί (πχ αιθανόλη), η ζάλη (πχ ακετόνη), η ξηρότητα και ο ερεθισμός του δέρματος, ο ερεθισμός του αναπνευστικού συστήματος, κτλ. Έτσι, απαραίτητη ήταν η χρήση προστατευτικών γαντιών, μάσκας, προστατευτικών γυαλιών και εργαστηριακής ρόμπτας, καθ' όλη την διάρκεια των εργασιών. Επιπλέον, φροντίζαμε ο χώρος να αερίζεται επαρκώς, να πλένουμε σχολαστικά τα χέρια, να χρησιμοποιούμε τον απαγωγό όπου κρινόταν αναγκαίο, καθώς και να μην τρώμε ή πίνουμε, κατά την διάρκεια χρήσης των χημικών. Αν συνέβαινε οποιοδήποτε ατύχημα και κάποιο χημικό ερχόταν σε επαφή με τα μάτια ή το δέρμα υπήρχε στον χώρο ειδική μονάδα παροχής νερού για τέτοιες περιπτώσεις, η οποία προσφέρει τη δυνατότητα για σχολαστικό πλύσιμο των επιμολυσμένων περιοχών.

