

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΥΛΙΚΩΝ**

**ΜΕΛΕΤΗ ΑΡΧΑΙΩΝ ΥΑΛΩΝ ΚΑΙ ΕΦΥΑΛΩΜΑΤΩΝ
ΤΟΥ ΕΛΛΑΔΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ**

ΑΡΤΕΜΙΟΣ ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΙΩΑΝΝΙΝΑ 2012

Η έγκριση της διδακτορικής διατριβής από το Τμήμα Μηχανικών Επιστήμης των Υλικών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων δεν υποδηλοί αποδοχή των γνωμών του συγγραφέα (Ν. 5343/32, άρθρ. 202, παράγρ. 2).

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΑΙΤΗΣΕΩΣ: 24/2/2004
ΣΥΝΕΔΡΙΑΣΗ ΑΡΙΘΜ.: 66/28.04.2004

ΜΕΛΗ ΤΡΙΜΕΛΟΥΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

1. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΜΠΕΛΤΣΙΟΣ, Αναπλ. Καθηγητής του Τ.Μ.Ε.Υ του Παν/μίου Ιωαννίνων.

ΜΕΛΗ:

2. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΙΩΑΝΝΙΔΗΣ, Επίκ. Καθηγητής του Τμήματος Φυσικής του Παν/μίου Ιωαννίνων.
3. ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΖΑΧΑΡΙΑΣ, Επίκ. Καθηγητής του Τμήματος Ιστορίας, Αρχαιολογίας και Διαχείρισης Πολιτισμικών Αγαθών του Παν/μίου Πελοποννήσου.

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΟΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΘΕΜΑΤΟΣ: 28/4/2004

ΟΝΟΜΑΤΑ ΜΕΛΩΝ ΕΠΤΑΜΕΛΟΥΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ:

1. ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΚΑΛΠΑΚΙΔΗΣ, Καθηγητής του Τ.Μ.Ε.Υ. του Παν/μίου Ιωαννίνων.
2. ΘΕΟΔΩΡΟΣ ΜΑΤΙΚΑΣ, Καθηγητής του Τ.Μ.Ε.Υ. του Παν/μίου Ιωαννίνων.
3. ΜΙΧΑΗΛ ΚΑΡΑΚΑΣΙΔΗΣ, Αναπλ. Καθηγητής του Τ.Μ.Ε.Υ. του Παν/μίου Ιωαννίνων.
4. ΒΑΣΙΛΙΚΗ ΠΑΠΠΑ, Επίκ. Καθηγήτρια του Τμήματος Ιστορίας Αρχαιολογίας του Παν/μίου Ιωαννίνων.
5. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΜΠΕΛΤΣΙΟΣ, Αναπλ. Καθηγητής του Τ.Μ.Ε.Υ. του Παν/μίου Ιωαννίνων.
6. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΙΩΑΝΝΙΔΗΣ, Επίκ. Καθηγητής του Τμήματος Φυσικής του Παν/μίου Ιωαννίνων.
7. ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΖΑΧΑΡΙΑΣ, Επίκ. Καθηγητής του Τμήματος Ιστορίας, Αρχαιολογίας και Διαχείρισης Πολιτισμικών Αγαθών του Παν/μίου Πελοποννήσου.

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΚΑΤΑΘΕΣΗΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ: 26/3/2012
ΒΑΘΜΟΣ ΜΕ ΤΟΝ ΟΠΟΙΟ ΕΓΙΝΕ ΑΠΟΔΕΚΤΗ Η ΔΙΑΤΡΙΒΗ: «ΑΡΙΣΤΑ»

ΠΡΟΕΔΡΟΣ Τ.Μ.Ε.Υ.: Αναπλ. Καθηγητής ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ ΑΥΓΕΡΟΠΟΥΛΟΣ

Η ΓΡΑΜΜΑΤΕΑΣ ΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ

ΞΑΝΘΗ ΤΟΥΤΟΥΝΖΟΓΛΟΥ



**Στους γονείς μου,
Κώστα και Αμαλία**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	I
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	V
1. ΥΑΛΟΙ ΚΑΙ ΕΦΥΑΛΩΜΑΤΑ	1
1.1 Ιστορία της αρχαιομετρικής έρευνας της αρχαίας υάλου	1
1.2 Αρχαία υάλος-Ιστορική επισκόπηση.....	5
1.3 Αρχαίες υάλινες ψήφοι	13
1.4 Αρχαία εφυσάλωματα.....	27
1.5 Σύγχρονη υάλος.....	32
1.6 Βασικά συστατικά της υάλου	37
2. ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΚΑΙ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	43
2.1 Ιστορική και αρχαιολογική επισκόπηση Ρόδου	43
2.2 Ιστορική και αρχαιολογική επισκόπηση Θήβας.....	51
2.3 Αρχαιολογικά δεδομένα των υάλινων ψήφων και εφυσάλωμάτων Ρόδου.	58
2.4 Αρχαιολογικά δεδομένα των υάλινων ψήφων Θήβας	63
3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	67
3.1 Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης (SEM-EDX)	67
3.2 Φασματοσκοπία Φθορισμού Ακτίνων Χ (XRF)	71
3.3 Φασματοσκοπία Raman.....	76
4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	79
4.1 Εισαγωγικά	79
4.2 Προετοιμασία δειγμάτων.....	80
4.3 Ύαλοι.....	81
4.3.1 Μελέτη κύριων και δευτερευόντων στοιχείων	81
4.3.2 Μελέτη ιχνοστοιχείων	110
4.3.3 Μελέτη με φασματοσκοπία Raman	140
4.3.4 Μακροσκοπικές-μικροσκοπικές παρατηρήσεις.....	149
4.4 Εφυσάλωματα	177
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	211
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	215

SUMMARY	217
ΒΡΑΧΥΓΡΑΦΙΕΣ.....	219
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	221
ΓΛΩΣΣΑΡΙΟ ΟΡΩΝ	261
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	269
I. Κατάλογοι αρχαιολογικού υλικού (φωτογραφική τεκμηρίωση, περιγραφή, αρχαιολογικά δεδομένα).....	269
1. Ψήφοι Ρόδου	269
2. Ψήφοι Θήβας	291
3. Εφυσάλωματα Ρόδου.....	299
II. Πίνακες χημικών αναλύσεων (SEM-EDX, XRF)	303
1. Ψήφοι Ρόδου.....	303
2. Ψήφοι Θήβας	314
3. Εφυσάλωματα Ρόδου.....	317
4. Δείγματα από άλλες περιοχές	321
III. Φωτογραφική τεκμηρίωση φυσαλίδων με στερεοσκόπιο	327
IV. Πίνακας χρονολογιών	330

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η πρώτη προσπάθεια χημικής ανάλυσης αρχαίων υάλινων αντικειμένων χρονολογείται στα τέλη του 18^{ου} αι. και, παρά τις μέχρι σήμερα συστηματικές δημοσιευμένες χημικές αναλύσεις, πολλά ερωτήματα εξακολουθούν να παραμένουν αναπάντητα σχετικά με τη διαχρονική εξέλιξη της τεχνολογίας της υάλου. Παράλληλα, πολλές τεχνολογικές πληροφορίες παραμένουν εγκλωβισμένες στα αρχαία υάλινα αντικείμενα που έρχονται στο φως με τις ανασκαφές, καθώς τα επιστημονικά ενδιαφέροντα των ερευνητών έως πρόσφατα προσανατολίζονταν προς άλλα υλικά της αρχαιότητας, όπως ο λίθος, ο πηλός και τα μέταλλα. Ωστόσο, ειδικά τα τελευταία χρόνια διαπιστώνεται μεγάλο ενδιαφέρον προς την έρευνα της αρχαίας υάλου, η οποία συναντάται κατά τις αρχαιολογικές ανασκαφές και προσφέρει σημαντικές πληροφορίες για τη γνώση της αρχαιότητας. Σήμερα με τις σύγχρονες εργαστηριακές και μεθοδολογικές δυνατότητες η αρχαιομετρική έρευνα συμβάλλει στη μελέτη της τεχνολογίας της αρχαίας υάλου και διαφωτίζει τον εύθραυστο και λαμπερό μικρόκοσμο των υάλινων αντικειμένων.

Η αρχαία ύαλος, σκληρή στην αφή αλλά και εύθραυστη, αποτελεί ένα από τα βασικότερα τεχνολογικά προϊόντα του ανθρώπου, νεότερο από τα κεραμικά και σύγχρονο με την εμφάνιση των μετάλλων, αλλά σίγουρα το πλέον γοητευτικό. Η ύαλος είναι υλικό αναπόσπαστο της καθημερινότητας, της θρησκευτικής λατρείας και των τεχνών και αποτυπώνει με τον πλέον εύληπτο τρόπο το μακρινό ταξίδι της γένεσής της στην Ανατολή (Μεσοποταμία, Αίγυπτος), της εξέλιξής της στη Δύση κυρίως διαμέσου της ευρείας διάδοσής της κατά τους ρωμαϊκούς χρόνους και τέλος την επιστροφή της στην «καθ' ημάς» Ανατολή (Βυζάντιο) και στον Ισλαμικό κόσμο.

Η παρούσα εργασία, στην οποία επιχειρείται η αρχαιομετρική μελέτη αρχαίων υάλινων ψήφων από τη Θήβα και τη Ρόδο και εφυαλωμάτων από τη Ρόδο, εκπονήθηκε ως διδακτορική διατριβή στο Τμήμα Μηχανικών Επιστήμης των Υλικών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, υπό την εποπτεία του Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Κ. Μπέλτσιου.

Αποφασιστικής σημασίας για τη διενέργεια και ολοκλήρωση της σχετικής έρευνας υπήρξε η υποτροφία που μου παρέσχε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2007-2008 η Αμερικανική Σχολή Κλασικών Σπουδών Αθηνών, για την οποία είμαι ευγνώμων. Η υποτροφία αυτή μου έδωσε τη δυνατότητα να εργαστώ στο Εργαστήριο Wiener και στις βιβλιοθήκες της Αμερικανικής Σχολής, καθώς και στις βιβλιοθήκες άλλων Αρχαιολογικών Σχολών της Αθήνας. Παράλληλα μου έδωσε τη δυνατότητα να εργαστώ στο Εργαστήριο Αρχαιομετρίας του Ε.Κ.Ε.Φ.Ε. «Δημόκριτος», στο οποίο εκπονήθηκαν οι πειραματικές μελέτες των αρχαίων υάλων και η σύνθεση των δεδομένων. Η τριετής εργασία μου στο Ε.Κ.Ε.Φ.Ε. «Δημόκριτος» αποτέλεσε για μένα ανεκτίμητη πηγή γνώσης και επιστημονικών εμπειριών.

Πολλές ευχαριστίες οφείλω στον επόπτη της διατριβής μου Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Κ. Μπέλτσιο ο οποίος με εμπιστεύθηκε και με ενθάρρυνε να ασχοληθώ με τη μελέτη των αρχαίων υάλων. Η συμπαράστασή του κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας εργασίας ήταν αμέριστη και σημαντική η επιστημονική αρωγή, που μου προσέφερε, στοιχεία τα οποία συνέβαλαν αποφασιστικά στην εκπόνηση και την ολοκλήρωση της μελέτης μου. Καθοριστικές για την εργασία ήταν οι επιστημονικές παρατηρήσεις του. Σε αυτόν οφείλεται, εκτός των άλλων, η μύησή μου στον κόσμο των υλικών και στις επιστημονικές μεθόδους μελέτης τους, από τις οποίες προέκυψαν δημοσιεύσεις και συμμετοχές σε επιστημονικά συνέδρια.

Ευχαριστώ επίσης θερμά τον κ. Ν. Ζαχαριά, τότε Ερευνητή Γ' του Ε.Κ.Ε.Φ.Ε. «Δημόκριτος» και νυν Επίκουρο Καθηγητή στο Τμήμα Ιστορίας Αρχαιολογίας και Διαχείρισης Πολιτισμικών Αγαθών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου, μέλος της τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής της διατριβής μου, για το μεγάλο ενδιαφέρον του, την καθοδήγηση γενικότερα σε θέματα αρχαιομετρίας και τις παρατηρήσεις του σε επιμέρους θέματα που αφορούν την έρευνα της αρχαίας υάλου. Τον ευχαριστώ επίσης για τις διευκολύνσεις, που μου παρείχε, ώστε να εργάζομαι με άνεση στα εργαστήρια του Ε.Κ.Ε.Φ.Ε. «Δημόκριτος». Σε αυτόν οφείλεται η πρόσβαση-επαφή με την Αρχαιολογική Υπηρεσία της Θήβας και η δυνατότητα να μελετήσω υλικό από την περιοχή αυτή αλλά και σχεδόν όλες οι συμμετοχές μου σε επιστημονικά συνέδρια του εσωτερικού και εξωτερικού που με εξόπλισαν με εμπειρία και ειδικές γνώσεις.

Τον κ. Κ. Ιωαννίδη, Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, μέλος της τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής της διατριβής μου, ευχαριστώ επίσης για τη βοήθειά του. Το πατρικό του ενδιαφέρον και η θητεία μου στο Εργαστήριο Αρχαιομετρίας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, το οποίο έχει ιδρύσει και διευθύνει, με βοήθησαν πάρα πολύ στο να αποκτήσω εμπειρία σε αρχαιομετρικές αναλύσεις και άλλων υλικών.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω να εκφράσω στον Δρ. κ. Π. Τριανταφυλλίδη, τότε αρχαιολόγο της ΚΒ΄ Εφορείας Κλασικών και Προϊστορικών Αρχαιοτήτων της Ρόδου και νυν Προϊστάμενο του Ινστιτούτου Αιγαιακών Σπουδών, ειδικό στην έρευνα των αρχαίων υάλων, όχι μόνο για την υποστήριξη και την εν γένει βοήθειά του, αλλά κυρίως επειδή μου εμπιστεύθηκε πολύτιμο ανασκαφικό υλικό από τη Ρόδο, το οποίο αποτέλεσε το έναυσμα της ενασχόλησής μου με την αρχαία ύαλο. Η δυνατότητα να εργαστώ στο Αρχαιολογικό Μουσείο Ρόδου, όταν για πρώτη φορά ήρθα σε επαφή με αρχαία υάλινα αντικείμενα, και η παραχώρηση αρχαιολογικών πληροφοριών και φωτογραφικού υλικού με βοήθησαν ουσιαστικά. Οι πολύτιμες επιστημονικές πληροφορίες, που κατά καιρούς μου παρείχε, και η εν γένει καθοδήγησή του αποτέλεσαν τη βάση πάνω στην οποία στηρίχθηκα για να επιχειρήσω την αρχαιομετρική έρευνα αρχαίων υάλινων ευρημάτων. Για όλα αυτά εκφράζω τη βαθιά ευγνωμοσύνη μου.

Ευχαριστίες επίσης εκφράζω στον Έφορο Αρχαιοτήτων της Θ΄ Εφορείας Κλασικών και Προϊστορικών Αρχαιοτήτων Θήβας κ. Β. Αραβαντινό για την άδεια μελέτης του αντίστοιχου πολύτιμου αρχαιολογικού υλικού από τη Θήβα.

Το προσωπικό των παραπάνω Εφορειών ευχαριστώ επίσης για τις διευκολύνσεις, που μου παρείχαν, στις αποθήκες των Αρχαιολογικών Μουσείων Ρόδου και Θήβας κατά τη δειγματοληψία ενός μεγάλου αριθμού αρχαίων υάλων, μέρος του οποίου επιλέχθηκε για μελέτη στην παρούσα εργασία.

Για τη βοήθειά τους οφείλω επίσης ευχαριστίες στον Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών της Επιστήμης των Υλικών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων κ. Μ. Καρακασίδη και στη Διευθύντρια του Εργαστηρίου Wiener της Αμερικάνικης Σχολής Κλασικών Σπουδών Αθηνών Δρ. S. Fox, στους ερευνητές του Ε.Κ.Ε.Φ.Ε. «Δημόκριτος» Δρ. Ι. Μπασιάκο και Δρ. Α. Καρύδα για τις διευκολύνσεις τους κατά την εργασία μου στα αντίστοιχα εργαστήρια, καθώς και στην Δρ. Χρ. Παπαχριστοδούλου, υπάλληλο Ι.Δ.Α.Χ.

του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων για την εν γένει βοήθειά της και τις γόνιμες συζητήσεις για την επίλυση αρχαιομετρικών προβλημάτων.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράστασή της.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η αρχαιομετρική μελέτη θραυσμάτων αρχαίων υάλινων ψήφων, που προέρχονται από ανασκαφικές έρευνες στη Ρόδο και στην πόλη της Θήβας, καθώς και εφυαλωμάτων από τη Ρόδο. Τα ευρήματα αυτά τοποθετούνται σε ένα ευρύ χρονολογικό πλαίσιο από την Αρχαϊκή έως και την Ελληνιστική περίοδο. Η έρευνα είχε ως αφετηρία αρχαιολογικό υλικό από τη Ρόδο επειδή το νησί, όπως έχουν αποδείξει οι αρχαιολογικές έρευνες, συγκαταλέγεται ανάμεσα στα σημαντικότερα και μακροβιότερα κέντρα υαλουργικής παραγωγής στη Μεσόγειο. Σε αντιβολή προς το υλικό από τον Αιγαϊακό χώρο επελέγη να εκπροσωπηθεί στην παρούσα εργασία η ηπειρωτική Ελλάδα με υάλινα δείγματα από τη Θήβα, επειδή η Θήβα και γενικότερα η Βοιωτία κατά τους ιστορικούς χρόνους έχει αναδειχθεί ως καλλιτεχνικό και πολιτιστικό κέντρο της Ελλάδας με φανερές επιδράσεις στην τέχνη της από τα μεγάλα εργαστήρια της Αττικής, της Κορίνθου και των νήσων του Αιγαίου. Οι εκτεταμένες ανασκαφικές έρευνες, τόσο στη Ρόδο όσο και στη Θήβα, καθώς και η δυνατότητα πρόσβασης στο αντίστοιχο υλικό αποτέλεσαν επίσης σημαντικές παραμέτρους για την επιλογή των δύο χώρων προέλευσης του προς μελέτη υλικού.

Η αρχαιομετρία είναι ένας νέος διεπιστημονικός κλάδος ο οποίος δημιουργήθηκε στην Οξφόρδη μόλις κατά τη δεκαετία του 1950. Έχει πλέον διεθνώς καθιερωθεί ως ο κλάδος που χρησιμοποιεί τις θετικές επιστήμες για τη μελέτη αρχαιολογικών υλικών και τέχνηργων της πολιτιστικής κληρονομιάς και για την επίλυση αρχαιολογικών προβλημάτων. Με την αρχαιομετρία μπορούν να επιλυθούν προβλήματα που αφορούν τον προσδιορισμό της χημικής σύνθεσης των ευρημάτων, την ηλικία τους και την προέλευση της πρώτης ύλης τους. Παράλληλα δίνεται η δυνατότητα εντοπισμού μνημείων στη θάλασσα και στην ξηρά και διάκρισης της γενετικής προέλευσης των αρχαίων πληθυσμών (Λυριτζής 2007).

Η αρχαιομετρική έρευνα της αρχαίας υάλου, με τη σύγχρονη μεθοδολογία, που διαθέτει, έχει τη δυνατότητα, όπως επισημαίνει ο Τριανταφυλλίδης (Τριανταφυλλίδης 2000), να συμβάλλει στη μελέτη της τεχνολογίας της αρχαίας υάλου και να επιτύχει τα εξής: α) να προσδιορίσει τα κύρια και τα δευτερεύοντα συστατικά της, καθώς και τα

ιχνοστοιχεία της, β) να προσδιορίσει τις χρωστικές, τους αδιαφανοποιητές και τους αποχρωματιστές που έχουν κατά περίπτωση χρησιμοποιηθεί, γ) να μελετήσει όλο το ανασκαφικό υλικό που σχετίζεται με την υαλουργία και την υαλοποιία, όπως σκωρίες, δοχεία τήξης, ημιτελή αντικείμενα, ημιτηγμένες πρώτες ύλες, υαλοποιημένο υλικό, απορρίμματα διαμόρφωσης υάλου, ανακυκλώσιμα περισσεύματα υάλου, βώλους υάλου, χρωστικές κ.λπ., δ) να συσχετίσει τεχνολογικά περιοχές που έχουν δώσει υάλινα αντικείμενα με ίδιες χημικές συστάσεις και ίδια τυπολογία, ε) να αναπαραγάγει τις τεχνικές των αρχαίων υαλουργείων και υαλοποιείων, στ) να ερευνήσει τη χρησιμοποίηση εξωτικών ή ασυνήθιστων πρώτων υλών και ζ) να καταγράψει διαχρονικά την ιστορία της εξέλιξης της παραγωγής της αρχαίας υάλου.

Οι επιστημονικές τεχνικές, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σήμερα για την ανάλυση της αρχαίας υάλου, διακρίνονται σε καταστροφικές και σε μη καταστροφικές. Συνήθως χρησιμοποιούνται οι τεχνικές της ατομικής απορρόφησης (AAS), της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης (SEM), του φθορισμού ακτίνων Χ, της φασματοσκοπίας Raman, της φασματοσκοπίας UV/IR, της φασματοσκοπίας PIGE/PIXE κ.ά. Για την αρχαιομετρική μελέτη του αρχαιολογικού υλικού από τη Ρόδο και τη Θήβα στην παρούσα εργασία έχουν χρησιμοποιηθεί οι τεχνικές SEM-EDX, XRF, Raman και η οπτική μικροσκοπία OM.

Η μελέτη, που ακολουθεί, αναπτύσσεται σε τρία βασικά μέρη: το εισαγωγικό, το θεωρητικό και το πειραματικό.

Στο εισαγωγικό μέρος (κεφ. 1-2) προηγείται η ιστορία της αρχαιομετρικής έρευνας των υάλων και ακολουθεί η ιστορική επισκόπηση της αρχαίας υάλου, των υάλινων ψήφων και των εφυαλωμάτων με αναφορές στη δομή, τους τύπους, τη χρήση και τις μεθόδους παρασκευής τους. Καθώς η εξέλιξη της υάλου έως σήμερα ήταν συνεχής, γίνεται αναφορά στη σύγχρονη ύαλο και παρατίθενται τα βασικά συστατικά της υάλου, τα οποία είναι κοινά από την αρχαιότητα έως σήμερα. Ακολουθεί η ιστορική και αρχαιολογική επισκόπηση των χώρων προέλευσης των δειγμάτων, δηλ. της αρχαίας Ρόδου και Θήβας, καθώς και η αναφορά σε όσα αρχαιολογικά δεδομένα είναι γνωστά για τις υάλινες ψήφους από τη Ρόδο και τη Θήβα και τα εφυαλώματα από τη Ρόδο.

Στο θεωρητικό μέρος (κεφ. 3) παρουσιάζονται συνοπτικά οι βασικές αρχές που διέπουν τις μεθόδους ανάλυσης, οι οποίες εφαρμόζονται στο πειραματικό μέρος της εργασίας.

Στο κύριο μέρος της αρχαιομετρικής έρευνας των υάλινων ψήφων και εφυαλωμάτων, που μελετώνται στην εργασία (κεφ. 4), μετά τα εισαγωγικά και την αναφορά στην προετοιμασία των δειγμάτων για την πειραματική τους διερεύνηση, ακολουθεί η παρουσίαση των πειραματικών εργασιών. Περιγράφεται αναλυτικά η πειραματική έρευνα καταρχήν των θραυσμάτων των υάλινων ψήφων, κατά την οποία μελετώνται τα κύρια, τα δευτερεύοντα στοιχεία και τα ιχνοστοιχεία. Στο κεφάλαιο αυτό αναπτύσσονται αναλυτικά τα δεδομένα που προκύπτουν από την εφαρμογή και ανάλυση των πειραματικών μεθόδων, οι οποίες προαναφέρθηκαν.

Ακολουθεί η μελέτη με τη φασματοσκοπία Raman μέρους των δειγμάτων που επελέγει για να εξεταστεί με τη μέθοδο αυτή. Την πειραματική έρευνα των ψήφων ολοκληρώνει το υποκεφάλαιο με τις μακροσκοπικές και μικροσκοπικές παρατηρήσεις. Ακολουθεί η μορφολογική και χημική ανάλυση των εφυαλωμάτων από τη Ρόδο με τη χρήση της Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης (SEM-EDX), τόσο στο κυρίως σώμα όσο και στη διακόσμησή τους, δηλ. στο εφυάλωμα.

Η εργασία καταλήγει με τα Συμπεράσματα (κεφ. 5) στα οποία αναφέρονται συνοπτικά τα δεδομένα που προκύπτουν από τον προσδιορισμό της χημικής σύστασης των υάλινων αντικειμένων με την ανίχνευση των κύριων και δευτερευόντων συστατικών τους, καθώς και των ιχνοστοιχείων τους. Διαπιστώνονται, εκτός των άλλων, διαφορετικές τεχνολογικές παραδόσεις και για μερικά δείγματα διαφορετικός τρόπος μορφοποίησής τους από τον προταθέντα από την αρχαιολογική έρευνα.

Η παρούσα εργασία ολοκληρώνεται με την περίληψη (ελληνική και αγγλική), τις ελληνόγλωσσες και ξενόγλωσσες βραχυγραφίες όρων, τις ελληνόγλωσσες και ξενόγλωσσες συντομογραφίες της Γενικής Βιβλιογραφίας και με γλωσσάριο σχετικό με τους όρους που χρησιμοποιούνται.

Αναπόσπαστο μέρος αποτελεί το Παράρτημα το οποίο περιλαμβάνει τους γενικούς πίνακες με τους καταλόγους των δειγμάτων που έχουν επιλεγεί για να μελετηθούν αρχαιομετρικά στην παρούσα εργασία (Παράρτημα Ι). Στους καταλόγους, εκτός από τη φωτογραφική τεκμηρίωση των δειγμάτων, δίνονται συνοπτικά στοιχεία της

περιγραφής και των χαρακτηριστικών τους, όπως οι διαστάσεις τους, το βάρος, το χρώμα κ.λπ., καθώς και των αρχαιολογικών δεδομένων για όσα δείγματα είναι γνωστά.

Ακολουθούν οι πίνακες με τα στοιχεία που έχουν προκύψει από τις χημικές αναλύσεις (SEM-EDX, XRF), οι οποίες έχουν εφαρμοστεί στην εργασία, καθώς και πίνακες χημικών αναλύσεων άλλης βιβλιογραφίας για συγκριτική αντιβολή (Παράρτημα II). Στη συνέχεια παρατίθεται η φωτογραφική τεκμηρίωση των φυσαλίδων με στερεοσκόπιο (Παράρτημα III) και ένας πίνακας χρονολογιών ο οποίος διευκρινίζει τις χρονολογικές περιόδους της αρχαιότητας που αναφέρονται στην εργασία (Παράρτημα IV).

1. ΥΑΛΟΙ ΚΑΙ ΕΦΥΑΛΩΜΑΤΑ

1.1 Ιστορία της αρχαιομετρικής έρευνας της αρχαίας υάλου

Η έρευνα των υάλινων αντικειμένων πριν από τα μέσα του 20^{ου} αι. επικεντρώνονταν κυρίως σε μεθοδολογικά κριτήρια αναγνώρισης και κατανόησης ενός άγνωστου έως τότε υλικού και βασίζονταν στα περιορισμένα όρια της τυπολογίας και της χρονολόγησης των ευρημάτων.

Ως αρχική προσπάθεια χημικής διερεύνησης της αρχαίας υάλου θεωρείται η προσπάθεια του M. H. Klaproth το 1798. Ο Klaproth επιχείρησε να προσδιορίσει τις χρωστικές ουσίες τριών έγχρωμων ψηφίδων ενός ρωμαϊκού μωσαϊκού (Caley 1962). Ωστόσο, χημικές αναλύσεις αρχαίων υάλων συναντώνται ουσιαστικά μετά τα μέσα του 20^{ου} αι. Έκτοτε το ενδιαφέρον των ερευνητών για άντληση πληροφοριών μέσω των χημικών αναλύσεων παραμένει αμείωτο (Μήρτσου 2000).

Ενδεικτικά αναφέρονται οι παρακάτω προσπάθειες:

Η πρώτη ουσιαστικά συστηματική συγκέντρωση αποτελεσμάτων αναλύσεων αρχαίων υάλων έγινε από τον Caley στο έργο του “Analyses of Ancient Glass, 1790-1957” (Caley 1962). Στο έργο αυτό παρατίθενται τα αποτελέσματα αναλύσεων υαλωδών υλικών και υαλουργικών καταλοίπων, αλλά και η συγκριτική αντιπαράθεσή τους με αντίστοιχες αναφορές στους αρχαίους συγγραφείς. Προσπάθεια ανάλογη αυτής του Caley έγινε στη δεκαετία του 1990 από τον Brill ο οποίος περιλαμβάνει τα αποτελέσματα όλων των χημικών αναλύσεων που έγιναν στο Corning Institute of Glass (ΗΠΑ) (Brill 1999).

Οι Sayre και Smith (Sayre and Smith 1961) ανέλυσαν 200 δείγματα άχρωμης υάλου από τη Μέση Ανατολή, την Αίγυπτο, τη Μικρά Ασία και τη ΝΑ Ευρώπη και καθόρισαν πέντε κύριες κατηγορίες υάλων με βάση τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων. Η κατάταξη αυτή αποτελεί σημείο αναφοράς για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων από τις χημικές αναλύσεις των αρχαίων υάλων, παρόλο που κατά τη Μήρτσου (Μήρτσου 2000) δεν μπορεί να θεωρηθεί απόλυτη αφενός διότι δεν περιλαμβάνει δείγματα χρωματιστής υάλου και αφετέρου διότι αγνοεί δείγματα από περιοχές της Κεντρικής και Βόρειας Ευρώπης.

Κατά τις δεκαετίες του 1970 και 1980 βλέπει το φως της δημοσιότητας ένας μεγάλος αριθμός αναλύσεων αρχαιολογικών υλικών (Brill 1969· Tite 1972). Οι Kaczmarczyk και Hedges ανέλυσαν περισσότερα από 1.100 δείγματα αρχαίας αιγυπτιακής φαγεντιανής που κάλυπτε ένα μεγάλο χρονολογικό και γεωγραφικό πεδίο (Kaczmarczyk and Hedges 1983). Κλασικές είναι οι μελέτες του Henderson στις οποίες, εκτός των άλλων, περιγράφεται η σύσταση της αρχαίας υάλου και ο συσχετισμός των κύριων και δευτερευόντων στοιχείων (Henderson 1989· Henderson 1991· Henderson 2000). Από τον Henderson έχει μελετηθεί επίσης ύαλος της Εποχής του Χαλκού από την Ευρώπη με αποτέλεσμα να έρθει στο φως μία χημική κατηγορία υάλου (Henderson 1988b). Οι επόμενες εργασίες του προσέφεραν πολύτιμα στοιχεία για την παραγωγή και το εμπόριο της αρχαίας υάλου καθώς και τις τεχνολογικές συγγένειες των εργαστηρίων (Nikita 2004).

Οι ανασκαφές στην Tell el-Amarna κατά τη δεκαετία του 1990 ήταν σημαντικές για τη γνώση της αρχαίας υάλου στη Μεσόγειο κατά την Εποχή του Χαλκού. Ωστόσο, αντίστοιχες εργασίες για το χώρο του Αιγαίου κατά την Ύστερη Εποχή του Χαλκού θεωρούνται σχετικά περιορισμένες (Nikita 2004).

Στον ελλαδικό χώρο οι χημικές αναλύσεις υάλου είναι ιδιαίτερα πενιχρές σε σύγκριση με τον μεγάλο αριθμό των υάλινων ευρημάτων, τα οποία τις περισσότερες φορές παραμένουν αναξιοποίητα στις αποθήκες των Μουσείων. Εάν οι αναλύσεις της αρχαίας υάλου συμπορεύονταν με την αρχαιολογική μελέτη των ευρημάτων, θα συνέβαλλαν αποφασιστικά στη διάκριση των επείσακτων προϊόντων και στον καθορισμό των τοπικών εργαστηρίων κατασκευής. Θα συνεισέφεραν επίσης στην επίλυση πολλών προβλημάτων που προκύπτουν κατά τις δημοσιεύσεις.

Ήδη από το 1969 έχει αναλυθεί αποσπασματικά υλικό υάλινων ελληνιστικών ψήφων από τη Ρόδο. Οι χημικές αναλύσεις τεκμηριώνουν την ύπαρξη υαλουργείου στο νησί το οποίο συγκαταλέγεται ανάμεσα στα σημαντικότερα και μακροβιότερα κέντρα υαλουργικής παραγωγής της Μεσογείου (Weinberg 1969· Brill 1999· Τριανταφυλλίδης 1999, Επίμετρο· Τριανταφυλλίδης 2002α).

Στην κατανόηση της αρχαίας υάλου βασική θεωρείται η συμβολή του Brill. Το 1976 μελέτησε την τεχνολογία κατασκευής και την προέλευση υαλοθετημάτων ρωμαϊκών χρόνων (4^{ος} αι. μ.Χ.), τα οποία ανακαλύφθηκαν στις Κεγχραιές, το ανατολικό

λιμάνι της αρχαίας Κορίνθου (Brill 1976). Τα ευρήματα αυτά διακρίνονται για την τεχνολογική τους ιδιαιτερότητα καθώς οι ψηφίδες δεν είναι απλά τοποθετημένες και συγκολλημένες σε κάποιο υπόβαθρο αλλά συχνά έχουν υποστεί και επεξεργασία σύντηξης (Μήρτσου 2000).

Από τον Brill έγιναν επίσης χημικές αναλύσεις σε μερικά διακοσμητικά ένθετα από άχρωμη ύαλο που προέρχονται από τις ανασκαφές των βασιλικών τάφων στη Βεργίνα (4^{ος} αι. π.Χ.) με απώτερο στόχο τον καθορισμό της προέλευσής τους (Brill 1994). Υάλινα ευρήματα από τις Μυκήνες (1400-1250 π.Χ.), κυρίως κοσμήματα από μπλε διαφανή ύαλο, μελετήθηκαν επίσης από τον Brill στο Corning Institute of Glass (Brill 1999).

Από τους Foster και Kaczmarczyk αναλύθηκαν αρχαιότερα υαλώδη υλικά, δηλαδή πολύχρωμες ψηφίδες από φαγεντιανή σε μωσαϊκά της Μινωικής Κνωσού (1700-1600 π.Χ. (Foster and Kaczmarczyk 1982). Δείγματα άχρωμης υάλου από την Ολυμπία, που αποδίδονται στο εργαστήριο του Φειδία (5^{ος} αι. π.Χ.), μελετήθηκαν από τον Letsch κ.ά. Η χημική τους ανάλυση απέδειξε ότι για τον αποχρωματισμό τους χρησιμοποιήθηκαν ενώσεις αντιμονίου (Letsch et al 1983). Από τον Henderson, εκτός των άλλων, αναλύθηκαν δείγματα φαγεντιανής και υάλου της Ύστερης Εποχής του Χαλκού από τη Θάσο (Κουκούλη 1992).

Η μελέτη της ροδιακής υαλουργίας, που αποτέλεσε σημείο αναφοράς για τη μελέτη των αρχαίων υάλων, τεκμηριώθηκε και από χημικές αναλύσεις. Ο Τριανταφυλλίδης ολοκλήρωσε τη διδακτορική του διατριβή, με τη συνδρομή της Μάγκου (χημικές αναλύσεις), για τα υάλινα αγγεία από τη Μινώα και τα Κατάπολα της Αμοργού, τα οποία χρονολογούνται στην Ελληνιστική και Ρωμαϊκή περίοδο (Τριανταφυλλίδης 1998, Επίμετρο). Ο ίδιος στη μελέτη υάλινων σκευών πολυτελείας της ροδιακής υαλουργίας διαμορφωμένων εν θερμώ περιλαμβάνει χημικές αναλύσεις (Τριανταφυλλίδης 2000). Παρόμοια διερεύνηση της τεχνολογίας κατασκευής έγινε και για τα 1400 θραύσματα υάλινων αγγείων που χρονολογούνται στον 2^ο-1^ο αι. π.Χ. και ήρθαν στο φως κατά τις ανασκαφές της Γαλλικής Αρχαιολογικής Σχολής στη Δήλο (Nenna 1998, Appendice 2).

Από το 1995 περίπου κ.εξ. οι εργασίες της Παναγιωτάκη με αναλύσεις υλικού, κυρίως από τη μινωική Κρήτη και το χώρο του Αιγαίου, και μελέτη των σχέσεων με την

Εγγύς Ανατολή και την Αίγυπτο, συμβάλλουν στην κατανόηση της τεχνολογίας κατασκευής υαλωδών υάλων κατά την Ύστερη Εποχή του Χαλκού στο χώρο του Αιγαίου (Παναγιωτάκη 2010, όπου και παλιότερη βιβλιογραφία).

Σε διδακτορικές διατριβές, το περιεχόμενο των οποίων περιλαμβάνει χημικές αναλύσεις αρχαίων υάλων, γίνεται αναφορά στις ολιγάριθμες σχετικά εργασίες ανάλυσης αρχαίας υάλου από ελληνικές περιοχές. Στη διδακτορική διατριβή της Μήρτσου (Μήρτσου 2000) εφαρμόζεται η μέθοδος της φασματοσκοπίας ατομικής απορρόφησης στην ανάλυση υάλινων ευρημάτων από τη Μακεδονία με σκοπό τη διερεύνηση της τεχνολογίας κατασκευής τους. Στη διδακτορική διατριβή της Nikita (Nikita 2004) αναλύονται χημικά υάλινα αντικείμενα από τη Θήβα και την Ελάτεια που χρονολογούνται στο τέλος της ΥΕ III περιόδου. Από τις αναλύσεις αυτές αποδείχθηκαν διαφορετικές τεχνολογικές παραδόσεις στην κατασκευή των υάλινων ευρημάτων.

Τα τελευταία χρόνια το ενδιαφέρον για την αρχαία ύαλο φαίνεται να αυξάνει. Αναλύονται υάλινα ευρήματα από μυκηναϊκά κέντρα της Βοιωτίας και της Πελοποννήσου (Nikita 2008' Nikita et al 2009' Walton et al 2009), υάλινες ψήφοι της Αρχαϊκής και Κλασικής περιόδου από τη Θήβα και τη Ρόδο (Zacharias et al 2008' Οικονομου et al 2008' Οικονόμου 2009 Ζαχαριάς κ.ά. 2011 Οικονόμου κ.ά. 2011 Beltsios et al 2012' Οικονομου et al in press), Ρωμαϊκών χρόνων από την Αχαΐα (Liritzis et al 1997) και την αρχαία Μεσσήνη (Papageorgiou et al in press' Zacharias et al in press, κ.ά.).

Η ανάγκη δημιουργίας μίας βάσης πληροφοριών για την ύαλο από την αρχαιότητα έως και το 19^ο αι. οδήγησε το 1958 στην οργάνωση και ίδρυση της διεθνούς εταιρείας Association Internationale pour l' Histoire du Verre (AIHV). Παράλληλα το Corning Museum of Glass από το 1959 εκδίδει επιστημονικό περιοδικό για τη διαχρονική έρευνα της υάλου, το Journal of Glass Studies. Επίσης προς την κατεύθυνση της κατανόησης των μεθόδων ανάλυσης αρχαίων υάλων συμβάλλουν τόσο τα σχετικά επιστημονικά Συνέδρια, που κατά καιρούς έχουν πραγματοποιηθεί, όσο και συλλογικοί τόμοι και Πρακτικά Συνεδρίων που έχουν εκδοθεί (Θέμελης 2002 Kordas 2002' Κόρδας και Αντωνάρας 2002 Λυριτζής και Ζαχαριάς 2010 κ.ά.). Τέλος τα σχετικά γλωσσάρια όρων διευκολύνουν επίσης την έρευνα της αρχαίας υάλου (Ιγνατιάδου και Αντωνάρας 2008' Τριανταφυλλίδης 1998, Γλωσσάρι' Τριανταφυλλίδης υπό έκδ.).

1.2 Αρχαία ύαλος-Ιστορική επισκόπηση

Η ύαλος είναι γνωστή από την 4η χιλιετία π.Χ. με τη μορφή υαλωμάτων, δηλαδή συνθέσεων με υαλώδη υφή, που προέρχονται από ανεπιτυχή συγχώνευση υάλου, κεραμικών ή μετάλλων. Η παρουσία της μαρτυρείται από το β' μισό της 2ης χιλιετίας π.Χ. σε επιγραφικό υλικό των σουμεριακών-ακκαδικών πινακίδων της Μεσοποταμίας, καθώς και σε μεταγενέστερες ασσυριακές, χεττιτικές και βαβυλωνιακές επιγραφές, στις οποίες αναφέρονται χημικές συνταγές και τεχνικές μέθοδοι κατασκευής και επεξεργασίας της υάλου (Orpenheim et al 1970).

Οι απαρχές της υαλοποιίας, δηλ. της διαδικασίας κατασκευής αργής υάλου από τις πρώτες ύλες, και της υαλουργίας, δηλ. της διαδικασίας κατεργασίας και διαμόρφωσης της υάλου σε αντικείμενα, είναι συνδεδεμένες με τους πολιτισμούς που άνθισαν στις περιοχές της Δυτικής Ασίας κατά την 3^η και 2^η χιλιετία π.Χ., όταν σε κάποιο πρώιμο στάδιο οι Σουμέριοι της Ν. Μεσοποταμίας ανακαλύπτουν ότι μπορούν να παράγουν την ύαλο με την κατάλληλη επεξεργασία πρώτων υλών. Η τεχνητή ύλη, που παράγεται, έχει ως βασικά συστατικά την άμμο (διοξείδιο του πυριτίου-SiO₂), τα αλκάλια (σόδα-Na₂O ή ποτάσα-K₂O) και την άσβεστο (οξείδιο του ασβεστίου-CaO). Τότε ξεκινά η παραγωγή ψήφων, σφραγίδων και άλλων αντικειμένων με απλή διαμόρφωση και τεχνικές τελειοποίησης των αντικειμένων με πυράκτωση. Η τεχνολογική αυτή καινοτομία φαίνεται να προήλθε από πειραματισμούς στα υαλώματα, τα οποία χρησιμοποιούνταν σε ψήφους, κεράμους, αγγεία και άλλα είδη ή στην ίδια τη φαγεντιανή, δηλ. την υαλώδη ύλη που προκύπτει από την ανάμειξη κονιορτοποιημένου πυριτίου και ελάχιστης ποσότητας άλλων υλών (αλκαλίου, οργανικών υλών και νερού).

Αργότερα, γύρω στα μέσα της 2^{ης} χιλιετίας (μέσα του 16^{ου} με πρώιμο 15^ο αι. π.Χ.), η υαλουργία εξελίσσεται σε μία ζωντανή, ανεξάρτητη τέχνη και τα πρώτα υάλινα αγγεία κατασκευάζονται με την τεχνική του «πυρήνα», δηλ. με μορφοποίηση γύρω από ένα πυρήνα, καθώς και με άλλες μεθόδους πιθανότατα στη Β. Μεσοποταμία (Orpenheim et al 1970).

Οι πρώτοι υαλοποιοί κατασκεύαζαν υποκατάστατα των ημιπολύτιμων και πολύτιμων χρωματιστών λίθων. Έτσι εξηγείται το αδιαφανές και ζωηρό χρώμα της υάλου. Παρόλη τη χρωματική ποικιλία προτιμώνται οι αποχρώσεις του μπλε και γίνεται

προσπάθεια μίμησης του εξαιρετικού χρώματος του λάπης λάζουλι (λαζουρίτη - φυσικού κυάνου), που ήταν σπάνιο και γι' αυτό ακριβό υλικό, προερχόμενο από το σημερινό Αφγανιστάν. Μεταξύ φυσικού και τεχνητού κυάνου (με το τελευταίο νοείται η τεχνητή ύαλος) γινόταν σαφής διάκριση (Χατζή-Σπηλιοπούλου 2002).

Στο 8^ο βιβλίο του Θεοφράστου «Περί Λίθων» (Θεόφραστος 8, 55), ο συγγραφέας διακρίνει «τον αυτοφυή και σκευαστό κύανον εν Αιγύπτω» ανάμεσα σε ημιπολύτιμους και πολύτιμους λίθους, αλλά και σε απλούς λίθους. Περιγράφει μάλιστα τρία είδη κυάνων: τον αιγυπτιακό, που ήταν τεχνητός, τον κυπριακό, που ήταν φυσικός από αζουρίτη, και το σκυθικό που ήταν φυσικός και ασαφούς ταυτότητας. Στα τρία γνωστά είδη ο Πλίνιος ο Πρεσβύτερος (Πλίνιος, *Φυσική Ιστορία*, XXXIII, 13) προσθέτει τις ποικιλίες κυάνου από την Ισπανία και την αρχαία Δικαιαρχία της Ιταλίας. Ο συγγραφέας αναφέρει ως βασικό υλικό κατασκευής του κυάνου (λατινικά *caeruleum*) την άμμο και παρατηρεί - όπως σημειώνει και ο Βιτρούβιος (Vitruvius, *De Architectura*, 5, 106)- ότι η μέθοδος κατασκευής του, τα υλικά και το χρώμα μοιάζουν με την ύαλο. Τόσο οι έλληνες και λατίνοι συγγραφείς όσο και οι νεότεροι ερευνητές ταύτισαν τον κύανο λίθο με φυσικά ορυκτά μπλε χρωματικών τόνων και με συνθετικά υλικά αντίστοιχων χρωματικών τόνων, όπως της κυανόχρωμης στιλπνής ύαλου, η οποία χρησιμοποιήθηκε κυρίως ως υαλοθέτημα και κόσμημα κατά τη Μυκηναϊκή και τη Γεωμετρική περίοδο (Τριανταφυλλίδης 2004· Παναγιωτάκη 2010).

Οι πρωιμότερες φιλολογικές μαρτυρίες για την παρουσία «κυάνου» στον ελληνικό χώρο χρονολογούνται στη Μυκηναϊκή περίοδο και προέρχονται από το πλούσιο υλικό των πινακίδων με τη Γραμμική γραφή Β' από τα μεγάλα ανακτορικά κέντρα (Μυκήνες και Πύλο), αλλά και από τα έπη του Ομήρου.

Οι «κυανουργοί», οι επεξεργαστές δηλαδή του «κυάνου» (ku-wa-no=κύφανος), πιθανώς κατασκεύαζαν υάλινα πολύτιμα κοσμήματα και υαλοενθέσεις με την τεχνική της εμπίεσης ζεστής ύαλου σε ανοιχτή ή κλειστή μήτρα, μιμούμενοι πολλές φορές τους ημιπολύτιμους λίθους, καθώς και το χρυσό (Τριανταφυλλίδης 2004). Υφίσταται πάντως κάποια αβεβαιότητα ως προς το ακριβές εύρος υλικών που καλύπτει ο μυκηναϊκός όρος κύφανος.

Ιδιαίτερα εντυπωσιακή είναι η παραγωγή υάλινων διακοσμητικών αντικειμένων, ψήφων, ενθεμάτων και ειδωλίων, που κατασκευάζονταν είτε με τη μέθοδο του

«πυρήνα» είτε με χύτευση σε ανοιχτές ή κλειστές μήτρες ή με περιστροφή γύρω από μεταλλική ράβδο. Το υάλινο αντικείμενο προέκυπτε με ψύξη και μέσω τεχνικών που χρησιμοποιούσαν οι λιθοξόοι μετασχηματιζόταν με την κοπή, την κονιορτοποίηση και το γυάλισμα. Η τεχνογνωσία των μεθόδων κατασκευής υάλινων αντικειμένων και αγγείων εξαπλώνεται σε όλη τη Δυτική Ασία, τη Βαβυλώνα, την Ασσυρία και το Ελάμ (σημερινό Ιράν) ανατολικά της Συρίας και της Παλαιστίνης μέχρι τις ακτές της Μεσογείου (Grose 1989).

Η Αίγυπτος αποτελεί περιοχή όπου χάρη στο κλίμα της αναπτύσσεται η πρώιμη υαλουργία, όπως υποδεικνύει μία εξαιρετική σειρά καλά διατηρημένων προϊόντων που προέρχονται από συστηματικές ανασκαφές. Στην εποχή της 18^{ης} Δυναστείας (μέσα 14^{ου} αι. π.Χ.) η Tel el-Amarna αποτελεί τον πλέον ακμάζοντα χώρο υαλουργίας στην Αίγυπτο. Από την περιοχή των εργαστηρίων της προέρχονται κατεργασμένα και λειασμένα με εργαλείο τμήματα χρωματιστής υάλου, ακατέργαστη ύαλος και όστρακα υάλινων αγγείων κατασκευασμένων με την τεχνική του «πυρήνα». Οι συροπαλαιστινιακές ακτές, η Κύπρος και η Ρόδος φαίνεται πως συμμετείχαν σημαντικά στο εμπόριο ακατέργαστης υάλου και έτοιμων προϊόντων, μολονότι δεν είναι επιβεβαιωμένη η ύπαρξη εκεί οργανωμένης υαλουργίας κατά την Ύστερη Εποχή του Χαλκού. Τυπικά δείγματα αποτελούν τα λεγόμενα συρο-κυπριακά αγγεία σε σχήμα ροιάς (ροδιού) κατασκευασμένα επίσης με την τεχνική του «πυρήνα» (Grose 1989).

Μία ακόμα ευρύτερη περιοχή στην οποία παρατηρείται δυναμική παραγωγή υάλινων αντικειμένων κατά την Ύστερη Εποχή του Χαλκού είναι ο χώρος του Αιγαίου, όπου η φαγεντιανή έχει κάνει ήδη την εμφάνισή της στην Κρήτη από το 2500 π.Χ. περίπου.

Η παραγωγή της μυκηναϊκής υάλου γίνεται αισθητή ήδη από τον 15^ο αι. π.Χ. σε όλα τα γνωστά ανακτορικά κέντρα και ιδιαίτερα στις μυκηναϊκές θέσεις της Πελοποννήσου, της Αττικής, της κεντρικής Ελλάδας και της Κρήτης, ενώ από το 14^ο αι. π.Χ., την εποχή δηλ. των μυκηναϊκών ανακτόρων, γίνεται μία έκρηξη παραγωγής ιδίως κοσμημάτων αλλά και άλλων αντικειμένων. Στους πλούσιους μυκηναϊκούς τάφους στη Μόσχου και στη Μακριά Βουνάρα της Ιαλυσού, στην Κάμειρο και στη νότια Ρόδο, όπως στην Πυλώνα Ρόδου, καθώς και στις περιοχές του Ελαιώνα και του Λαγκαδά της Κω, βρέθηκε μεγάλος αριθμός υάλινων αντικειμένων, όπως ψήφων και πλακιδίων-περιάπτων

και μικρός αριθμός αγγείων (Τριανταφυλλίδης 2004). Κυριολεκτικά κυριαρχεί η ανάγλυφη ψήφος, η σημαντικότερη καινοτομία της εποχής αυτής μέχρι την καταστροφή των μυκηναϊκών ανακτόρων και γενικότερα μέχρι την παρακμή του μυκηναϊκού κόσμου. Η ομοιογένεια, που χαρακτηρίζει τη μαζική παραγωγή της μυκηναϊκής υάλου, σε συνάρτηση με τους λοιπούς κλάδους της τέχνης της εποχής αυτής, και η ευρεία διάδοση και χρήση της αποκλειστικά στο χώρο του Αιγαίου, αφήνει ανοικτό το θέμα της προέλευσης, διάθεσης και χειρισμού της πρώτης ύλης (Χατζή-Σπηλιοπούλου 2002).

Από το 1982, που έγινε γνωστό το αρχαιότερο ναυάγιο του κόσμου, ανοικτά των ακτών της Ν. Τουρκίας, στο Ulu Burun (Kas), το οποίο χρονολογείται στον 14^ο αι. π.Χ. (Bass 1987), είναι πλέον γνωστό ότι πολύτιμες πρώτες ύλες και εξωτικά προϊόντα διακινούνταν με τρόπο κυκλικό στη λεκάνη της Μεσογείου (από Συρία-Παλαιστίνη προς Κύπρο και προς Αιγαίο και ίσως προς Σαρδηνία, και κατόπιν αντίστροφα προς Β. Αφρική και Αίγυπτο). Πρόκειται για προϊόντα τουλάχιστον επτά πολιτισμών, μεταξύ των οποίων υπήρχαν ισχυροί εμπορικοί δεσμοί (Μυκηναίοι, Χαναναίτες, Κύπριοι, Αιγύπτιοι, Βαβυλώνιοι, Ασσύριοι και Νουβίτες). Ωστόσο δεν είναι γνωστό από πού προερχόταν και προς τα πού κατευθυνόταν το πολύτιμο φορτίο του ναυαγίου. Ανάμεσα στα εμπορεύματά του, που ήταν χανανατικοί αμφορείς, λυχνάρια συροπαλαιστινιακού τύπου, αφρικανικό ξύλο, κόκαλο ελέφαντα και υποποτάμου, τάλαντα χαλκού, κασσιτέρου κ.ά., υπήρχαν και 175 περίπου δισκοειδή υαλοπλινθώματα, ακατέργαστη δηλαδή ύαλος. Η χημική ανάλυσή τους απέδειξε ότι η σύνθεσή τους είναι πανομοιότυπη με την αιγυπτιακή και μυκηναϊκή ύαλο της ίδιας εποχής (14^{ος} αι. π.Χ.) (Bass 1987).

Συνεπώς θεωρείται προς το παρόν ότι οι Μυκηναίοι εισήγαγαν ύαλο ως πρώτη ύλη για την παραγωγή του θαυμαστού μικρόκοσμου αντικειμένων αιγαιακής τέχνης. Την εποχή της λεγόμενης «Μυκηναϊκής Κοινής» (14^{ος}-13^{ος} αι. π.Χ.), μετά την πτώση του Ανακτόρου της Κνωσού, οι Μυκηναίοι έχουν το γενικό έλεγχο, δηλαδή την αποκλειστικότητα των αντικειμένων αυτών, μέσα στην ίδια τους την επικράτεια, χωρίς να ενδιαφέρονται μάλιστα να τα εξάγουν. Ανάγλυφες υάλινες ψήφοι δεν έχουν εντοπιστεί σε περιοχές των εμπορικών επαφών των Μυκηναίων, όπου η μυκηναϊκή παρουσία αποδεικνύεται κυρίως μέσω της κεραμικής και των μετάλλων. Ας σημειωθεί ότι στο ανάκτορο της Θήβας του 14^{ου} – 13^{ου} αι. π.Χ., καθώς και σε νεκροταφεία της Θήβας βρέθηκαν επείσακτα αντικείμενα από την ανατολική Μεσόγειο που υποδεικνύουν

επαφές της Στερεάς Ελλάδας, οι οποίες είτε ήταν καθαρά εμπορικές με περιοχές της ανατολικής Μεσογείου είτε είχαν χαρακτήρα ανταλλαγής δώρων μεταξύ των ηγεμόνων (Παπαδοπούλου 2003).

Με την πτώση των μυκηναϊκών κέντρων η κατασκευή της υάλου στον ελλαδικό γεωγραφικό χώρο διακόπτεται ή ελαττώνεται από το τέλος του 12^{ου} έως και τον 9^ο αι. π.Χ. Η υάλος, που επανεμφανίζεται από τον 9^ο αι. π.Χ., φαίνεται ότι συνδέεται με την ακμάζουσα μεσοποταμιακή υαλοτεχνία του νεοασσυριακού βασιλείου στη Δ. Ασία, καθώς και με την άνθηση των υαλουργείων στη Β. Συρία και στη Φοινίκη (Τριανταφυλλίδης 2002). Η αναγέννηση της βιομηχανίας της υάλου τον 9^ο αι. π.Χ. πραγματοποιήθηκε παράλληλα με μία γενική πολιτισμική άνθηση που επηρέασε ολόκληρη τη Δ. Ασία, την περιοχή της Χαναάν (Levant) και τον κόσμο της Μεσογείου. Η πρώτη χρήση της υάλου κατά τη διάρκεια της εποχής του Σιδήρου ήταν τα διακοσμητικά επιθέματα, συχνά σε πλάκες σιδήρου, τα οποία στόλιζαν διάφορα έπιπλα. Τα επιθέματα ήταν από μονόχρωμη υάλο, συνήθως σε διάφορες αποχρώσεις του μπλε, καθώς επίσης και κόκκινου, πράσινου ή κίτρινου, κάποιες φορές με βαμμένα ή επισμαλτωμένα σχέδια. Μεγάλος αριθμός τέτοιων πλακών βρέθηκε στα ασσυριακά παλάτια στο Νιμρούντ (Nimrud) του Ιράκ, στο Αρσάν Τας (Arshan Tash) της Συρίας και στη Σαμάρια (Samaria) του Ισραήλ. Τα περισσότερα χρονολογούνται από τον 8^ο αι. π.Χ., ενώ τα πρωιμότερα, τα οποία βρίσκονται στο Μουσείο Iran Bastan στην Τεχεράνη, χρονολογούνται τον 9^ο αι. π.Χ. (Tait 1999).

Κατά τα μέσα περίπου του 8^{ου} αι. π.Χ. άρχισαν να παράγονται υάλινα αγγεία, τα οποία ήταν μονόχρωμα ή πολύχρωμα και ήταν κατασκευασμένα γύρω από έναν πυρήνα. Μία σειρά από μονόχρωμα αγγεία πολυτελείας, με φυσικό πράσινο ή κιτρινωπό χρώμα, πιθανώς να ήταν έργο υαλοτεχνιτών από τη Φοινίκη. Πιο διαδεδομένη είναι μία ομάδα ψηλών φιαλιδίων τα οποία χρησιμοποιούνταν ως αρωματοδοχεία, τα λεγόμενα αλάβαστρα, γνωστά από την Κύπρο, την Ιταλία και την Παλαιστίνη. Μερικά αλάβαστρα ήταν κατασκευασμένα με τεχνική κατά την οποία μία βέργα ήταν καλυμμένη με κάποιο υλικό που στη συνέχεια απομακρυνόταν, ενώ η κεντρική κοιλότητα δημιουργούνταν με κατεργασία «εν ψυχρώ».

Η τεχνική του «πυρήνα» αναγεννήθηκε στα υαλοποιεία της Μεσοποταμίας κατά τα μέσα του 8^{ου} αι. π.Χ. Στα ίδια υαλοποιεία αποδίδονται κάποια κομμάτια από

αντικείμενα από χυτή μπλε ύαλο στην προσπάθεια των υαλουργών να μιμηθούν το λάπις λάζουλι (λαζουρίτη). Συγκρινόμενα με τα προϊόντα της εποχής του Χαλκού τα αγγεία της Μεσοποταμίας, που έχουν κατασκευαστεί με την τεχνική του «πυρήνα», είναι πιο θαμπά. Κατά τον 7^ο αι. π.Χ. τα αγγεία της Μεσοποταμίας έφτασαν μέχρι την Περσία και φαίνεται πως οδήγησαν στην εκεί ίδρυση βιοτεχνίας υάλου, προϊόντα της οποίας είναι τα πολυάριθμα υάλινα αγγεία που βρέθηκαν στα Σούσα. Επίσης μία μικρής κλίμακας βιοτεχνία, που ιδρύθηκε στην κεντρική Ιταλία (Etruria) τον 7^ο και 6^ο αι. π.Χ., πιθανότατα δημιουργήθηκε από μεσοποτάμιους υαλουργούς. Τα προϊόντα της ήταν οινοχόες και λάγνηροι της τεχνικής του «πυρήνα», αλάβαστρα χρώματος μπλε, καφέ ή κίτρινου, καθώς και ψήφοι, κατασκευασμένες και αυτές με την τεχνική του «πυρήνα».

Η συμβολή των μεσοποταμιακών υαλουργείων αλλά και των Φοινίκων στην ανάπτυξη της υαλουργίας του ελλαδικού χώρου διαφαίνεται από τα μέσα του 7^{ου} αι. π.Χ. με τη διάδοση των μεσοποταμιακών αγγείων τεχνικής του «πυρήνα», ορισμένα από τα οποία βρέθηκαν στη Ρόδο, καθώς και με την εμπορία των σύγχρονων αδιαφανών ψήφων με οφθαλμωτή διακόσμηση, κατασκευασμένων με ράβδο, όπως και των λεγόμενων φοινικικών φυλαχτών (περιάπτων), τα οποία διαδίδονται από τα μέσα του 6^{ου} αι. π.Χ. στη Μεσόγειο. Οι παραπάνω ομάδες θεωρήθηκαν ότι εντάσσονται στη σφαίρα του λεγόμενου «ροδιακού-μεσοποταμιακού» εργαστηρίου που πιθανώς ιδρύθηκε τον 7^ο αι. π.Χ. στη Ρόδο από μεσοποτάμιους μετανάστες υαλουργούς. Οι τελευταίοι φαίνεται ότι κατασκεύαζαν και τα διαφανή υάλινα αντικείμενα της περιόδου αυτής. Το «ροδιακο-μεσοποταμιακό» ή «ροδιακο-δυτικοασιατικό» υαλουργείο αποτέλεσε την εργαστηριακή πηγή προέλευσης της μεταγενέστερης υαλουργικής παραγωγής από το β' μισό του 6^{ου} αι. π.Χ. στη Ρόδο, στη Μακεδονία και στο Αιγαίο, όπως και των μεσογειακών ομάδων τεχνικής του «πυρήνα», καθώς και των μικροαντικειμένων καλλωπισμού, κυρίως ψήφων και περιάπτων (Τριανταφυλλίδης 2000).

Τα περισσότερα υάλινα αγγεία της τεχνικής του «πυρήνα», που διαδόθηκαν πάρα πολύ, είναι τα αγγεία που προέρχονται από εργαστήρια της Μεσογείου, τα οποία ήταν σε λειτουργία από τα τέλη του 6^{ου} αι. έως τα μέσα του 1^{ου} αι. π.Χ. Τα αγγεία αυτά χρησίμευαν για αρώματα, αιθέρια έλαια και καλλυντικά. Συγκροτούν ένα ομοιογενές σύνολο με σχήματα που είναι ίδια με τα σχήματα των αντίστοιχων ελληνικών πήλινων και μεταλλικών αγγείων. Οι πιο διαδεδομένοι τύποι είναι φιάλες σε σχήματα

αλαβάστρων, αμφορίσκων, αρυβάλλων και οινοχοών. Αυτές οι μορφές ακολουθούν το συρμό της ελληνικής κεραμικής (Τιβέριος 1996). Το πιο συχνό χρώμα του σώματος είναι το σκούρο μπλε, αλλά πιθανότατα τα πιο ελκυστικά αγγεία είχαν χρώμα αδιαφανές άσπρο. Οι διακοσμήσεις είχαν διάφορα χρώματα, όπως κίτρινο, πορτοκαλί, άσπρο και στο σώμα πολλές φορές είχαν σχήμα ζγκ-ζαγκ ή γιρλάντας (εικ. 1).



Εικόνα 1: Ομάδα υάλινων αντικειμένων κατασκευασμένων με την τεχνική του «πυρήνα» από τη Ρόδο. Χρονολογούνται στο 550-400 π.Χ. (Tait 1999).

Τα αγγεία αυτά πολύ συχνά αποτελούσαν αντικείμενο εμπορίου, το οποίο στην αρχή βρισκόταν πιθανότατα σε χέρια Φοινίκων. Αυτά τα αγγεία της τεχνικής του «πυρήνα» έφτασαν σε όλες τις μεγάλες πόλεις της Μεσογείου και ταξίδεψαν επίσης από τη Μαύρη Θάλασσα στα Βαλκάνια μέχρι και στη Γαλλία. Δεν έχουν βρεθεί ακόμα στοιχεία σχετικά με τα εργαστήρια παραγωγής τους, αλλά πιθανότατα πρέπει να εντοπιστούν στη Ρόδο, καθώς εκεί έχει βρεθεί μεγάλος αριθμός αγγείων σε διάφορα νεκροταφεία και αποθέτες (Τριανταφυλλίδης 2000).

Είναι φανερό πως οι Έλληνες τον 5^ο και 4^ο αι. π.Χ. κατασκεύαζαν επίσης πράσινη και κίτρινη καθαρή ύαλο. Τα ευρήματα στο εργαστήριο του Φειδία στην Ολυμπία υποδεικνύουν επιτόπου χύτευση της υάλου σε καλούπια από άργιλο, τεχνική η οποία

τελικά συνδέεται με το μεγάλο χρυσελεφάντινο άγαλμα του Δία που ο ίδιος φιλοτέχνησε.

Η Ελληνιστική περίοδος ξεκινά με το θάνατο του Μεγάλου Αλεξάνδρου το 323 π.Χ. μέχρι την απαρχή της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας περίπου το 31 π.Χ. Το β' μισό του 3^{ου} αι. π.Χ. εμφανίστηκε ένας καθαρά ελληνιστικός ρυθμός στην υαλουργία. Η Αλεξάνδρεια, η νέα πρωτεύουσα που ιδρύθηκε στην Αίγυπτο από τον Μέγα Αλέξανδρο το 332 π.Χ., ήταν ένα από τα μεγάλα κέντρα υαλουργίας για την κατασκευή ελληνιστικών υάλινων αντικειμένων. Από τα μέσα του 2^{ου} αι. π.Χ. η βιομηχανία υάλου έχει πλέον εδραιωθεί και η παραγωγή έχει αυξηθεί πολύ. Κατά την εποχή του Αυγούστου (27 π.Χ.-13 μ.Χ.) η βιομηχανία της υάλου υφίσταται τις τεχνικές συνέπειες που φέρνει η επανάσταση της ανακάλυψης της φουσητής υάλου. Παρόλα αυτά η μη φουσητή ύαλος συνεχίζει να παράγεται μέχρι τα μέσα του 1^{ου} αι. μ.Χ. (Tait 1999).

Κατά τη διάρκεια του 1^{ου} αι. μ.Χ. η ανακάλυψη της φουσητής υάλου, ίσως στη Συρία, μετέτρεψε την ύαλο σε φθηνό εμπόρευμα που μπορούσε να παραχθεί μαζικά και έδωσε αναμφισβήτητα το έναυσμα για τον πολλαπλασιασμό των υαλουργείων σε όλη τη ρωμαϊκή επικράτεια. Σε αντίθεση με το μεγάλο αριθμό υάλινων αντικειμένων, κατά τη Ρωμαϊκή περίοδο, υπάρχει έλλειψη πληροφοριών όσον αφορά το σχεδιασμό και τις πρακτικές των υαλουργείων. Τα υάλινα αντικείμενα έπαψαν πια να είναι προϊόντα πολυτελείας, μορφολογικά έγιναν πιο απλά και λειτουργικά και χρησιμοποιήθηκαν ευρύτατα για οικιακούς σκοπούς. Υάλινα αγγεία χρησιμοποιήθηκαν ιδιαίτερα για τη μεταφορά και αποθήκευση προϊόντων, επειδή ήταν ελαφρά, διαφανή, επαναχρησιμοποιήσιμα και δεν μετέδιδαν γεύση στο περιεχόμενό τους. Συσκευάζονταν μέσα σε άχυρο έτσι ώστε να αντέχουν στα μακρινά ταξίδια στη στεριά ή τη θάλασσα. Εκτός από τα πρακτικά υάλινα σκεύη κατασκευάζονταν ευρέως και υάλινα αντικείμενα, φουσητά σε μήτρα και σε διάφορα σχήματα, όπως ζώα, ανθρώπινες κεφαλές, όστρακα κ.ά. (Μήρτσου 2000· Ζαχαριάς και Henderson 2010).

1.3 Αρχαίες υάλινες ψήφοι

Ιστορική επισκόπηση

Σημαντικό μέρος στην αρχαία υαλουργία από άποψη ευρημάτων καταλαμβάνουν οι ψήφοι (χάντρες), δηλ. σφαιρικά, κυλινδρικά, δισκόμορφα, δακτυλιοειδή ή ειδικού σχήματος αντικείμενα με κατά μήκος τρήμα για ανάρτηση σε περιδέραιο (όρμο). Πρόκειται για την απλούστερη μορφή υάλινου αντικειμένου που πρωτοεμφανίστηκε. Κατασκευάζονταν με διάφορες τεχνικές και χρησίμευαν στην αρχή για διακόσμηση. Λόγω της ανθεκτικότητάς τους, του μικρού μεγέθους τους, της ευκολίας μεταφοράς και της μεγάλης χρήσης τους οι ψήφοι θεωρούνταν ένα πολύτιμο αγαθό εμπορίου ήδη από τις Νεολιθικές κοινωνίες.

Σύμφωνα με τον Τριανταφυλλίδη (Τριανταφυλλίδης 1998, όπου και παλαιότερη βιβλιογραφία) οι πρωιμότερες ψήφοι κατασκευάστηκαν για να χρησιμοποιηθούν είτε ως κοσμήματα είτε ως φυλαχτά. Για την κατασκευή τους αξιοποιήθηκαν απλά καθημερινά αντικείμενα, ελαφρώς επεξεργασμένα, όπως δόντια ή κομμάτια από κέρατα, όστρακα, τεμάχια σταλακτιτών και άλλα αντικείμενα από υλικό που μπορούσε κανείς να επεξεργαστεί. Αργότερα, με την εξέλιξη της αρχαίας τεχνολογίας και της λιθογλυπτικής, δόθηκε στον άνθρωπο η δυνατότητα της επεξεργασίας πολύτιμων και ημιπολύτιμων λίθων, όπως του κορνεάλη, του αιματίτη και του αχάτη, τους οποίους χρησιμοποίησε όχι μόνον ως κοσμήματα στο λαιμό και στο βραχίονα, αλλά και ως φυλαχτά ή ενθέματα σε ενδύματα.

Αν και οι πρώτες στρωματογραφημένες ψήφοι ανάγονται στο μέσον της 6ης χιλιετίας π.Χ., υάλινες ψήφοι φαίνεται ότι χρησιμοποιήθηκαν αργότερα, κατά την 3η χιλιετία π.Χ., στην περιοχή του Β. Καυκάσου, στην Αρμενία, στο Αζερμπαϊτζάν και στην Τασκένδη (Sleen 1973), καθώς και στο γεωγραφικό χώρο της ΒΔ Ασίας και της Μεσοποταμίας (Henderson 1988a). Οι υάλινες ψήφοι, οι οποίες αποτελούν και την πρωιμότερη μορφή κατεργασίας της υάλου, όπως και η φαγεντιανή, αντικατέστησαν τους πολύτιμους και ημιπολύτιμους λίθους επειδή ήταν φθηνότερα υλικά.

Τα πρώτα βεβαιωμένα λείψανα υαλουργείων για την κατασκευή υάλινων ψήφων εντοπίστηκαν στις Θήβες και στην περιοχή της Tel el Amarna της Αιγύπτου. Χρονολογούνται στην περίοδο της βασιλείας του Αμένωφι Ι (1535 π.Χ.) (Sleen 1973).

Η ακμή της υαλουργίας κατά την περίοδο 1500 έως 1200 π.Χ. στην Εγγύς Ανατολή έφερε στο φως μεγάλο αριθμό ψήφων από τις περιοχές Tell al-Rimah, Nuzi, Nippur και Baq' ah, όπου πιθανώς είχαν δημιουργηθεί εργαστήρια τα οποία κατεργάζονταν με τις ίδιες μεθόδους τον ψημένο πηλό και τη φαγεντιανή (Τριανταφυλλίδης 1998).

Σημαντικά ευρήματα για την έρευνα της αρχαίας υαλουργίας και των εμπορικών σχέσεων της Ανατολής με την Ελλάδα και την Ευρώπη κατά τη Μυκηναϊκή περίοδο (1300 π.Χ.) προσφέρει η μελέτη του ναυαγίου του Ulu Burun, όπως προαναφέρθηκε. Η έρευνα του ναυαγίου έχει δώσει πάρα πολλές πληροφορίες σχετικά με τα αντικείμενα εμπορίου και τις πρώτες ύλες της εποχής του Χαλκού (Pulak 1988, Pulak 1998). Στο εμπόρευμα του πλοίου συγκαταλέγονταν κυρίως πρώτες ύλες καθώς και ολοκληρωμένα τεχνουργήματα. Βρέθηκαν 10 τόνοι ράβδων χαλκού και ένας τόνος ράβδων κασσίτερου, καθώς και μεγάλος αριθμός από δισκοειδή υαλοπλινθώματα. Μεταξύ των ευρημάτων άφθονα ήταν τα κυπριακά αγγεία, τα χάλκινα αγγεία, τα αγγεία πόσης από φαγεντιανή, τα αρωματοδοχεία από ελεφαντόδοντο και πολλά άλλα. Στο ναυάγιο βρέθηκαν και χιλιάδες ψήφοι με μεγάλη ποικιλία των υλικών, που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή τους, όπως ψήφοι από ύαλο, φαγεντιανή, κεχριμπάρι, χαλαζία, αχάτη και κόκαλο. Συγκεκριμένα συγκεντρώθηκαν περίπου 75.000 ψήφοι από φαγεντιανή και 9.500 υάλινες ψήφοι (Pulak 2001).

Στην Ευρώπη οι πρωιμότερες ψήφοι ανάγονται στο β' μισό του 15^{ου} αι. π.Χ. και έχουν βρεθεί στο Wilsford της Αγγλίας, ενώ κατά το 13^ο αι. π.Χ. η ύαλος έχει διαδοθεί ευρύτερα και ανευρίσκεται σε αφθονία στην Ελβετία και στη Γερμανία. Εργαστήρια ψήφων από ερυθρή και κυανή ύαλο ευρωπαϊκού τύπου κατά την πρώιμη 1^η χιλιετία π.Χ. έχουν εντοπισθεί στην εκβολή του ποταμού Πάδου στην Frattesine και σε άλλες περιοχές της Β. Ιταλίας (Guido 1978).

Στον ελλαδικό γεωγραφικό χώρο η παρουσία των υάλινων ψήφων είναι γνωστή από την ΥΕ Ι και κυρίως την ΥΕ ΙΙ περίοδο στην ηπειρωτική Ελλάδα, όπως στην Πελοπόννησο (Πρόσυμνα, νεκροταφείο των Αηδονιών Αργολίδας), στην Κρήτη και στη Ρόδο. Σε αφθονία βρίσκονται από το β' μισό του 14^{ου} αι. π.Χ. έως το τέλος του 12^{ου} αι. π.Χ., δηλαδή κατά την ΥΕ ΙΙΑ2-ΙΙΒ περίοδο. Οι ψήφοι και τα πλακίδια παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία και κατασκευάζονται από στεάτινες μήτρες ως περίαπτα (φυλαχτά) ή διαδήματα. Πιθανώς χρησίμευαν και ως υαλοενθέματα σε ενδύματα και έπιπλα ή ως

κομβία περονών ή υφαντικά σφονδύλια και βαρίδια για την καλύτερη προσαρμογή των πτυχώσεων του ενδύματος. Συσχετίζονται μάλιστα και συγκρίνονται ως προς το είδος των διακοσμητικών σχεδίων και την τεχνοτροπική απόδοση με έργα της χρυσοχοΐας. Από αυτή τη σύγκριση προκύπτει ότι πιθανόν οι τεχνίτες χρησιμοποιούσαν ίδιες μήτρες για την κατασκευή χρυσών και υάλινων κοσμημάτων (Τριανταφυλλίδης 1998).

Η παρουσία ενός αιγαιακού εργαστηρίου ή πιθανώς άλλων εργαστηριακών κέντρων στην ηπειρωτική Ελλάδα κατά την Υστερομινωική και τη Μυκηναϊκή περίοδο πρέπει να θεωρηθεί βέβαιη, ιδίως στα μεγάλα ανακτορικά κέντρα, όπως στις Μυκήνες, Πύλο, Θήβα, Τίρυνθα και Αθήνα, καθώς και στην Κρήτη και στη Ρόδο. Ως προς την εργαστηριακή προέλευση της μυκηναϊκής υάλου, παρόλο που η πλειονότητά της παρουσιάζει τεχνοτροπικά χαρακτηριστικά που υποδεικνύουν μεσοποταμιακή προέλευση, η χημική σύνθεση του υλικού έχει όμοιες αναλογίες με την αιγυπτιακή ύαλο. Ως προς τα εργαστηριακά κέντρα φαίνεται ότι υπάρχουν τρία μεγάλα κέντρα που επηρεάζουν την κατασκευή ψήφων: ένα ευρωπαϊκό, ένα μεσοποταμιακό και ένα αιγυπτιακό (Τριανταφυλλίδης 1998).

Οι ψήφοι στην Υπομυκηναϊκή περίοδο, σύμφωνα με τη μαρτυρία των ευρημάτων, είναι λιγοστές. Κατά την Πρωτογεωμετρική και πρώιμη Γεωμετρική περίοδο η ύαλος, όπως και άλλα πολύτιμα υλικά, όπως ο χρυσός, το ελεφαντοστό και η φαγεντιανή, είναι σπάνια, όπως υποδεικνύεται από τα ευρήματα στη Ρόδο, στην Κω, στην Κνωσό, στην Αιτωλία και στη Σκύρο. Πιθανώς αποτελούσαν πολύτιμα φυλαχτά από παλαιότερες περιόδους (κειμήλια) ή εισαγωγές από την Ανατολή. Είναι σημαντική κατά την περίοδο αυτή η παρουσία υάλινων ψήφων και ψήφων από φαγεντιανή σε γνωστές αρχαιολογικές θέσεις, όπως το Λευκαντί, η Ερέτρια, η Αθήνα, η Περαχώρα, η Βίτσα Ζαγορίου, το Ιερό της Ορθίας Αρτέμιδος στη Σπάρτη, ο Αετός Ιθάκης, η Ελεύθερνα της Κρήτης, η Ρόδος και το Ιερό της Αρτέμιδος Μουνιχίας. Οι ψήφοι αυτές ήταν επείσακτες από τα μεγάλα κέντρα της Β. Μεσοποταμίας, Β. Συρίας και Φοινίκης, καθώς και τη Δύση. Η ομάδα αυτών των υάλων θα πρέπει κατά τον Τριανταφυλλίδη να ενταχθεί στον ευρύτερο ασσυριακό κύκλο κατασκευής χυτών αγγείων (Τριανταφυλλίδης 1998).

Κατά τον ύστερο 7^ο αι. π.Χ. έως και τους πρώιμους Ελληνιστικούς χρόνους, οι ψήφοι και τα περιάλπτα βρίσκονται σε ένα ευρύ γεωγραφικό χώρο και σχετίζονται αρχικά με το εμπόριο των Φοινίκων. Ένας μεγάλος αριθμός τους βρέθηκε στις δυτικές αποικίες

των Φοινίκων στη Μεσόγειο, όπως στην Καρχηδόνα, στη Σαρδηνία, στη Σικελία μέχρι και στην Ισπανία, αλλά και στη Ρόδο. Σημαντικό κέντρο επιρροής των Φοινίκων αποτελεί η περιοχή του Εύξεινου Πόντου, όπου οι ψήφοι και τα περιάπτα βρίσκονται σε αφθονία από τον 6^ο έως και τον 3^ο αι. π.Χ. Ορισμένοι βασικοί τύποι του 4^{ου} και 3^{ου} αι. π.Χ. φαίνεται ότι κατασκευάζονται στην Καρχηδόνα. Βρέθηκαν επίσης και στην Εγγύς Ανατολή, ενώ οι περισσότεροι γνωστές και διαδεδομένες παραγωγές περιάπτων φαίνεται ότι προέρχονται από το γεωγραφικό χώρο της Φοινίκης.

Η έρευνα στον ελλαδικό χώρο έχει φέρει στο φως μεγάλο αριθμό υάλινων ψήφων από διάφορες αρχαιολογικές περιοχές (βλ. ενδεικτικά Τριανταφυλλίδης 2002α Ιγνατιάδου και Χατζηνικολάου 2002 κ.ά.) και έχει αποκαλύψει ως τώρα δύο εργαστήρια κατασκευής ψήφων κατά την Ελληνιστική περίοδο, όπως επισημαίνει ο Τριανταφυλλίδης (Τριανταφυλλίδης 1998): το υαλουργείο της Ρόδου του 3^{ου}- 2^{ου} αι. π.Χ. και ένα μικρότερο, στη Δήλο, το οποίο χρονολογείται στο τέλος του 2^{ου}- αρχές 1^{ου} αι. π.Χ. Η παραγωγή των ψήφων φαίνεται να συνεχίζεται και στους Ρωμαϊκούς χρόνους, αν και δεν έχουν αποκαλυφθεί ως σήμερα εγκαταστάσεις ή αποθέσεις ρωμαϊκών εργαστηρίων.

Χρήση

Οι ψήφοι κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούνταν όχι μόνο για προσωπικό καλλωπισμό αλλά καθόριζαν και την κοινωνική και θρησκευτική θέση όποιου τις φορούσε. Επομένως, η χρήση των ψήφων κατά την αρχαιότητα χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες: α) για προσωπικό στολισμό, β) για κοινωνική διαφοροποίηση και τέλος γ) για θρησκευτικούς λόγους. Η διάκριση της χρήσης τους ενέχει σημαντικές δυσκολίες, επειδή οι ψήφοι συνήθως βρίσκονται αποσπασματικά στο ανασκαφικό περιβάλλον. Παρόλα αυτά έχουν βρεθεί μαρτυρίες στην Αίγυπτο, στη Δ. Ασία και στο Αιγαίο για κάθε μία από τις τρεις χρήσεις.

α) Προσωπικός στολισμός

Στην αρχαία Αίγυπτο κοσμήματα με ψήφους φορούσαν άντρες και γυναίκες. Τα κοσμήματα αυτά ήταν κυρίως όρμοι (περιδέραια), ψέλια (βραχιόλια), κοσμήματα αστραγάλου και δαχτυλίδια. Στις αιγυπτιακές ταφές οι ψήφοι σχετίζονται με τη γονιμότητα. Βρέθηκαν ακόμα και στις πιο φτωχές ταφές τουλάχιστον μία ή δύο ψήφοι γύρω από το λαιμό ή το χέρι του νεκρού (Aldred 1971).

Πιθανότατα η πιο αναγνωρίσιμη μορφή αιγυπτιακού κοσμήματος είναι το *usekh*, ένα περιδέραιο με πολυάριθμες πολύχρωμες ψήφους, το οποίο έφθανε μέχρι τους ώμους. Το σχέδιο του *usekh* αναπτύχθηκε κατά τη διάρκεια του Παλαιού Βασιλείου (μεταξύ 3^{ης} και 6^{ης} Δυναστείας, 2686-2134 π.Χ.) και το φορούσαν ευρέως άντρες και γυναίκες μέχρι και την περίοδο του Νέου Βασιλείου (μεταξύ 18^{ης} και 20^{ης} Δυναστείας, 1570-1070 π.Χ.) (Wilkinson 1971). Άλλα περιδέραια με ψήφους ήταν κατασκευασμένα μόνο με μία σειρά ψήφων, όπως έχει βρεθεί σε πολλές ταφές ανδρών και γυναικών. Επίσης σε διάφορες παραστάσεις διακρίνονται κοντά περιδέραια τα οποία φορούσαν γυναίκες κάθε τάξης (Andrews 1991· Wilkinson 1971).

Οι ψήφοι κοσμούσαν επίσης τα ενδύματα και ράβονταν συνήθως με πολύχρωμα σχέδια επάνω στο ύφασμα, πιθανότατα για να έρχονται σε αντίθεση με το λινό ύφασμα που χρησιμοποιούσαν οι Αιγύπτιοι (Barber 1991). Ανάμεσα στα ευρήματα του τάφου του βασιλιά Tutankhamen της 18ης Δυναστείας συμπεριλαμβάνεται και ένα ένδυμα, ένα κάλυμμα κεφαλής και υποδήματα κοσμημένα με ψήφους που πιθανόν είχαν διττό σκοπό, δηλ. αφενός να διακοσμήσουν και αφετέρου να δηλώσουν την κοινωνική θέση (Ingram 2005).

Σε περιοχές της Κύπρου και κατά μήκος της συροπαλαιστινιακής ακτής τα κοσμήματα με ψήφους επηρεάστηκαν από την αιγυπτιακή και μυκηναϊκή τεχνοτροπία λόγω του εμπορίου και των ανταλλαγών δώρων (Higgins 1980).

Στο Αιγαίο ψήφοι από διάφορα υλικά, συμπεριλαμβανομένων της φαγεντιανής και της υάλου, κοσμούσαν συχνά το νεκρό στις μυκηναϊκές ταφές. Αν και συναντώνται σε ταφές και των δύο φύλων οι ψήφοι βρίσκονται πιο συχνά σε γυναικείες ταφές. Η εικονογραφία επίσης μαρτυρεί αρκετές χρήσεις των ψήφων στην περιοχή του Αιγαίου, μολονότι πρωταρχικά φαίνεται πως χρησιμοποιούνται μόνο από τις ανώτερες τάξεις. Η πιο κοινή μορφή είναι τα περιδέραια τα οποία μπορεί να αποτελούνται από πολλές σειρές ψήφων με διαφορετικό χρώμα και σχήμα. Πολλές φορές στα ενώτια (σκουλαρίκια), συχνά κατασκευασμένα από μέταλλο, τοποθετούσαν και ψήφους για να προσθέσουν χρώμα. Εξάλλου στις τοιχογραφίες της Σαντορίνης παριστάνονται γυναίκες που φέρουν σειρές ψήφων στα μαλλιά τους, ενώ ψήφοι χρησιμοποιούνταν και σε περόνες στην περιοχή του Αιγαίου, σύμφωνα με αρχαιολογικές μαρτυρίες (Ingram 2005).

β) Κοινωνική διαφοροποίηση

Οι ψήφοι, εκτός από τη χρήση τους για καλλωπισμό, συχνά υποδηλώνουν την κοινωνική θέση αυτού που τις φορούσε. Η παρουσία υάλου και εργαστηρίων κατασκευής ψήφων στη βασιλική πόλη Amarna της Αιγύπτου υποδεικνύει σύνδεση μεταξύ του βασιλικού οίκου και της παραγωγής κοσμημάτων από ψήφους (Petrie 1974). Επιπλέον σε κάποιες τοιχογραφίες αιγυπτιακών τάφων παριστάνονται περιδέραια με ψήφους ως δώρα ξένων προς το βασιλέα, επιβεβαιώνοντας ότι οι ψήφοι, κατά την εποχή του Χαλκού και όχι μόνο, ανταλλάσσονταν ως δώρα μεταξύ των διαφόρων βασιλείων. Πολλές φορές δωρίζονταν από τους Φαραώ περιδέραια με ψήφους σε υπηρέτες και αυλικούς ως ανταμοιβή για πολιτικές ή στρατιωτικές υπηρεσίες (Παπαδοπούλου 2003).

Στη Δ. Ασία κοσμήματα με ψήφους υποδείκνυαν επίσης την κοινωνική θέση. Κυβερνήτες ή πριγκίπισσες από τα Σούσα (αρχαία πόλη του Ελάμ και μία από τις τέσσερις πρωτεύουσες της αρχαίας περσικής αυτοκρατορίας) φορούσαν περιδέραια με μεγάλες ψήφους. Όπως μαρτυρείται στους καταλόγους της προίκας της πριγκίπισσας Μιτάνι, χρήση ψήφων έκαναν επίσης γυναίκες που ανήκαν σε υψηλά κοινωνικά στρώματα. Μεσο-Ασσυριακοί τάφοι ατόμων με υψηλή κοινωνική θέση περιέχουν επίσης πολυάριθμες ψήφους από ημιπολύτιμους λίθους, από ύαλο και φαγεντιανή. Στην Ur της Ν. Μεσοποταμίας, κοντά στις εκβολές του Ευφράτη και του Τίγρη στον Περσικό κόλπο, παρόλο που έχουν βρεθεί ψήφοι και σε πλούσιες και σε φτωχές ταφές, οι τάφοι των πλούσιων ξεχωρίζουν εύκολα κυρίως από το μέγεθος και το βαθύ χρώμα των ψήφων. Στις γυναικείες ταφές στην Ur συναντώνται περισσότερες ψήφοι από ό,τι στις ανδρικές ταφές, αλλά παρόλα αυτά ψήφοι ανευρίσκονται και σε ταφές υψηλόβαθμων αντρών (Ingram 2005).

Τα ευρήματα στην Amarna και τα αντίστοιχα ευρήματα στα ερείπια ενός εργαστηρίου κοσμημάτων κοντά στο μυκηναϊκό ανάκτορο της Θήβας στην ηπειρωτική Ελλάδα επιβεβαιώνουν τη σύνδεση των εργαστηρίων παραγωγής ψήφων-κοσμημάτων με το ανάκτορο (Symeonoglou 1973). Και οι μυκηναϊκές ψήφοι-φυλαχτά πιθανότατα υποδεικνύουν υψηλή κοινωνική θέση ή αξίωμα.

Εκτός από τα παραπάνω, σειρές από ψήφους εναποθέτονταν κατά μήκος του νεκρού, όπως για παράδειγμα σειρές ψήφων από ύαλο και φαγεντιανή αποτελούσαν μέρος των κτερισμάτων που βρέθηκαν στον τάφο 66 στην Κνωσό (Evans 1906). Οι

εναποθέσεις ψήφων σε τάφους δηλώνουν πολλές φορές την υψηλή κοινωνική θέση που κατείχε ο νεκρός, όταν ζούσε, όπως υποδεικνύουν τα ευρήματα στους βασιλικούς τάφους στις Μυκήνες και στα Δενδρά.

γ) Θρησκευτικοί λόγοι

Μία ακόμα πολύ σημαντική χρήση των ψήφων γενικότερα κατά την αρχαιότητα ήταν η χρήση τους ως φυλαχτών. Στην Αίγυπτο υπάρχει ετυμολογική σύνδεση ανάμεσα στη λέξη που σήμαινε την «τύχη» και στη λέξη που χρησιμοποιόταν για τη σημασία «ψήφος» (Dubin 2004). Τα φυλαχτά με τη μορφή ψήφων ήταν σε ευρεία χρήση, όπως συμπεραίνεται από το μεγάλο αριθμό πήλινων μητρών, τις οποίες χρησιμοποιούσαν στην Amarna της Αιγύπτου για την κατασκευή φυλαχτών από φαγεντιανή. Εξάλλου στην Αίγυπτο έχουν βρεθεί πολλές ποικιλίες από οφθαλμωτές ψήφους οι οποίες προστάτευαν αυτόν που τις φορούσε από το «κακό μάτι». Αυτή η δοξασία απέναντι στις δυνάμεις του «κακού ματιού», που είχε ως κύρια αιτία τη ζήλια, ήταν ένα φαινόμενο πολύ διαδεδομένο στον αρχαίο κόσμο. Ακόμη και σήμερα σε πολλά μέρη της Μεσογείου για να αποφύγει κανείς το “κακό μάτι” χρησιμοποιεί μία μπλε χάντρα ή μία χάντρα στο σχήμα του ματιού τοποθετημένη σε βραχιόλι, σε κολιέ ή επάνω στο ένδυμα. Οι ψήφοι από φαγεντιανή εξάλλου ήταν πολύτιμες στην Αίγυπτο κυρίως λόγω του συμβολισμού του υλικού- συμβολίζει την αναγέννηση- και της σύνδεσής του με τη λατρεία του Θεού Όσιρι, παρά λόγω της αξίας του (Ingram 2005).

Η σχέση των ψήφων με τη θρησκεία επιβεβαιώνεται και από την παρουσία τους σε ναούς στη Δ. Ασία. Για παράδειγμα ο ναός Α του 15ου αι. π.Χ. στο Nuzi ήταν διακοσμημένος με περισσότερες από 16.000 ψήφους, μερικές από αυτές οφθαλμωτές, οι οποίες είτε ήταν τοποθετημένες σε πλίνθους, είτε ήταν ραμμένες επάνω σε διακοσμητικά υφάσματα, τοποθετημένες σε σειρές κατά μήκος των τοίχων και υποστηριζόμενες από υαλοποιημένα καρφιά τοίχου (Starr 1939).

Πολυάριθμες ψήφοι, πιθανότατα μέρος από αναθηματικές προσφορές ή από τον εξοπλισμό του ιερέα, βρέθηκαν επίσης στο ναό στο Lachish κοντά στη συροπαλαιστινιακή ακτή.

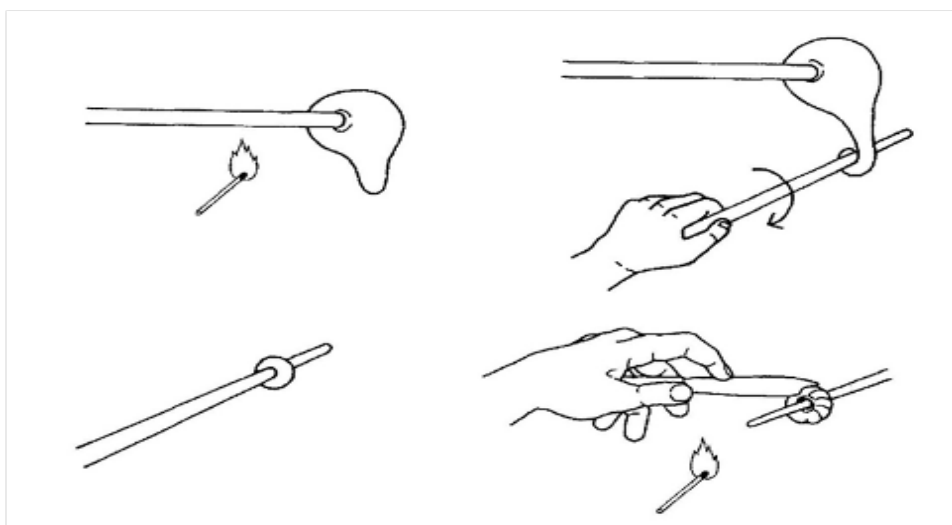
Συνοψίζοντας είναι προφανές ότι οι ψήφοι χρησιμοποιούνταν για πολλαπλές, πολλές φορές αλληλοκαλυπτόμενες, χρήσεις στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου. Για τους άντρες, οι οποίοι φορούσαν κοσμήματα με ψήφους, φαίνεται ότι η χρήση τους

ήταν κυρίως για τη δήλωση της κοινωνικής τους θέσης παρά για λόγους αισθητικής. Οι γυναίκες φορούσαν ψήφους πιο συχνά και με μεγαλύτερη ποικιλία σχεδίων και η χρήση τους ήταν περισσότερο για λόγους αισθητικής παρά κοινωνικής καταξίωσης, παρόλο που πολλές φορές οι ψήφοι σχετίζονταν με τη λατρεία συγκεκριμένων θεοτήτων και θρησκευτικών ιεροτελεστιών στις οποίες συμμετείχαν και γυναίκες.

Τεχνικές κατασκευής

Σύμφωνα με τον Τριανταφυλλίδη (Τριανταφυλλίδης 1998), οι τρόποι κατασκευής των υάλινων ψήφων γενικά είναι: α) η εφέλκυση και περιτύλιξη τηγμένης υάλου γύρω από ράβδο επεξεργασίας, β) η τεχνική της εμπίεσης ή η τεχνική με μήτρα, γ) η τεχνική της ένθεσης ταινιών, δ) η τεχνική της περιστροφής, ε) η τεχνική της εμφύσησης και στ) η τεχνική της διάτρησης (πρβλ. Γλωσσάριο Όρων, στις λ.).

Συγκεκριμένα, η βασική τεχνική κατασκευής των ψήφων είναι η εφέλκυση και η περιστροφή ενός τεμαχίου ζεστής τηγμένης υάλου σε θερμοκρασία περίπου 800-1050 C° γύρω από τη ράβδο επεξεργασίας (εικ. 2). Η άκρη της μεταλλικής ράβδου πολλές φορές έχει κωνικό σχήμα έτσι ώστε η υάλος να μην προσκολλάται στην άκρη του μεταλλικού εργαλείου, το οποίο ο τεχνίτης ωθεί κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας της ζεστής υάλινης ψήφου προς την κατεύθυνση του άκρου της ράβδου. Όταν η ψήφος είναι έτοιμη να απομακρυνθεί από τη ράβδο, ο υαλουργός απομακρύνει την ψήφο από την άκρη του μεταλλικού εργαλείου και την τοποθετεί στον χώρο ψύξης. Η διάτρηση, που επιτυγχάνεται κατά τη διαδικασία κατασκευής, έχει τις πιο πολλές φορές σχήμα κωνικό. Παράλληλα, η ράβδος μπορεί να φέρει στρώμα ασβέστη και πηλού για να είναι δυνατή η απομάκρυνση της υάλου από το μέταλλο, όπως στην περίπτωση των επιμήκων κυλινδρικών ψήφων από το Nuzi, οι οποίες βρέθηκαν να είναι προσκολλημένες σε χάλκινο άκρο εργαλείου (Stern and Nolte 1994).



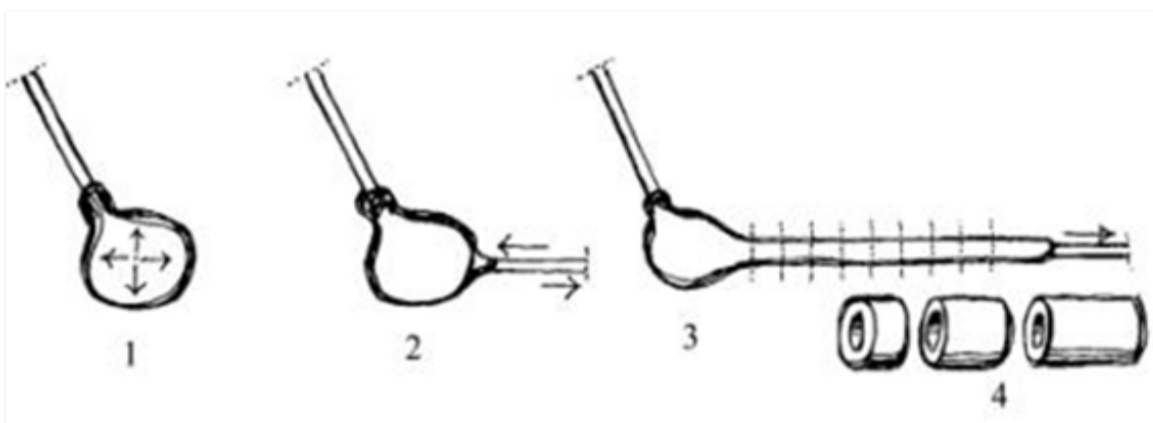
Εικόνα 2: Τεχνική κατασκευής των ψήφων με περιστροφή ενός τεμαχίου ζεστής τηγμένης υάλου γύρω από τη ράβδο επεξεργασίας (Ιγνατιάδου και Αντωνάρας 2008).

Η διακόσμηση των ψήφων γινόταν με τις τεχνικές της εφέλκυσης και της αναδίπλωσης, ενώ η κατασκευή των καλάμων με την τεχνική της περιστροφής. Πολλά διαφορετικά τεμάχια υάλου αποδίδονται σε επιμήκεις ταινίες και τήκονται μαζί πριν κατασκευαστεί η ψήφος, με αποτέλεσμα η διακόσμηση να έχει τη μορφή γραμμών ή κύκλων, οι οποίοι σχηματίζονται με αναδίπλωση (Τριανταφυλλίδης 1998). Οι ποικίλες τεχνικές κατασκευής ψήφων, όπως επισημαίνει ο Kÿsÿkerman, αντιστοιχούν σε εργαστήρια παραγωγής που είχαν εξειδικευτεί σε ορισμένες τεχνικές (Kÿsÿkerman 1988).

Η βασική τεχνική της εφέλκυσης και της περιτύλιξης, που άρχισε να χρησιμοποιείται από τον 14^ο και 13^ο αι. π.Χ. στην Αίγυπτο στα μέσα της 1ης χιλιετίας π.Χ. στο ΒΔ Ιράν αλλά και στα καρχηδονιακά και φοινικικά εργαστήρια, έχει πολλές παραλλαγές. Στις πιο βασικές συγκαταλέγεται η τεχνική της αναδίπλωσης, με την οποία η ψήφος κατασκευάζεται από μία επίπεδη ράβδο υάλου με μήκος ανάλογο της περιμέτρου που απαιτείται για την ψήφο, και με πλάτος όσο είναι επιθυμητό, για να αναδιπλωθεί κυκλικά γύρω από ένα σύρμα, όπως οι ψήφοι που αποδίδονται με την τεχνική της περιστροφής. Κατά τη διαδικασία της τεχνικής αυτής, τα άκρα της ράβδου εμπίεζονται και τήκονται μαζί, ενώ πολλές φορές είναι ορατή η γραμμή τήξης των αναδιπλούμενων περάτων. Μία δεύτερη παραλλαγή της τεχνικής αποτελεί η προετοιμασία και η απόδοση μίας ταινίας υάλου, στο κέντρο της οποίας εμπίεζεται η ράβδος επεξεργασίας

κατακόρυφα, ενώ στη συνέχεια λυγίζονται τα δύο άκρα της ταινίας προς τα άνω, στην κορυφή της ράβδου η οποία τα συνδέει και αποδίδει την ψήφο (Τριανταφυλλίδης 1998).

Με την τεχνική της εφέλκυσης σε μορφή καλάμου (εικ. 3) πραγματοποιείται λήψη ενός τεμαχίου ζεστής υάλου, το οποίο προσκολλάται στη ράβδο επεξεργασίας ενώ χρησιμοποιείται μία δεύτερη ράβδος για τη συγκράτηση της μάζας, οι οποίες αποδίδουν την αρχέτυπο ύαλο σε χοανοειδές σχήμα και το κλείνουν σφαιρικά για να σχηματιστεί στο εσωτερικό της μία φυσαλίδα. Η υαλόμαζα με τη χρήση των δύο ράβδων έλκεται προς τα έξω σε αντίθετες κατευθύνσεις και αποδίδεται σε μορφή υάλινης καλάμου. Η μεγαλύτερη εφέλκυση επιτυγχάνει και μεγαλύτερη επιμήκυνση καθώς και λεπτότερη υάλινη καλάμο. Οι μακριές ράβδοι σε μορφή καλάμων κόβονται κατά μήκος σε κομμάτια, συνήθως σωληνωτής διατομής, ώστε να αποδοθεί το πιο απλό είδος ψήφου με την τεχνική της εφέλκυσης. Η περαιτέρω επεξεργασία της ψήφου επιτυγχάνεται με στίλβωση και χρήση τροχού για τη λείανση των οξειών ακμών ή με αναθέρμανσή της.

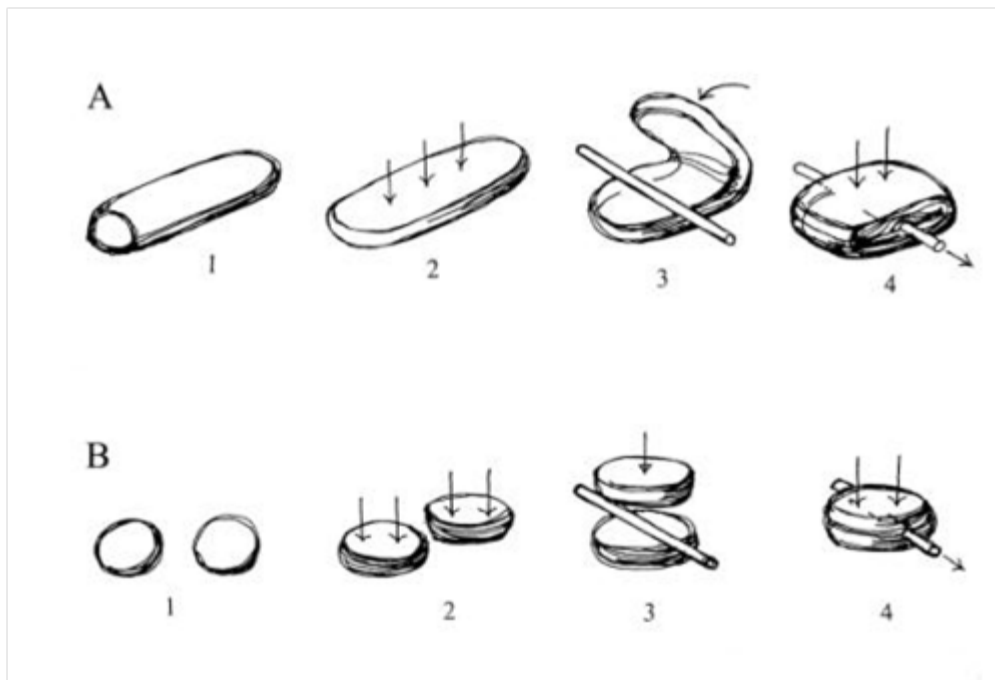


Εικόνα 3: Τεχνική εφέλκυσης σε μορφή καλάμιού (Küçükerman 1988).

Οι πολύχρωμες ψήφοι αποδίδονται είτε με την εμβάπτιση της αρχέτυπης υάλου σε τηγμένη ύαλο με διαφορετικό χρώμα είτε με κυλινδρισμό της σε ημιτηγμένη ύαλο. Για την επίτευξη ομοιογενούς μάζας του υλικού απαιτείται πολλαπλή θέρμανση του επίθετου με το βασικό υλικό για να καταστεί δυνατή η έναρξη της διαδικασίας έλκυσης. Η απόδοση των χρωματιστών ταινιών, οι οποίες αποτελούν την πολύχρωμη διακόσμηση της ψήφου, γίνεται συνήθως παράλληλα προς τη διάτρηση. Πολλές φορές η χρωματική απόδοση λεπτομερειών, σύμφωνα με τις νεότερες έρευνες της Lierke (Lierke 1992), μπορεί να αποδοθεί και με φλόγιστρο, το οποίο επιτυγχάνει απόλυτο έλεγχο της

θέρμανσης ενός μικρού αντικειμένου κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας του, σε περιορισμένο όμως χώρο.

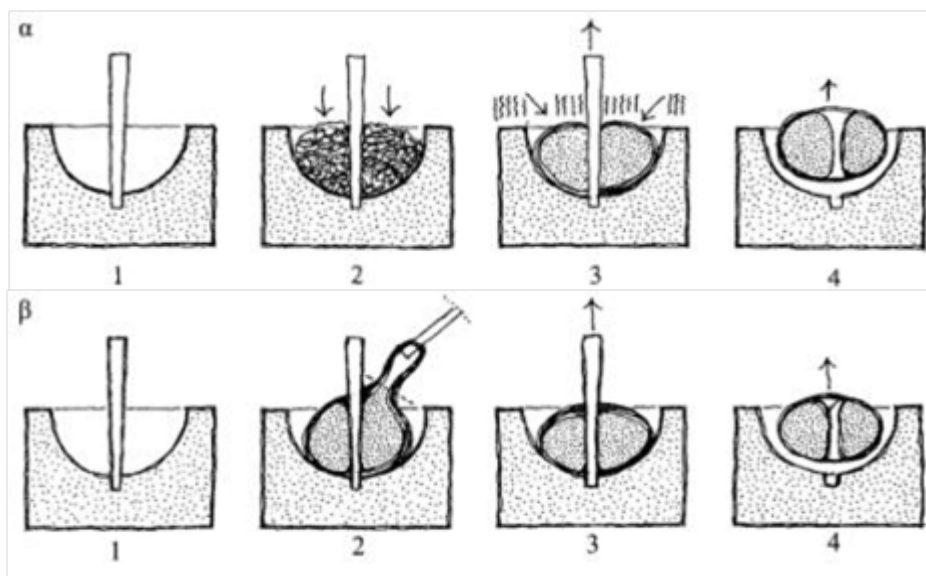
Με την τεχνική της εμπίεσης ή με την τεχνική της μήτρας η ψήφος βρίσκεται σε ημιτηγμένη κατάσταση, ώστε να μπορεί εύκολα να εμπίεστεί σε σχήμα εξαγωνικό ή τετράγωνο ή αμφικωνικό με επίπεδα άκρα και με τη βοήθεια μήτρας. Κατά τον Kÿsÿkerman διακρίνονται αρκετές τεχνικές (εικ. 4, 5): α) με αναδίπλωση της μάζας και εμπίεση ή σύσφιξή της προς τη μήτρα, β) με ώθηση δύο ξεχωριστών φύλλων υάλου μαζί στη μήτρα, γ) με εμπίεση της υάλου με την τεχνική του ψυχρού ή θερμού μετάλλου σε ανοιχτή μήτρα και με ταυτόχρονη διάτρηση (Kÿsÿkerman 1988).



Εικόνα 4: Α) Τεχνική με αναδίπλωση μάζας υάλου Β) Τεχνική με ώθηση δύο ξεχωριστών φύλλων υάλου (Kÿsÿkerman 1988).

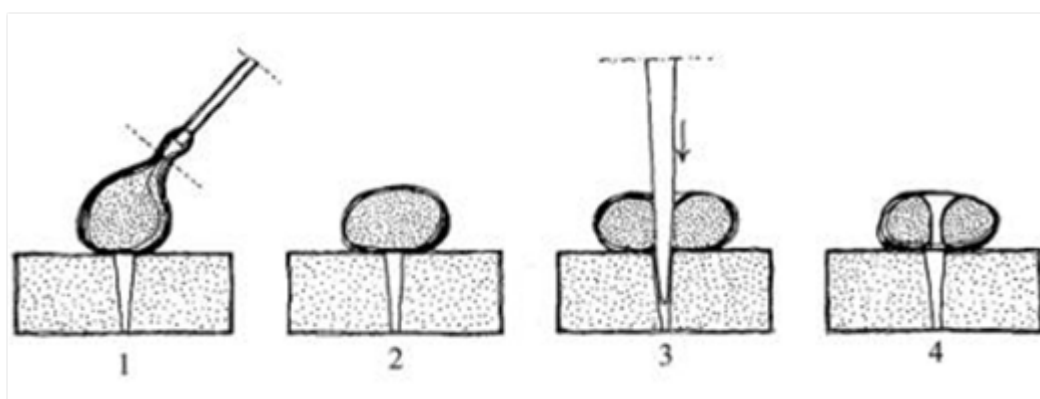
Κατά τον Kÿsÿkerman επίσης διακρίνονται δύο τεχνικές μέθοδοι χύτευσης σε μήτρα: α) η τεχνική τήξης ψυχρού μετάλλου και β) η τεχνική του θερμού μετάλλου. Σύμφωνα με την πρώτη τεχνική οι πρώτες ύλες κονιορτοποιούνται, τοποθετούνται μέσα στη μήτρα και έπειτα θερμαίνονται μέχρι να λειώσουν οι πρώτες ύλες και να σχηματιστεί

η ύαλος. Στη δεύτερη τεχνική η τηγμένη ύαλος τοποθετείται μέσα στη μήτρα, παίρνει το σχήμα της μήτρας και μετά αφήνεται να κρυώσει και αφαιρείται από τη μήτρα.



Εικόνα 5: α) Τεχνική τήξης ψυχρού μετάλλου, β) Τεχνική τήξης θερμού μετάλλου (Küzükerman 1988).

Μία άλλη τεχνική, που προτείνει ο Küzükerman, είναι η τεχνική της διάτρησης (εικ. 6). Σύμφωνα με αυτή, η θερμή και εύπλαστη ύαλος τοποθετείται σε ανοιχτή μήτρα ή σε ειδική επιφάνεια και μετά πιέζεται και υφίσταται διάτρηση με ειδικό αιχμηρό αντικείμενο (Küzükerman 1988).

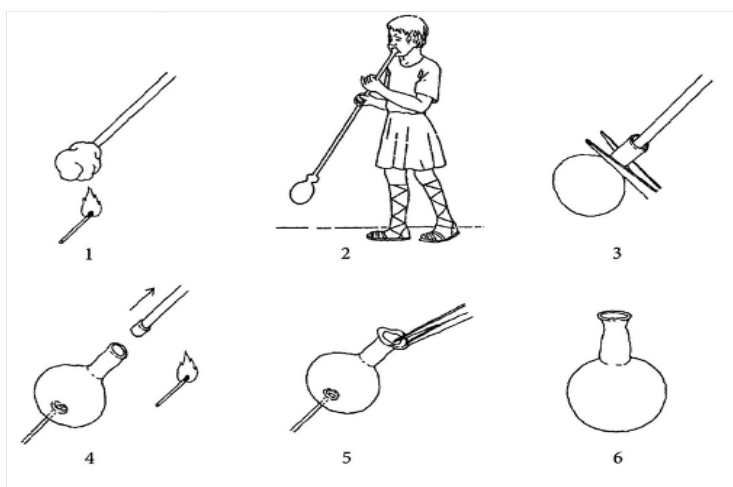


Εικόνα 6: Τεχνική της διάτρησης (Küzükerman 1988).

Με την τεχνική της ένθεσης ταινιών τοποθετούνται δύο ζεστές ταινίες υάλου στην άνω και κάτω επιφάνεια της ράβδου επεξεργασίας, οι οποίες κυλινδρίζονται. Πραγματοποιείται εμπίεση των ταινιών και κοπή ανάλογου μήκους για να σχηματιστεί η διάμετρος της ψήφου, η οποία ολοκληρώνεται με τη συστροφή του δακτυλίου στο επιθυμητό σχήμα.

Η τεχνική της περιστροφής είναι γνωστή από τα σύγχρονα υαλουργεία στη Βενετία και στο Μουράνο. Πραγματοποιείται τήξη μίας υάλινης ράβδου, η οποία περιστρέφεται κυκλικά σε ένα χάλκινο ή σιδερένιο σύρμα με τη μορφή δακτυλίου, με το υπολειπόμενο άκρο της ράβδου να κόβεται. Ο δακτύλιος θερμαίνεται για να αποδοθεί στρογγυλός ή ελλειψοειδής, αλλά και για να αποφευχθούν τα ορατά σημεία σύνδεσης των άκρων. Σύμφωνα με τη διάμετρο του σύρματος αποδίδεται το πλάτος, καθώς και η στενότητα της διάτρησης. Η χρήση επίθετων ταινιών και στιγμών γίνεται χειροποίητα στην επιφάνεια των ψήφων με περιστροφή. Για τη διακόσμηση των ψήφων χρησιμοποιείται η τεχνική των ένθετων ταινιών.

Ψήφοι με την τεχνική της εμφύσησης (εικ. 7) κατασκευάζονταν κατά τους Ρωμαϊκούς χρόνους. Η ψήφος προκύπτει από τμήμα ζεστής υάλινης καλάμιου, το οποίο έχει δημιουργηθεί από εμφύσηση μιας φυσαλίδας στον αέρα είτε με εμφύσησή της σε μήτρα, όταν χρησιμοποιούνται περισσότερα σύνθετα διακοσμητικά σχέδια ψήφων. Χειροποίητες ψήφοι κατασκευάζονταν από στάλες τηγμένης ράβδου υάλου, οι οποίες σε μαλακή κατάσταση διατρυπώνται με το άκρο μίας αιχμηρής καρφίδας ή σύρματος.



Εικόνα 7: Μορφοποίηση αντικειμένου με την τεχνική της εμφύσησης (Ιγνατιάδου και Αντωνάρας 2008).

Σπάνιος τύπος ψήφων είναι οι «ψημένες», οι οποίες κατασκευάζονταν σε οπές από οπτό πηλό, εντός των οποίων ωθούνται ράβδοι. Γύρω από τις οπές αυτές και στο ενδιάμεσο κενό διάστημα εισάγεται η τριμμένη ύαλος σε διαφορετικά χρώματα και τοποθετείται σε οριζόντια φύλλα, έτσι ώστε, όταν εκτεθεί σε ανοιχτή πυράκτωση το κομμάτι του πηλού, να καίγονται οι μικρές ράβδοι και να αφήνουν ελεύθερη την οπή της διάτρησης, καθώς και την ψήφο.

1.4 Αρχαία εφυαλώματα

Με τον όρο εφυάλωμα ορίζεται το υαλώδες επίχρισμα που εναποτίθεται σε μεταλλική, κεραμική ή υάλινη βάση. Τα εφυαλώματα από τη Ρόδο, που μελετώνται στην παρούσα εργασία, είναι από φαγεντιανή (βλ. Παράρτημα Ι.3).

Κατά τον 19^ο αιώνα οι αρχαιολογικές ανασκαφές έφεραν στο φως πολλά αρχαία εφυαλωμένα αντικείμενα. Για τους ανασκαφείς ήταν πολύ εύκολο να μεταχειριστούν τους γνωστούς τότε όρους “*faience*” ή “*porcelain*” για να ερμηνεύσουν και να αποδώσουν τα αντικείμενα αυτά. Ο γαλλικός όρος “*faience*” (φαγεντιανή) έγινε γνωστός κατά τα τέλη του 16^{ου} αιώνα, όταν ιταλοί τεχνίτες, από την πόλη Faenza, εγκαταστάθηκαν στη Γαλλία και συνέχισαν να κατασκευάζουν εκεί τα δημοφιλή μεσαιωνικά εφυαλωμένα κεραμικά τους, τα γνωστά ως “*maiolica*”. Συγχρόνως η λέξη “*faience*” συνδέθηκε με την Αίγυπτο επειδή εκεί βρέθηκαν τα περισσότερα εφυαλωμένα αντικείμενα και έτσι επικράτησε ο όρος “*egyptian faience*” ακόμα και για αντικείμενα που βρίσκονταν σε εντελώς διαφορετικές γεωγραφικές θέσεις και δεν είχαν καμία σχέση με την αιγυπτιακή φαγεντιανή. Η σύγχυση αυτή συνεχίστηκε μέχρι το 1956, όταν προτάθηκε η Εγγύς Ανατολή ως ο χώρος στον οποίο κατασκευάστηκε φαγεντιανή για πρώτη φορά και έκτοτε επικράτησε ο όρος “*faience*” αντί για “*egyptian faience*” (Peltenburg 1987).

Συνήθως τα αρχαία εφυαλωμένα αντικείμενα δεν είναι κεραμικά, όπως είναι τα μεσαιωνικά. Επομένως και οι δύο όροι “*faience*” και “*porcelain*” είναι ανακριβείς, όπως έχει ήδη τονιστεί από τον Lucas, ο οποίος πρότεινε τον ασφαλώς ακριβέστερο όρο “*glazed quartz frit*” (Lucas and Harris 1989). Άλλοι μελετητές πιστεύουν ότι ο καλύτερος όρος στην αγγλική γλώσσα θα ήταν “*sugar stone*” ή “*stone paste*”, λέξεις που αποδίδουν περσική συνθετική ύλη με υψηλά ποσοστά χαλαζία (Peltenburg 1987· Παναγιωτάκη 2010).

Η φαγεντιανή είναι μία συνθετική ύλη, ίσως η πρώτη που κατασκεύασε ο άνθρωπος. Αποτελείται από τρία βασικά συστατικά: πυρίτιο (διοξείδιο του πυριτίου- SiO_2), άσβεστο (οξείδιο του ασβεστίου- CaO) και αλκάλια (σόδα: οξείδιο του νατρίου- Na_2O ή ποτάσα: οξείδιο του καλίου- K_2O). Το διοξείδιο του πυριτίου είναι το βασικότερο συστατικό και απαντά στο χαλαζία ή τη χαλαζιακή άμμο. Η άσβεστος βρίσκεται στην ίδια

την άμμο υπό μορφή θραυσμάτων θαλασσίων οστρέων ή προστίθεται υπό τη μορφή πηγών ανθρακικού ασβεστίου (ασβεστόλιθος κ.ά.). Τα αλκάλια είναι ορυκτά ή φυτικά.

Φαγεντιανή κατασκευάστηκε για πρώτη φορά ίσως κατά την 5^η χιλιετία στη Μεσοποταμία και ίσως κατά την 4^η χιλιετία στην Αίγυπτο (Nicholson 1993), ενώ στο Αιγαίο εμφανίστηκε πολύ αργότερα κατά το τέλος της 3^{ης} χιλιετίας, αρχικά στην Κρήτη και στη συνέχεια στο μυκηναϊκό κόσμο (Foster 1979). Κατά τη 2^η χιλιετία η παραγωγή της φαγεντιανής σε όλες αυτές τις περιοχές φτάνει στο υψηλότερο σημείο της και από την άποψη της ποσότητας αλλά και της ποιότητας. Η παραγωγή φαγεντιανής συνεχίζεται και στο τέλος της εποχής του Χαλκού σε συνδυασμό με την ύαλο που εμφανίζεται και κατακτά την Εγγύς Ανατολή, την Αίγυπτο αλλά και το Αιγαίο. Η παραγωγή φαγεντιανής υφίσταται κάμψη στο τέλος της 2^{ης} χιλιετίας στο Αιγαίο και στην αρχή της 1^{ης} χιλιετίας στην Αίγυπτο και Δ. Ασία (με εξαίρεση ίσως την Κύπρο και την περιοχή των Φοινίκων), για να ανακάμψει και να γνωρίσει νέα άνθηση κατά την Αρχαϊκή περίοδο στην Αίγυπτο, στην Εγγύς Ανατολή και στο Αιγαίο με κέντρο παραγωγής, όπως φαίνεται τη Ρόδο (Tite et al 1987). Κατά την Κλασική και Ελληνιστική περίοδο συνεχίζεται η κατασκευή φαγεντιανής, η οποία γνωρίζει εκ νέου άνθηση κατά τη Ρωμαϊκή περίοδο. Μετά από ένα πολύ μεγάλο διάστημα εξαφάνισής της, επανεμφανίζεται στη Συρία και στην Περσία περίπου χίλια χρόνια μετά, κατά τον 12^ο αι. μ.Χ. (Kleinmann 1987· Παναγιωτάκη 2010).

Από την Ur της Εγγύς Ανατολής προέρχεται κείμενο του τέλους της 3^{ης} χιλιετίας, που πιθανόν αναφέρεται στην κατασκευή φαγεντιανής (Moorey 1985). Στο κείμενο περιγράφονται οι δραστηριότητες τεχνιτών και αναφέρονται πρώτες ύλες και διάφορα επεξεργασμένα αντικείμενα. Συγκεκριμένα αναφέρεται η λέξη "*du.su*" που ίσως σημαίνει αχάτης, αλλά αναφέρεται επίσης ο όρος «τεχνητό *du.su*» πού ίσως να πρόκειται για φαγεντιανή. Επίσης το πρώτο συνθετικό της λέξης "*bu-uz-bi-1'i*", δηλαδή το "*bu-uz*" σημαίνει κάποια μορφή υάλου κατά τον Oppenheim (Oppenheim 1970), ενώ για την Foster (Foster 1979) σημαίνει φαγεντιανή. Στο Αιγαίο η πρώτη πιθανή αναφορά σε υαλώδη ύλη γίνεται στις πινακίδες της Γραμμικής Β' όπου αναφέρεται τεχνίτης του «*ku-wa-no*» (*ku-wa-no-wo-koí* = εργάτες ή τεχνίτες του *ku-wa-no*) (Ventris and Chadwick 1973), δηλαδή του κυάνου της κλασικής Ελλάδας, που για πολλούς μελετητές σημαίνει το λάπις λάζουλι. Όμως ο περιορισμένος αριθμός αντικειμένων από λάπις λάζουλι στο Αιγαίο, σε αντίθεση με τον αρκετά μεγάλο αριθμό αντικειμένων από υαλώδεις ύλες, ίσως

επιβεβαιώνει την άποψη ότι αναφέρεται περισσότερο σε αυτές τις ύλες και όχι τόσο στο λάπις λάζουλι.

Επί πλέον ο Θεόφραστος στο 8^ο βιβλίο «Περί λίθων» διακρίνει το φυσικό από τον τεχνητό κύανο και έτσι λάπις λάζουλι ίσως είναι ο φυσικός κύανος, ενώ τεχνητός είναι το αιγυπτιακό μπλε ($\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$ ή $\text{CaO} \cdot \text{CuO} \cdot 4\text{SiO}_2$), δηλαδή το μερικώς κρυσταλλικό προϊόν σύντηξης πυριτίου, ασβέστου και οξειδίου του χαλκού με χαρακτηριστικό μπλε χρώμα. Το ίδιο άλλωστε συμβαίνει και με την αιγυπτιακή λέξη “*hsbd*” η οποία σήμαινε αρχικά λάπις λάζουλι, αλλά στην περίοδο του Νέου Βασιλείου (μεταξύ 18^{ης} και 20^{ης} Δυναστείας, 1570-1070 π.Χ.), δηλαδή στην περίοδο της ακμής της φαγεντιανής και της υάλου, σήμαινε επίσης φαγεντιανή και ύαλο.

Όπως προαναφέρθηκε, η φαγεντιανή αποτελείται από τρία βασικά συστατικά: SiO_2 (διοξείδιο του πυριτίου), CaO (οξείδιο του ασβεστίου) και αλκάλια που είναι Na_2O (οξείδιο του νατρίου) ή K_2O (οξείδιο του καλίου). Το διοξείδιο του πυριτίου, που είναι και το κύριο υλικό, αυτό που δίνει τον όγκο στο μείγμα, είναι χαλαζίας ή χαλαζιακή άμμος. Γνωστές πηγές χαλαζιακής άμμου αλλά και βοτσάλων χαλαζία, που ήταν καθαρότερα και ασφαλώς περιζήτητα, αναφέρονται από τον Πλίνιο (Πλίνιος, *Φυσική Ιστορία*, XXXVI, 190). Η άσβεστος απαντά στη φύση σε μορφή ασβεστολίθου, μαρμάρου ή κιμωλίας και θα μπορούσε να υπάρχει στη χαλαζιακή άμμο υπό μορφή οστρέων. Τα αλκάλια ήταν ορυκτά ή φυτικά (συγκεκριμένα στάχτες φυτών). Η σόδα απαντά στα ιζήματα αποξηραμένων λιμνών, όπως το ορυκτό νάτρον στην κοιλάδα του Νατρίου (γνωστή ως Wadi Natrun) στην Αίγυπτο, αλλά και σε άλλες περιοχές όπως στη Μικρά Ασία, στη Μακεδονία και στη Θράκη. Η ποτάσα προερχόταν από τη στάχτη διαφόρων φυτών που φύονται κυρίως σε υφάλμυρα εδάφη τα οποία ανήκουν στην οικογένεια των *Salicornia*. Τέτοια φυτά είναι η Αλμυρίς ή Σόδα, η Αλμυρίς το Κάλι, κοινώς Αλισίβα ή Αλμυρίδι, Καλιά ή Τσίλωμα (Τριανταφυλλίδης 2000). Το χρώμα το έδιναν μέταλλα που προσέθεταν στο αρχικό μείγμα ή στο εφυάλωμα.

Ο χαλαζίας ή η χαλαζιακή άμμος αλέθονταν έως ότου γίνουν λεπτή σκόνη. Όσο λεπτότερος είναι ο χαλαζίας τόσο καλύτερη μάζα επιτυγχάνεται, πράγμα που βοηθά στο πλάσιμο, αλλά και στην τελική μορφή του αντικειμένου. Έπειτα προστίθεται η άσβεστος (αν έχει χρησιμοποιηθεί καθαρός χαλαζίας και όχι χαλαζιακή άμμος η οποία, όπως προαναφέρθηκε, συχνά περιέχει επαρκές ανθρακικό ασβέστιο οπότε και δεν απαιτείται

συμπλήρωση), τα αλκάλια και λίγο νερό. Το μείγμα, ακόμα και μετά την προσθήκη ασβέστου, αλκαλίων και νερού, είναι σκληρό και δύσπλαστο. Για να μαλακώσει και να γίνει εύπλαστο πρέπει αφενός να ζυμωθεί πολύ και αφετέρου να προστεθούν διάφορες οργανικές ύλες. Ίσως να προσέθεταν την ονομαζόμενη αραβική μαστίχα αλλά και άλλες ουσίες, ενώ μετά την εποχή του Χαλκού προσέθεταν μεγάλες ποσότητες πηλού (Παναγιωτάκη 2002).

Πλάσιμο και μήτρες

Η κατασκευή αντικειμένων γίνεται με τα υλικά σε κρύα κατάσταση. Αντικείμενα μπορούν να κατασκευαστούν ελεύθερα στο χέρι ή να πιεστούν σε μήτρα ή ακόμα να χρησιμοποιηθεί τροχός κυρίως για την κατασκευή αγγείων. Στην Αίγυπτο βρέθηκαν χιλιάδες από πήλινες μονές μήτρες, μερικές από τις οποίες είχαν απορριφθεί μαζί με τη φαγεντιανή (Nicholson and Peltenburg 2000). Οι μήτρες αυτές είναι μικρές και συχνά φέρουν στην πίσω επιφάνειά τους το αποτύπωμα της παλάμης μέσα στην οποία πλάστηκαν. Αφού σχηματιζόταν η αποτύπωση, έμπαιναν στον κλίβανο για να ψηθούν. Στο Αιγαίο έχουν βρεθεί ελάχιστες πήλινες μήτρες οι οποίες αποτελούνται από δύο όμοια ημίσεα με αγωγό χύτευσης για ύλες σε ρευστή κατάσταση, επομένως όχι για φαγεντιανή (Δημοπούλου 2000). Αντίθετα στην Αίγυπτο έχουν βρεθεί λίθινες μήτρες κυρίως από στεατίτη, που ίσως χρησιμοποιήθηκαν για φαγεντιανή. Μήτρες από ξύλο και μέταλλο είναι επίσης κατάλληλες για φαγεντιανή (Evely 2000).

Όταν το αντικείμενο βγει από τη μήτρα, συχνά χρειάζεται να κοπούν περισσεύματα και να λειανθεί για να επιτευχθεί το ζητούμενο σχήμα. Μεγάλα αντικείμενα κατασκευάζονται τμηματικά και τα τμήματα ενώνονται χρησιμοποιώντας ένα πηκτό υγρό από τα ίδια συστατικά της φαγεντιανής. Μερικές φορές δύο διαφορετικά χρώματα μείγματος αναμειγνύονται για να δώσουν έναν πυρήνα σε δύο διαφορετικά χρώματα που θυμίζει λίγο τα νερά της πέτρας. Μετά το πλάσιμο τα αντικείμενα αφήνονται για μερικές ημέρες να στεγνώσουν πριν τοποθετηθούν σε κλίβανο για το ψήσιμο.

Εφυάλωση

Το εφυάλωμα επιτυγχάνεται με εμπλοκή συστατικών συναφών του πυρήνα. Σ' αυτή την περίπτωση ο χαλαζίας πρέπει να αλεστεί πολύ καλά, να τοποθετηθεί σε ύφασμα και να περαστεί με νερό ώστε τα κατακάθια να συγκρατηθούν από το ύφασμα. Προστίθεται επίσης κάποιο οξειδίο μετάλλου για να δώσει το χρώμα στο εφυάλωμα. Το οξειδίο του

χαλκού (CuO) για παράδειγμα θα δώσει ένα γαλαζοπράσινο χρώμα (η ακριβής απόχρωση επηρεαζόταν από τα αλκάλια αλλά ακόμα και από τα ξύλα που έκαιγαν στον κλίβανο). Πειραματική κατασκευή φαγεντιανής έδειξε ότι το εφυάλωμα μπορούσε να επιτευχθεί με τρεις διαφορετικούς τρόπους: την «αυτοϋάλωση», την «εφαρμογή» και τη «συγκόλληση», τρόποι που είναι γνωστοί στην αγγλική ορολογία ως: “*efflorescence*”, “*application*” και “*cementation*” αντίστοιχα (Peltenburg 1987· Vandiver 1982).

Διακόσμηση

Πριν από το ψήσιμο η φαγεντιανή μπορεί να διακοσμηθεί. Συνήθως ζωγραφίζεται με γραμμική διακόσμηση με τη χρησιμοποίηση ορυκτών: μαύρο από μαγγάνιο ή οξειδίο του σιδήρου. Συνήθως η διακόσμηση αυτή γίνεται πριν το ψήσιμο και έτσι καλύπτεται με την υάλωση. Σε μερικές περιπτώσεις όμως η μαύρη διακόσμηση έμπαινε μετά το ψήσιμο επάνω στην υάλωση και δεν είναι τόσο επιτυχής. Η ένθεση είναι μία άλλη μορφή διακόσμησης κατά την οποία λεπτοδουλεμένη ύλη αντίθετου χρώματος τοποθετείται μέσα σε συνήθως προκατασκευασμένες κοιλότητες, όπως για παράδειγμα μία ροζέτα γίνεται με το κυρίως σώμα σε λευκό και τα πέταλα σε κίτρινο. Η τεχνική αυτή αρχίζει κατά την περίοδο του Παλαιού Βασιλείου στην Αίγυπτο (Lacovara 1998· Nicholson and Peltenburg 2000) και των Παλαιών ανακτόρων στη Μινωική Κρήτη (Panagiotaki 1997) και είναι χαρακτηριστικό κυρίως αυτών των δύο περιοχών. Η ένθετη ύλη θα πρέπει να είναι πολύ προσεγμένη και να τοποθετηθεί την κατάλληλη στιγμή, όταν το κυρίως σώμα δεν είναι πολύ στεγνό. Διαφορετικά η ένθεση δεν εφαρμόζει ακριβώς. Ανάγλυφη διακόσμηση επιτυγχάνεται με την προσθήκη ημίγλυφων διακοσμητικών στοιχείων. Μερικές φορές φύλλα χρυσού διακοσμούσαν αντικείμενα φαγεντιανής.

Έψηση

Πρόσφατες μελέτες πειραματικής κατασκευής φαγεντιανής έδειξαν ότι η φαγεντιανή χρειάζεται να παραμείνει στον κλίβανο για τουλάχιστον 4 ώρες σε 800-1000°C. Τοποθετείται μέσα σε πήλινα αγγεία για να προφυλαχτεί από τον καπνό και τις στάχτες. Κατά το ψήσιμο η άσβεστος και η σόδα ενώνονται και σχηματίζουν κάποια μορφή υάλου και έτσι βοηθούν στο να ενωθούν τα μέρη του χαλαζία δίνοντας στο αντικείμενο περισσότερη αντοχή. Μέσα στον κλίβανο επιτυγχάνεται η στιλπνή εφυαλωμένη επιφάνεια (Παναγιωτάκη 2002).

1.5 Σύγχρονη ύαλος

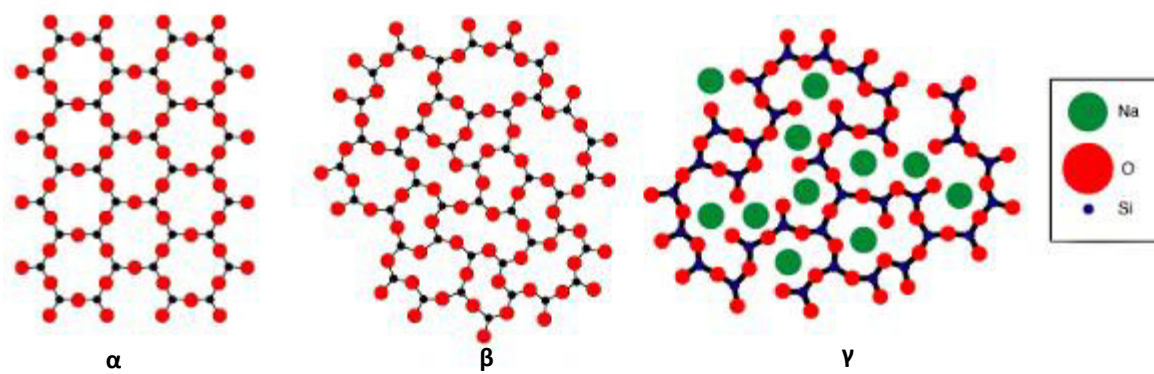
Ο όρος ύαλος έχει πολλές ερμηνείες. Στην καθημερινή γλώσσα με τη λέξη «γυαλί» ερμηνεύεται ένα εύθραυστο και διαφανές υλικό γνωστό, όπως προαναφέρθηκε, από την αρχαιότητα. Στην επιστημονική γλώσσα η ερμηνεία αυτού του όρου είναι πολύ ευρύτερη και δύσκολο να καθοριστεί με ακρίβεια. Η συνεχής πρόταση νέων ορισμών αντανακλά τη συνεχή εξέλιξη των γνώσεων της επιστήμης της υάλου. Οι ύαλοι είναι ουσιαστικά μη-κρυσταλλικά στερεά (non-crystalline solids) που παράγονται με ψύξη υπερψυγμένων υγρών. Είναι γνωστό ότι πολυάριθμες ενώσεις μπορούν να στερεοποιηθούν με αυτό τον τρόπο. Για παράδειγμα ο κλασικός τρόπος παραγωγής υάλου είναι η ψύξη ενός υγρού τόσο γρήγορα όσο χρειάζεται για να μην επέλθει κρυστάλλωση. Καθώς η θερμοκρασία μειώνεται και το ιξώδες αυξάνει, το αποτέλεσμα είναι μία σταδιακή ακινητοποίηση του υγρού μέχρι την τελική του στερεοποίηση (Καρακασίδης 2003).

Η συνήθης χρήση του όρου «γυαλί» συμπίπτει με τον ορισμό του Morey το 1954: *«είναι ένα ανόργανο υλικό σε κατάσταση ανάλογη των υγρών, αλλά λόγω του μεγάλου ιξώδους του θεωρείται για πρακτικούς σκοπούς στερεό»*. Επίσης σύμφωνα με την American Society for Testing and Materials ως ύαλος ορίζεται ένα ανόργανο προϊόν τήξης, το οποίο έχει ψυχθεί προς στερεά κατάσταση χωρίς να κρυσταλλωθεί (Καρακασίδης 2003).

Η εξέλιξη της υάλου δια μέσου των αιώνων ήταν συνεχής έως σήμερα. Από την αρχαιότητα η ύαλος εμπλουτίζεται συνεχώς με νέες μορφές, οι οποίες διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους από άποψη χημικής δομής (υλικά με ομοιοπολικούς, ιοντικούς, μεταλλικούς δεσμούς, δεσμούς Van der Waals και υδρογόνου) και επιδεικνύουν ιδιότητες κατάλληλες για πλήθος εφαρμογών (αρχιτεκτονική, οπτική, ηλεκτρονική, οπτο-ηλεκτρονική, βιοτεχνολογία κ.λπ.) (Καπουτσής 1998).

Ως κοινό χαρακτηριστικό των υάλων, που δικαιολογεί την κατάταξη στην ίδια κατηγορία υλικών με τόσο έντονες διαφορές, θεωρείται η απουσία τάξης ευρείας έκτασης (long range order) ή περιοδικότητας των ατομικών τους συστατικών, όπως επιβεβαιώνουν οι πειραματικές τεχνικές περίθλασης (ακτίνες Χ, νετρόνια, ηλεκτρόνια).

Εν τούτοις, παρά την απουσία περιοδικής δομής, που τις διακρίνει από τα κρυσταλλικά στερεά, οι ύαλοι διαθέτουν καλά καθορισμένη τοπική δομή (short range order) (εικ. 8).

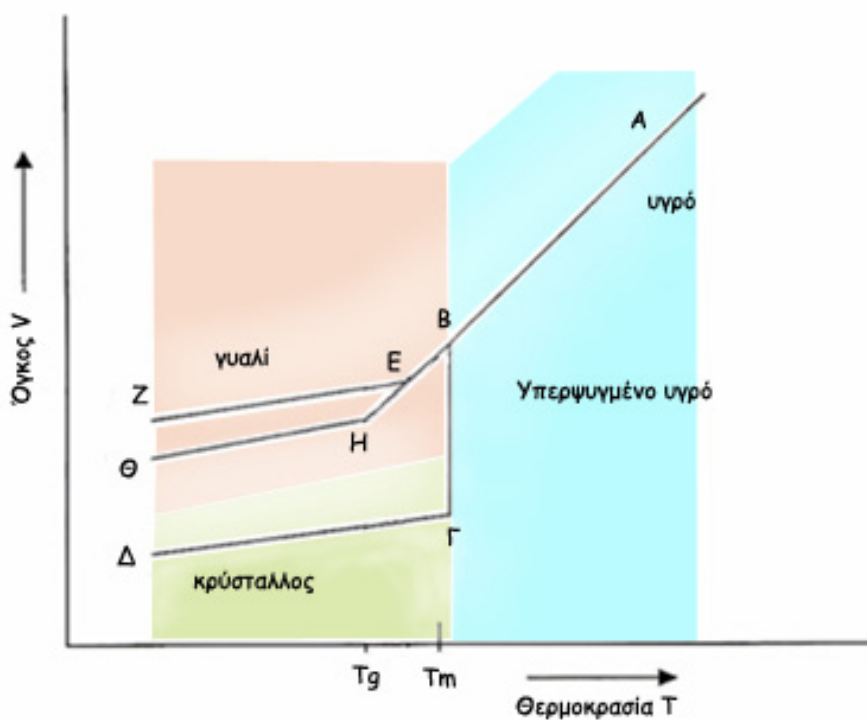


Εικόνα 8: Δομή α) κρυσταλλικού SiO_2 , β) υαλώδους SiO_2 και γ) υάλου $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O}$. Η παρουσία τάξης ευρείας έκτασης είναι φανερή στο (α) και η παρουσία καθορισμένης τοπικής δομής στα (β) και (γ) (Κοντού 1995).

Ο ιδιαίτερος χαρακτήρας της υαλώδους δομής οδηγεί στην εμφάνιση ιδιοτήτων που συνδυάζουν χαρακτηριστικά στοιχεία της κρυσταλλικής στερεάς και υγρής κατάστασης. Έτσι επιδεικνύουν μηχανικές ιδιότητες και ελαστικότητα παρόμοιες με τα κρυσταλλικά στερεά, δεν διαθέτουν όμως καθορισμένο σημείο τήξης. Σε σύγκριση με τα υγρά οι ύαλοι είναι επίσης ισότροπες, ρέουν όμως μόνο με την εφαρμογή υψηλής πίεσης και όχι στις συνήθεις συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης. Είναι αξιοσημείωτη η δυνατότητα συνεχούς μεταβολής των φυσικών ιδιοτήτων των υάλων, δεδομένης της ικανότητας παρασκευής τους σε ευρεία και συνεχή περιοχή συστάσεων. Χαρακτηριστικά αναφέρεται η μεταβολή της ιοντικής αγωγιμότητας του υαλώδους συστήματος $\chi\text{Na}_2\text{O} (1-\chi)\text{B}_2\text{O}_3$ κατά δέκα τάξεις μεγέθους, καθώς το περιεχόμενο σε Na_2O αυξάνει από $\chi=0$ έως $\chi=0.4$ (Καπουτσής 1998).

Η συνηθέστερη (αλλά όχι και μοναδική) μέθοδος παρασκευής των υάλων βασίζεται σε ταχεία ψύξη τηγμάτων. Η κατανόηση του φαινομένου της υάλωσης μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω της παρατήρησης της μεταβολής με τη θερμοκρασία του γραμμομοριακού όγκου V και της ενθαλπίας H του συστήματος (εικ. 9). Η αύξηση της θερμοκρασίας ενός κρυσταλλικού υλικού προκαλεί τη διαστολή του έως το σημείο τήξης

T_m , όπου και παρατηρείται θερμοδυναμική ισορροπία με το τήγμα του. Κατά την αντίστροφη διαδικασία, δηλαδή της ψύξης του τήγματος από την αρχική κατάσταση Α, η μείωση των ατομικών αποστάσεων επιφέρει μείωση του όγκου κατά μήκος της ΑΒ. Όταν το τήγμα προσεγγίσει την T_m , έχει τη δυνατότητα να επιλέξει μεταξύ δύο διαφορετικών οδών. Αν η ψύξη είναι αργή και το τήγμα διαθέτει αρκετό χρόνο, ώστε να λάβει χώρα αναδιάταξη των δομικών μονάδων προς περιοδικό κρυσταλλικό πλέγμα, τότε το τήγμα θα κρυσταλλωθεί. Κατά τη διαδικασία αυτή ο όγκος (πρώτη παράγωγος της ελεύθερης ενέργειας G) υφίσταται απότομη μεταβολή (γραμμή ΓΒ). Δεύτερες παράγωγοι της G , όπως ο συντελεστής θερμικής διαστολής α , η συμπιεστότητα κ και η θερμοχωρητικότητα C_p εμφανίζουν άπειρη ασυνέχεια, γεγονός που χαρακτηρίζει την τήξη του κρυστάλλου ως θερμοδυναμική μετάβαση φάσης πρώτης τάξης.



Εικόνα 9: Διάγραμμα γραμμομοριακού όγκου V_m -θερμοκρασίας T για έναν υποθετικό κρύσταλλο που αρχικά τήκεται και κατόπιν ψύχεται ώστε να παραχθεί ύαλος (Ζαχαριάς και Οικονόμου 2010).

Αν ο ρυθμός ψύξης του τήγματος είναι υψηλός ή αν το ιξώδες του τήγματος είναι τέτοιο που δεν επιτρέπει την κρυστάλλωση, τότε το τήγμα εξακολουθεί να ψύχεται κατά

μήκος της BE και συνεπώς βρίσκεται σε μετασταθή και υπέρψυκτη κατάσταση (supercooled liquid). Στην περιοχή υπερψύξεως εξακολουθεί να αποκαθίσταται θερμική ισορροπία κατά τη μεταβολή της θερμοκρασίας και κατά συνέπεια ο όγκος του τήγματος να μειώνεται με ρυθμό που εξαρτάται από το συντελεστή θερμικής διαστολής του. Επομένως η ανακατανομή της εσωτερικής ενέργειας μεταξύ των βαθμών ελευθερίας του συστήματος είναι σε θέση να παρακολουθεί το ρυθμό ψύξης. Η συνεχής μείωση της θερμοκρασίας όμως προκαλεί αύξηση του ιξώδους του συστήματος με αποτέλεσμα να μην μπορεί πλέον να ανταποκριθεί με την ίδια επιτυχία στο ρυθμό ψύξης του και να διατηρήσει την κατάσταση της θερμοδυναμικής του ισορροπίας. Στο σημείο αυτό οι ατομικές κινήσεις “παγώνουν” και τα άτομα ή μόρια “παγιδεύονται” σε καθορισμένες θέσεις, δεδομένου ότι δεν διαθέτουν αρκετό χρόνο για να αναδιαταχθούν. Τελικά η περαιτέρω ψύξη οδηγεί σε στερεοποίηση και σχηματισμό της υάλου, όταν το τήγμα αποκτήσει ιξώδες της τάξης των 10^{13} poises. Η διαδικασία της υάλωσης με ψύξη παρουσιάζεται με τη γραμμή ABEZ (εικ. 9). Το φαινόμενο της υάλωσης πραγματοποιείται σε στενή περιοχή θερμοκρασιών που είναι γνωστή ως θερμοκρασία υάλωσης T_g ή θερμοκρασία υλώδους μετάπτωσης.

Ο καθοριστικός παράγοντας για την ενεργειακή (και δομική) οδό, που επιλέγει το ψυγμένο τήγμα, είναι προφανώς η ταχύτητα με την οποία αυτό ψύχεται και προσπερνά την θερμοκρασιακή περιοχή μεταξύ T_m και T_g . Η ικανότητα υάλωσης του τήγματος έχει συνεπώς σημαντική κινητική συνιστώσα. Θεωρητικά όλα τα υλικά μπορούν να παρασκευαστούν σαν υάλτοι, αν ψυχθούν αρκετά γρήγορα σε θερμοκρασία κατώτερη της T_g .

Άλλες μέθοδοι παρασκευής υάλων είναι επιγραμματικά οι εξής:

1. Ψύξη ατμών
2. Αμορφοποίηση της κρυσταλλικής δομής (όχι με τήξη)
3. Διάχυση και συσσωμάτωση
4. Ηλεκτρόλυση
5. Πυρόλυση
6. Αντιδράσεις σε διαλύματα

Υαλοσχηματιστές	SiO ₂ , B ₂ O ₃ , P ₂ O ₅ , GeO ₂
Υαλοσχηματιστές υπό συνθήκες	InO ₃ , PbO ₂ , SeO ₂ , Tl ₂ O ₃ , As ₂ O ₃ , SnO ₂ , Sb ₂ O ₅ , Al ₂ O ₃ , TeO ₂ , SeO ₂ , As ₂ O ₅ , Bi ₂ O ₃ , WO ₃ , MoO ₃ , SO ₃ , V ₂ O ₅ , Ga ₂ O ₃
Υαλοτροποποιητές	Li ₂ O, Na ₂ O, K ₂ O, Rb ₂ O, Cs ₂ O, BaO, SrO, CaO, CdO, PbO, HgO και πολλά οξείδια μετάλλων μεταπτώσεως

Πίνακας 1: Κατάταξη των οξειδίων ανάλογα με την ικανότητα σχηματισμού υάλων.

Πολλά ανόργανα οξείδια (πίν. 1) υαλώνονται με σχετική ευκολία και σχηματίζουν ένα συνεχές ομοιοπολικό πλέγμα (υαλοσχηματιστές). Άλλα οξείδια (υαλοσχηματιστές υπό συνθήκη) σχηματίζουν ομοιοπολικούς υάλους μόνο με την προσθήκη στο τήγμα κατάλληλης ποσότητας ενός υαλοσχηματιστού. Τα οξείδια της τρίτης ομάδας προκαλούν ιοντικές τροποποιήσεις του ομοιοπολικού πλέγματος των υάλων που σχηματίζουν τα οξείδια των δύο ανωτέρω ομάδων (υαλοτροποποιητές). Στον πίνακα 1 κατατάσσονται διάφορα οξείδια ανάλογα με τις τρεις παραπάνω κατηγορίες (Καρακασίδης 2003).

1.6 Βασικά συστατικά της υάλου

Τα βασικά συστατικά της υάλου από την αρχαιότητα έως σήμερα είναι τα ακόλουθα:

- **Οξείδιο του πυριτίου (SiO_2).** Το οξείδιο του πυριτίου αποτελεί το βασικό συστατικό που χρησιμοποιείται στην κατασκευή όλων των τύπων υάλων, από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα. Πηγή του SiO_2 στην αρχαιότητα ήταν η άμμος.
- **Οξείδιο του νατρίου (Na_2O).** Το οξείδιο του νατρίου, ή αλλιώς σόδα, προστίθεται στην ύαλο για να καταστήσει τη διαδικασία κατασκευής ευκολότερη. Είναι ουσιαστικά ο σημαντικότερος τροποποιητής πλέγματος, που ρόλος του είναι η μείωση των χαρακτηριστικών θερμοκρασιών και ιδίως του T_g . Ωστόσο, η σόδα, είναι ακριβή και η ύαλος που γίνεται μόνο από σόδα και πυρίτιο δεν είναι ανθεκτική. Στην αρχαιότητα η εισαγωγή της στο μείγμα της υάλου γινόταν κυρίως με δύο τρόπους είτε με τη μορφή της φυσικής σόδας (ανθρακικό νάτριο) είτε με τη μορφή της τέφρας φυτών.
- **Οξείδιο του καλίου (K_2O).** Το οξείδιο του καλίου, ή αλλιώς ποτάσα, αποτελεί ένα από τα βασικά συστατικά της υάλου και η εισαγωγή του σε αυτό προκαλεί μείωση της θερμοκρασίας τήξης. Επιπλέον του προσδίδει περισσότερη λάμψη και πιο έντονο χρώμα. Πηγή του K_2O στην αρχαιότητα ήταν συνήθως οι στάχτες φυτών ή δέντρων.
- **Ανθρακικό άλας ασβεστίου (CaCO_3).** Το ανθρακικό ασβέστιο που αποκαλείται επίσης και ασβεστόλιθος, δρα ως σταθεροποιητής του πλέγματος και προστίθεται στο μίγμα της υάλου για να μειώσει την ταχύτητα διάβρωσής της. Σε μεγάλες όμως ποσότητες (>10%) έχει την ιδιότητα να κρυσταλλώνει την ύαλο και να την κάνει ψαθυρή. Στην αρχαιότητα δεν συγκαταλεγόταν ανάμεσα στις βασικές πρώτες ύλες για την παρασκευή της υάλου και η εισαγωγή του γινόταν τυχαία μέσω της άμμου, της αλκαλικής πρώτης ύλης ή της τέφρας παραθαλάσσιων φυτών ή φυτών της ερήμου.
- **Οξείδιο του αργιλίου (Al_2O_3).** Το οξείδιο του αργιλίου βελτιώνει την αντοχή της υάλου.

Εκτός από τα βασικά συστατικά των υάλων, όπως περιγράφηκαν συνοπτικά παραπάνω, υπάρχουν και διάφορα υλικά που προστίθενται σε μικρές ποσότητες στην ύαλο ανάλογα με τις επιθυμητές ιδιότητες που θέλουμε να της προσδώσουμε. Μερικά από αυτά είναι:

- **Μόλυβδος (Pb).** Ο μόλυβδος δίνει καθαρότητα και λάμψη στην ύαλο, ενώ ελαττώνει το σημείο τήξης και αυξάνει τη σταθερότητα και τη ρευστότητά της. Στην πραγματικότητα είναι διαμορφωτής πλέγματος και συμπεριφέρεται με τον ίδιο τρόπο όπως το πυρίτιο. Επίσης είναι συμβατός σε όλες τις αναλογίες με τις πυριτικές υάλους, ενώ αυξάνει τη διαλυτότητα του χαλκού, του αντιμονίου και του κασσιτέρου. Σε ποσοστό περίπου 30 % μαζί με το κάλιο δίνει μία άχρωμη σταθερή ύαλο με υψηλό δείκτη διάθλασης. Στην αρχαιότητα έπαιζε σημαντικό ρόλο στην κατασκευή μικρών υάλινων αντικειμένων και στην παραγωγή υαλωμάτων για κεραμικά και μεταλλικά αγγεία.
- **Βόριο (B).** Το βόριο προστίθεται για να αυξήσει την αντίσταση της υάλου στις αλλαγές θερμοκρασίας.
- **Μαγνήσιο (Mg).** Το μαγνήσιο προστίθεται για να βελτιώσει τη χημική διάρκεια της υάλου.
- **Βελτιωτικά δομής.** Οι παράγοντες αυτοί προστίθενται για να μειώσουν τις φυσαλίδες που δημιουργούνται στην καυτή (υγρή) ύαλο (Henderson 2000).
- **Χρωστικές ουσίες.** Οι χρωστικές ουσίες προστίθενται στην ύαλο για να της δώσουν κάποιο χρώμα. Στην αρχαιότητα, μερικά από τα συστατικά που χρησιμοποιούνταν ως χρωστικές ύλες είναι :
 1. Ακατέργαστο ορυκτό που περιέχει ένα ποσοστό κάποιου “χρωστικού” στοιχείου σε συνδυασμό και με άλλα.
 2. Μετάλλευμα το οποίο έχει καθαριστεί, κονιορτοποιηθεί, πλυθεί και πυρωθεί πριν τη χρήση.
 3. Μείγμα άμμου και ευτηκτικών, το οποίο έχει πυρωθεί και περιέχει κάποιο χρωστικό οξείδιο.
 4. Απορρίμματα υάλου ή έτοιμη χρωματισμένη ύαλος σε μορφή ράβδων ή πλακών.

Ο σημαντικότερος ωστόσο παράγοντας, που καθορίζει το τελικό χρώμα της υάλου, είναι οι συνθήκες που επικρατούν στον κλίβανο κατά τη διάρκεια παρασκευής της, όπως η ατμόσφαιρα, ο χρόνος πύρωσης και το είδος του καυσίμου. Στον παρακάτω πίνακα (πίν. 2) περιλαμβάνονται κάποιες χημικές ουσίες που χρωματίζουν την υάλο και τα χρώματα που της προσδίδουν (Rapp 2002).

- **Χαλκός (Cu).** Ο χαλκός μπορεί να εισαχθεί στο τήγμα της υάλου με τη μορφή οποιουδήποτε ορυκτού ή και οξειδωμένου υλικού, (ορει-)χάλκινου αντικειμένου υπό ιδιαίτερες αναγωγικές συνθήκες. Το κόκκινο χρώμα, που προσδίδεται στην υάλο, οφείλεται στο υποξείδιο του χαλκού ή σε ένα μείγμα υποξειδίου και μεταλλικού χαλκού που βρίσκεται διάσπαρτο μέσα στην υάλο. Κάτω από κοινές ή οξειδωτικές συνθήκες μπορεί να χρωματίσει την υάλο μπλε ή πράσινη, ανάλογα με τα στοιχεία με τα οποία συνυπάρχει.
- **Σίδηρος (Fe).** Ο σίδηρος αποτελεί μία φυσική πρόσμειξη της άμμου και προσδίδει στην υάλο ποικιλία ασθενών (συνήθως) αποχρώσεων. Βρίσκεται στο πλέγμα σε μορφή δισθενών ιόντων, που απορροφούν στην ερυθρή περιοχή του φάσματος και χρωματίζουν την υάλο μπλε, και σε μορφή τρισθενών ιόντων, που απορροφούν στην ιώδη περιοχή του φάσματος και χρωματίζουν την υάλο κίτρινη. Το τελικό χρώμα (πράσινο, κίτρινο, κυανό κ.ά.) όμως καθορίζεται από το σχετικό ποσοστό των δύο ιόντων, από τις συνθήκες που επικρατούν στον κλίβανο και άλλα ιόντα (Θείου, μαγγανίου κ.λπ) που είναι ταυτόχρονα παρόντα.
- **Κοβάλτιο (Co):** Το κοβάλτιο προσδίδει στην υάλο χρώμα σκούρο μπλε. Η οπτική απορρόφηση του κοβαλτίου στην υάλο είναι πέντε φορές μεγαλύτερη από οποιοδήποτε άλλο ιόν και για το λόγο αυτό, μία πολύ μικρή ποσότητα κοβαλτίου είναι ικανή να προσδώσει χρώμα στην υάλο. Στην αρχαία Αίγυπτο και Μεσοποταμία χρησιμοποιούσαν το κοβάλτιο για το χρωματισμό της υάλου και συνήθως μαζί με χαλκό ή μαγγάνιο.
- **Μαγγάνιο (Mn):** Το μαγγάνιο δίνει στην υάλο χρώμα απαλό ροζ ή ιώδες. Το χρώμα καθορίζεται από το συνδυασμό των δισθενών και τρισθενών ιόντων του, που δίνουν στην υάλο βαθύ πορφυρό χρώμα, αλλά και την παρουσία άλλων ιόντων.

Χρωστική	Εναλλακτικό όνομα	Χημικός τύπος	Χρώμα	Πηγή	Σκληρότητα	Χρήση
Αζουρίτης		$\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$	Μπλε	Φυσική		Χρωστική ουσία για ύαλο
Αιματίτης	Ώχρα ή κόκκινο της Βενετίας	Fe_2O_3	Κόκκινο	Φυσική ή με ψήσιμο του γκετίτη	5.5-6	Χρωστική ουσία για ύαλο και κεραμικά εφυσάλωματα
Γκετίτης	Λιμονίτης, ώχρα	$\text{FeO}(\text{OH})$	Κίτρινο προς καφέ	Φυσική	5-5.5	Χρωστική ουσία για ύαλο και κεραμικά εφυσάλωματα
Διοξειδιο του μαγγανίου	Πυρολουσίτης	MnO_2	Αποχρώσεις του ροζ, μοβ, καφέ και μαύρου	Φυσική		Χρωστική ουσία για ύαλο και κεραμικά εφυσάλωματα
Θειούχο αντιμόνιο		Sb_2S_3	Αδιαφανές λευκό	Φυσική		Χρωστική ουσία για ύαλο
Κίτρινο αντιμονίου	Κίτρινο της Νάπολης	$\text{Pb}_3(\text{SbO}_4)_2$	Κίτρινο	Φυσική		Χρωστική ουσία για ύαλο και κεραμικά εφυσάλωματα
Οξειδιο κοβαλτίου		Ενώσεις Co	Μπλε	Φυσική		Χρωστική ουσία για ύαλο και κεραμικά εφυσάλωματα
Οξειδιο του χαλκού			Πράσινο, τυρκουάζ-μπλε, μεταλλικό πορτοκαλοκόκκινο	Φυσική ή τεχνητή		Χρωστική ουσία για ύαλο και κεραμικά εφυσάλωματα
Σμάλτο		CoO και SiO_2 και K_2O και αλούμινα	Μπλε	Τεχνητή		Χρωστική ουσία για ύαλο και κεραμικά εφυσάλωματα
Φύλλο χρυσού		Au		Φυσική		Χρωστική ουσία για ύαλο όταν συνδυάζεται με άλατα και ανόπτηση
Χαλκοπυρίτης		CuFeS_2	Μπλε	Φυσική		Χρωστική ουσία για ύαλο
Χρυσόκολλα		$\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Μπλε	Φυσική		Χρωστική ουσία για ύαλο
Terre verte	Σελαντονίτης/ Γκλαουκονίτης/πράσινη γη	$\text{K}(\text{Mg,Fe}^{2+})(\text{Fe}^{3+},\text{Al})\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ή $(\text{K,Na})(\text{Fe}_3+\text{Al,Mg})_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	Κίτρινο-πράσινο σε απαλό πράσινο γκρι	Φυσική	1	Χρωστική ουσία για ύαλο και κεραμικά εφυσάλωματα

Πίνακας 2: Χρωστικές ουσίες που ήταν σε χρήση κατά την αρχαιότητα για το χρωματισμό των υάλων.

- **Αδιαφανοποιητές υάλου:** Οι δύο κύριοι αδιαφανοποιητές, που χρησιμοποιούνταν στις αρχαίες υάλους, ήταν το αντιμόνιο και ο κασσίτερος. Η προσθήκη του αντιμονίου στην υαλόμαζα γινόταν με το ορυκτό στιβνίτης (θειούχο αντιμόνιο). Όταν το αντιμόνιο προστεθεί σε μολυβδόχο υαλόμαζα, σχηματίζεται κατά την πύρωση ο αδιαφανής κίτρινος πυροαντιμονικός μόλυβδος ($\text{Pb}_2\text{Sb}_2\text{O}_7$), ο οποίος κάτω από οξειδωτικές συνθήκες παραμένει αδιάλυτος μέσα στην ύαλο. Κατά την παρατήρηση στο μικροσκόπιο, διακρίνονται κίτρινοι αδιαφανείς κρύσταλλοι ενσωματωμένοι σε άχρωμη υαλόμαζα. Εκτός αυτού, εάν ενώσεις αντιμονίου προστεθούν σε ύαλο ασβεστίου-νατρίου, σχηματίζονται άσπροι αδιαφανείς κρύσταλλοι του αντιμονικού ασβεστίου ($\text{Ca}_2\text{Sb}_2\text{O}_7$ ή $\text{Ca}_2\text{Sb}_2\text{O}_6$). Ο κασσίτερος, ως αδιαφανοποιητής στην ύαλο, παράγει άσπρο χρώμα, όταν είναι υπό μορφή οξειδίου (SnO_2), ή κίτρινο, όταν είναι υπό μορφή οξειδίων σε μόλυβδο ($\text{Pb}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$ ή $\text{Pb}_2\text{Sn}_2\text{O}_4$). Το αντιμόνιο υπάρχει σε ποσοστό 1-2% σε αδιαφανείς άσπρες, κίτρινες και μπλε υάλους στη 2^η χιλιετία π.Χ. από τις περιοχές της Αιγύπτου, του Αιγαίου και της Μεσοποταμίας. Επίσης, οι κίτρινοι ύαλοι περιείχαν και μόλυβδο σε ποσοστό πάνω από 1%. Η χρήση του αντιμονίου ως αδιαφανοποιητή συνεχίστηκε και κατά την 1^η χιλιετία π.Χ. στην Ανατολική Μεσόγειο, ενώ κατά τον 4^ο αι. π.Χ. σταμάτησε η χρήση του και εμφανίστηκε ο κασσίτερος στις αδιαφανείς υάλους.
- **Αποχρωματιστές υάλου:** Οι αρχαίες άχρωμες ύαλοι είχαν μία πρασινωπή απόχρωση εξαιτίας της παρουσίας του δισθενούς σιδήρου στην άμμο. Αρχικά, η προσεκτική επιλογή των πρώτων υλών και το πλύσιμό τους ήταν οι μοναδικοί τρόποι για την αποφυγή των ακαθαρσιών. Αργότερα, ανακαλύφθηκε ότι η ύαλος, που περιείχε οξείδιο του σιδήρου, ήταν δυνατό να αποχρωματιστεί απομακρύνοντας τα δισθενή ιόντα. Κάτι τέτοιο μπορούσε να επιτευχθεί είτε με τη μεταβολή των συνθηκών τήξης είτε με την προσθήκη στην υαλόμαζα οξειδωτικών ουσιών, όπως οξείδια του αντιμονίου ή του μαγγανίου.

Ανάλογα με την ποσότητα και τις συνθήκες πύρωσης, το αντιμόνιο μπορεί να δράσει είτε ως αποχρωματιστής (Sb^{5+}) είτε ως αδιαφανοποιητής (Sb^{3+}). Η χρήση των διαφόρων ενώσεων του αντιμονίου ως αδιαφανοποιητών οδήγησε τους αρχαίους υαλουργούς στην ανακάλυψη των αποχρωματιστικών τους

ιδιοτήτων. Ανακάλυψαν ότι η αύξηση της θερμοκρασίας κατά την παραγωγή αδιαφανούς υάλου με αντιμονιούχο μάζα προσέδιδε στην ύαλο μία λαμπερή διαύγεια. Ο αποχρωματισμός με αντιμόνιο εμφανίστηκε τον 7^ο αι. π.Χ. και συνεχίστηκε στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου, της Εγγύς Ανατολής (Περσία) καθώς και στον ελλαδικό χώρο (Ολυμπία, Βεργίνα, Ρόδος, Δήλος, Αμοργός) έως το τέλος της 1^{ης} χιλιετίας.

Σε υάλους του 1^{ου} αι. π.Χ. παρατηρήθηκε αύξηση του μαγγανίου στη θέση του αντιμονίου. Το διοξείδιο του μαγγανίου μπορεί να δράσει ως αποχρωματιστής οξειδώνοντας το δισθενή σίδηρο. Στους επόμενους αιώνες ήταν σε χρήση, εναλλακτικά ή σε συνδυασμό, και τα δύο στοιχεία ως αποχρωματιστές, όμως στο τέλος του 4^{ου} αι. μ.Χ. στα όρια της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας έπαυσε η χρήση του αντιμονίου τόσο ως αποχρωματιστή όσο και ως αδιαφανοποιητή (Μήρτσου 2002).

2. ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΚΑΙ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

2.1 Ιστορική και αρχαιολογική επισκόπηση Ρόδου

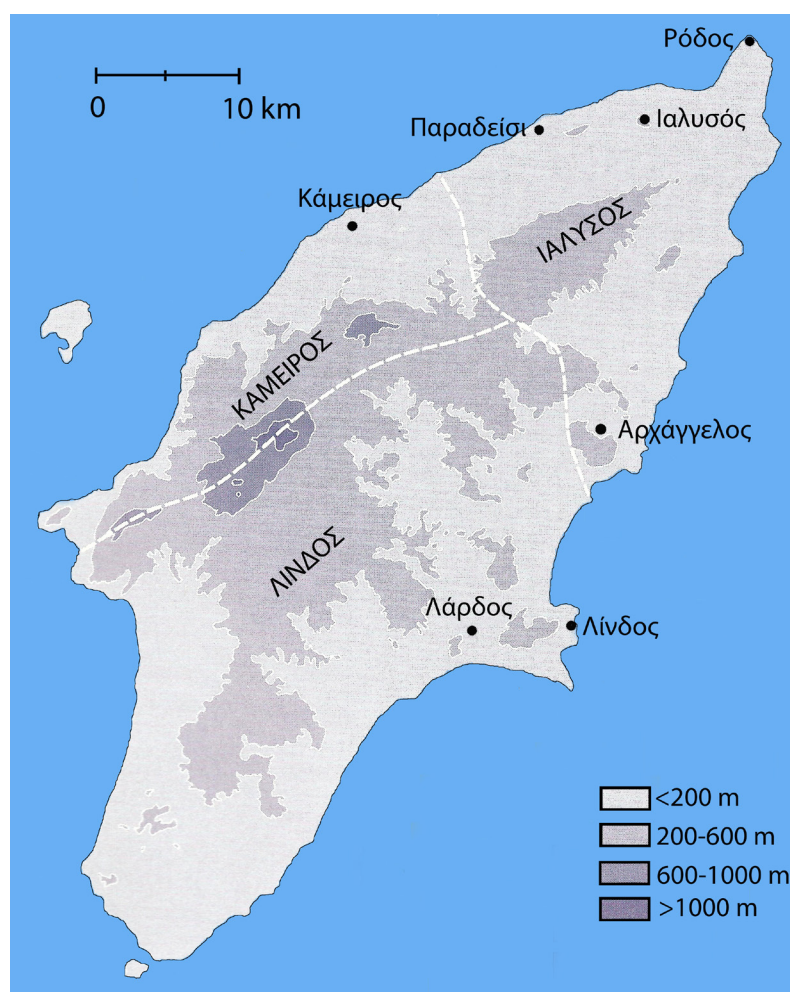
Η εποχή του Λίθου (Νεολιθική περίοδος) και η πρώιμη περίοδος της εποχής του Χαλκού στη Ρόδο είναι γνωστές μόνο από σποραδικά ευρήματα. Η αρχαιολογική εικόνα της Ρόδου στις πρώιμες αυτές περιόδους υποδεικνύει σχέσεις με τις Κυκλάδες, τα νησιά του ΒΑ Αιγαίου και τη Μ. Ασία. Η μέση εποχή του Χαλκού χαρακτηρίζεται από την εμφάνιση μινωικών στοιχείων, η οποία κορυφώνεται στην υστερομινωική περίοδο. Οι αντιπροσωπευτικότεροι οικισμοί κυριαρχούνται από τα στοιχεία του μινωικού πολιτισμού, αν και δεν πρόκειται για γνήσιες μινωικές αποικίες. Ωστόσο, φυσικές καταστροφές και αναστατώσεις έχουν σοβαρές συνέπειες στους οικισμούς αυτούς (Παπαχριστοδούλου 1989).

Στην επόμενη φάση, κατά τη Μυκηναϊκή περίοδο, γίνονται διαρκώς εντονότερα τα μυκηναϊκά στοιχεία που παρουσιάζονται μεταξύ των ευρημάτων. Η εμφάνιση των μυκηναϊκών στοιχείων υποδεικνύει την εγκατάσταση των πρώτων Μυκηναίων οι οποίοι στη συνέχεια εξαπλώνονται σε όλη την έκταση της Ρόδου, καθώς η Δωδεκάνησος πρέπει να έπαιξε σημαντικό ρόλο ως ενδιάμεσος σταθμός του μυκηναϊκού εμπορίου με την Ανατολή. Μετά τις καταστροφές των μυκηναϊκών κέντρων η Ρόδος, χωρίς να επηρεαστεί από αυτές, ακολουθεί αυτόνομα την πορεία της και, μαζί με τις Κυκλάδες και την ανατολική Αττική, αποκτά δύναμη και σημασία, όπως αντικατοπτρίζεται στον «*Νεών Κατάλογο*» της Ιλιάδας.

Μετά το τέλος της Μυκηναϊκής εποχής στο δωδεκανησιακό χώρο παρατηρείται ένα αρχαιολογικό κενό έως την ύστερη Πρωτογεωμετρική περίοδο. Την εξέλιξη στη Γεωμετρική περίοδο χαρακτηρίζουν κυρίως οι στενές σχέσεις με την Κύπρο και την Ανατολή, που συνεχίζονται και στην Αρχαϊκή περίοδο με πιθανή εγκατάσταση στη Ρόδο παροικίας Φοινίκων. Από το τέλος του γ' τέταρτου του 8^{ου} αι. π.Χ. η εξάπλωση προϊόντων ροδιακής κεραμικής στη Δύση και στην Ανατολή φανερώνει αυξημένη κίνηση του ροδιακού εμπορίου και στις πρώτες παροικιακές και αποικιακές εγκαταστάσεις Ροδίων σε μακρινά εδάφη. Η γεωγραφική θέση του νησιού έπαιξε βασικό ρόλο στη ναυτική και

εμπορική ακμή, που σημειώνονται στην Αρχαϊκή περίοδο, όπως συνέβη και στη Μυκηναϊκή και αργότερα στην Κλασική και την Ελληνιστική περίοδο.

Κάθε μία από τις τρεις δωρικές πόλεις του νησιού, η Λίνδος, η Κάμειρος ή Καμυρίδα και η Ιαλυσός (εικ. 10) έχουν κατά την Αρχαϊκή περίοδο την ιδιαίτερη φυσιογνωμία τους και μία αυτόνομη πολιτική και οικονομική εξέλιξη (Παπαχριστοδούλου 1983). Γενικά η ακμή της Ρόδου στην Αρχαϊκή εποχή, αν και υπολείπεται κατά πολύ από την τεράστια ανάπτυξη που παρουσιάζει το νησί στα χρόνια μετά το συνοικισμό των τριών πόλεων στην πόλη της Ρόδου, θεωρείται μία εισαγωγή και ένα προοίμιο της μεταγενέστερης εξέλιξης (Παπαχριστοδούλου 1989). Ιδιαίτερα στον τομέα της τέχνης, η προσφορά της Ρόδου στην ύστερη Γεωμετρική και την Αρχαϊκή περίοδο αποτελεί ένα από τα κύρια κεφάλαια της καλλιτεχνικής ιστορίας του ανατολικού Αιγαίου (ΕΑΑ VI.1965, λ. Rodi.)



Εικόνα 10: Χάρτης της νήσου Ρόδου (Gabrielsen 1997).

Αντίθετα κατά τον 5ο αι. π.Χ., και έως το συνοικισμό, η Ρόδος παρουσιάζει μία πτώση που οφείλεται στην υποταγή πρώτα στους Πέρσες και έπειτα, μετά τα Περσικά, στην αθηναϊκή ηγεμονία. Η ναυτική Λίνδος χάνει τη σημασία που είχε στην Αρχαϊκή περίοδο και την πρώτη θέση παίρνει η Ιαλυσός. Στη διάρκεια του Πελοποννησιακού πολέμου Ρόδιοι συμμετέχουν με τους Αθηναίους στην εκστρατεία της Σικελίας (Παπαχριστοδούλου 1989). Στην περίοδο της αθηναϊκής ηγεμονίας φαίνεται ότι εγκαθιδρύθηκαν στις ροδιακές πόλεις δημοκρατικά πολιτεύματα.

Οι πολίτες των τριών αρχαίων ροδιακών πόλεων, της Λίνδου, της Ιαλυσού και της Καμείρου, αποφασίζουν δημοκρατικά να ενωθούν το 408-7 π.Χ. σε μία πολιτεία ομώνυμη του νησιού τους. Ο συνοικισμός της Ρόδου, το σπουδαιότερο γεγονός της ροδιακής ιστορίας, συντελείται μετά την αποστασία της Ρόδου από την αθηναϊκή συμμαχία, όταν με την ένωση των τριών παλαιών πόλεων δημιουργείται ή νέα πόλις.

Το νέο άστυ κτίζεται με βάση το υποδάμειο σύστημα στο βόρειο άκρο του νησιού. Η θέση αυτή στην περιοχή της Ιαλυσίας φαίνεται ότι επιλέχθηκε ως η καταλληλότερη σε επίκαιρο σημείο, όπου διασταυρώνονται οι θαλάσσιοι δρόμοι από τα λιμάνια του Εύξεινου Πόντου και τα νησιά του βόρειου Αιγαίου προς την Κρήτη και την Αίγυπτο αλλά και από την Πελοπόννησο και την άλλη Ελλάδα προς τις μικρασιατικές πόλεις, την Κύπρο, τη Φοινίκη και τη Συρία (Δρελιώση – Ηρακλείδου 1999). Η ίδρυση του ενιαίου κράτους έγινε με ολιγαρχικό καθεστώς και κάτω από τη σπαρτιατική κηδεμονία, από την οποία όμως η Ρόδος σύντομα απομακρύνεται και εγκαθιδρύεται δημοκρατικό πολίτευμα.

Ο 4ος αι. π.Χ. είναι για τη Ρόδο μία εποχή αστάθειας, συχνών πολιτικών μεταβολών, εσωτερικών αντιθέσεων και εξωτερικών επεμβάσεων. Μέσα όμως από τις δοκιμασίες αυτές και τις σφοδρές συγκρούσεις ανάμεσα σε δημοκρατικούς και ολιγαρχικούς, που υποστηρίζονται αντίστοιχα από την Αθήνα και τη Σπάρτη, το δημοκρατικό της πολίτευμα πήρε την τελική μορφή του και η Ρόδος καθιερώνεται ως σπουδαία ναυτική και εμπορική δύναμη. Κατά τα μέσα του 4^{ου} αι. π.Χ. υποτάσσεται στην καρική δυναστεία η οποία διαρκεί έως τα χρόνια του Μ. Αλεξάνδρου, κατά τα οποία η Ρόδος γίνεται μία ελεύθερη ελληνική πόλη με δημοκρατικό πολίτευμα, περιορίζεται όμως από την παρουσία μακεδονικής φρουράς. Ο θάνατος του Μ. Αλεξάνδρου (323 π.Χ.) δίνει την ευκαιρία για την ουσιαστική έναρξη της ζωής της ανεξάρτητης ροδιακής

πολιτείας. Στα επόμενα όμως χρόνια έπρεπε να αντιπαλαίσει με τις αντιξοότητες της ταραγμένης πρώιμης εποχής των Διαδόχων και να πορευτεί ανάμεσα στις συγκρούσεις και τους ανταγωνισμούς τους.

Με τους Πτολεμαίους, που ελέγχουν την Αλεξάνδρεια, η ίδρυση της οποίας (331 π.Χ.) είχε μεγάλη σημασία για την εμπορική εξέλιξη της Ρόδου (Fraser 1972), οι σχέσεις για οικονομικούς κυρίως λόγους ήταν από την αρχή ιδιαίτερα καλές, έως τα τέλη του 4^{ου} αι. π.Χ. με τη δραματική πολιορκία της Ρόδου από τον Δημήτριο τον Πολιορκητή. Η επιτυχημένη για τους Ροδίους έκβαση της πολιορκίας κατοχύρωσε τη ροδιακή ανεξαρτησία και αναδεικνύει τη Ρόδο ως τη σημαντικότερη ελληνική πόλη μετά τα μεγάλα ελληνιστικά βασίλεια.

Στο μεγαλύτερο μέρος του 3^{ου} αι. π.Χ. η ροδιακή ιστορία είναι αποσπασματική. Είναι όμως φανερό ότι η ανοδική πορεία του ναυτικού κράτους της Ρόδου συνεχίζεται και κορυφώνεται στην τελευταία εικοσαετία του 3^{ου} και τις πρώτες δεκαετίες του 2^{ου} αι. π.Χ. Η Ρόδος εξελίσσεται σε σπουδαιότατο και κύριο κέντρο του διαμετακομιστικού εμπορίου της Ανατολικής Μεσογείου, οικονομικό κέντρο και δύναμη πρώτου μεγέθους (εικ. 11). Το μεγάλο κύρος της Ρόδου ως πολιτικού και οικονομικού κέντρου υποδεικνύουν οι δωρεές των ισχυρών της εποχής για την ανόρθωση της Ρόδου μετά τον καταστροφικό σεισμό του 227-226 π.Χ. και ο σημαντικός ρόλος που παίζει το 220 π.Χ. στο συνασπισμό εναντίον της πόλης του Βυζαντίου που εμποδίζει την εμπορική κίνηση με τον Εύξεινο Πόντο (Παπαχριστοδούλου 1989).

Στα τέλη του 3^{ου} αι. π.Χ. εμφανίζεται στον πολιτικό ορίζοντα της Ελλάδας και της ελληνικής Ανατολής η δημοκρατία της Ρώμης, με την οποία οι Ρόδιοι είχαν ήδη παλαιότερα επαφές. Οι ενέργειες του Φιλίππου Ε' στο Αιγαίο οδηγούν τους Ροδίους στην απόφαση να καλέσουν από κοινού με άλλες ελληνικές δυνάμεις τη Ρώμη για επέμβαση στην Ανατολή. Τελικά, μετά την ήττα του Φιλίππου, η Ρόδος βγαίνει ενισχυμένη. Επανακτά παλαιά εδάφη και εξαπλώνει την επιρροή της σε πόλεις που ήταν έως τότε κάτω από την πτολεμαϊκή κυριαρχία αναλαμβάνοντας επίσημα την ηγεσία του Κοινού των Νησιωτών.

Την ίδια περίοδο εκδηλώνεται η έντονη ηγεμονική και επεκτατική πολιτική του Αντιόχου Γ' του Μεγάλου προς τη Μ. Ασία και την Ευρώπη, που θα τον φέρει σε σύγκρουση με την Πέργαμο και τη Ρώμη και θα οδηγήσει σε ένα νέο πόλεμο (192-189

π.Χ.). Η Ρόδος συμβάλλει αποφασιστικά στην ήττα του Αντιόχου στο θαλάσσιο μέτωπο (ναυμαχίες Σίδης και Μυοννήσου, 190 π.Χ.), παρόλο που αρχικά οι σχέσεις της με τον Αντίοχο ήταν καλές, και τελικά αποκομίζει, ως ένας από τούς κύριους συντελεστές της νίκης, μεγάλα εδαφικά οφέλη φθάνοντας στο απόγειο της δύναμης και της ανάπτυξής της.



Εικόνα 11: Η περιοχή του ροδιακού κράτους κατά την Ελληνιστική περίοδο (Παπαχριστοδούλου 1989).

Γενικώς στα Ελληνιστικά χρόνια η Ρόδος είναι μία από τις ωραιότερες και πιο οργανωμένες πόλεις του τότε γνωστού κόσμου. Δρόμοι οριζόντιοι και κάθετοι τη διασχίζουν σύμφωνα με το υποδάμειο σύστημα (εικ. 12). Ναοί και λαμπρά δημόσια κτήρια την κοσμούν και τα λιμάνια της δέχονται πλοία από όλο τον κόσμο και γεμίζουν με πλούτο τους πολίτες της.

παύει ακόμη, παρά τις απώλειές της, να είναι μία σημαντική εμπορική και ναυτική δύναμη.

Στο πρώτο μισό του 1^{ου} αι. π.Χ. είναι πάντως ακόμη αρκετά ισχυρή, ώστε να φανεί πολύτιμος σύμμαχος της Ρώμης στους μιθριδατικούς πολέμους (πολιορκία της Ρόδου από το Μιθριδάτη, 88 π.Χ.). Τελικά όμως οι εμφύλιοι πόλεμοι των Ρωμαίων υπήρξαν καταστροφικοί για τη Ρόδο. Η πολιορκία και η άλωση από τον Κάσιο (42 π.Χ.), με τις ταπεινώσεις και τις λεηλασίες που ακολουθούν, τερματίζουν οριστικά το ρόλο της ως υπολογίσιμης ναυτικής δύναμης στην Ανατολική Μεσόγειο, παρόλο που η συνεργασία της με τους Ρωμαίους στον 1^ο αι. π.Χ. δίνει στους Ροδίους μερικά προσωρινά εδαφικά οφέληματα.

Ωστόσο, η Ρόδος, παρόλη την παρακμή της κατά τον 1^ο αι. π.Χ. ως πολιτικής δύναμης, προβάλλει την εποχή αυτή ως ένα από τα μεγαλύτερα κέντρα των γραμμάτων και της τέχνης. Σπουδαία είναι η συμβολή της στους τομείς της λογοτεχνίας, της φιλολογίας, της ρητορικής, της φιλοσοφίας, του δικαίου, της ιστορίας, της γεωγραφίας, των θετικών επιστημών, ενώ συγχρόνως είναι ένα από τα μεγαλύτερα καλλιτεχνικά κέντρα του ελληνιστικού κόσμου (Hiller von Gaertrigen 1931).

Μετά την επικράτηση του Αυγούστου (31 π.Χ.) και την εγκαθίδρυση της ρωμαϊκής αυτοκρατορίας, η Ρόδος διατηρεί την εσωτερική αυτονομία της και για μεγάλο χρονικό διάστημα εξακολουθεί να είναι ένα αξιόλογο εμπορικό κέντρο και μία πόλη που προκαλεί το θαυμασμό των συγχρόνων για την ομορφιά και τους καλλιτεχνικούς θησαυρούς της (Παπαχριστοδούλου 1989).

Συμπερασματικά, η Ρόδος, το μεγαλύτερο σε έκταση νησί της Δωδεκανήσου, κατέχει σημαίνουσα θέση στο σημαντικό κατά την αρχαιότητα γεωγραφικό χώρο του ΝΑ Αιγαίου που αποτελεί πυρήνα δημιουργίας, διακίνησης αγαθών και ιδεών αλλά και κόμβο επικοινωνίας με την Ανατολή, τη Δύση, το Βορρά και το Νότο. Η Ρόδος αναδεικνύεται μία από τις κύριες πύλες εισόδου, μεταφοράς και διακίνησης των προϊόντων, των ιδεών και των τεχνολογικών γνώσεων της Ανατολής στη Δύση. Στο χώρο αυτό αναπτύσσονται πάμπολλες εμπορικές και τεχνολογικές δραστηριότητες, ανάμεσα στις οποίες σημαντικό ρόλο κατέχουν οι τομείς της υαλοποιίας και υαλουργίας, που αναπτύσσονται με ιδιαίτερο ζήλο και παράγουν άφθονα τοπικά υαλουργικά προϊόντα, απόρροια εμπειρικής αλλά και εμπριθούς δημιουργικής γνώσης. Το νησί του θεού Ήλιου

είναι πλέον γνωστό στην ειδική βιβλιογραφία ως ένα από τα σημαντικότερα κέντρα διαμετακομιστικού εμπορίου, αλλά και ως κέντρο υαλοτεχνικών προϊόντων της Μεσογείου (Τριανταφυλλίδης 2002).

Τα υάλινα αντικείμενα, που αναλύονται στην παρούσα εργασία (βλ. Παράρτημα Ι.1) προέρχονται από την Κάμειρο, η οποία είναι η πιο μικρή σε έκταση πόλη-κράτος της αρχαίας Ρόδου. Καταλαμβάνει το κεντροδυτικό τμήμα του νησιού, όπου υπάρχουν οι περισσότερες ορεινές περιοχές αλλά και εύφορες πεδιάδες.

Η πόλη αναφέρεται από τον Όμηρο (*Ιλιάς*, Β 656) αλλά και τον Θουκυδίδη (*Ιστορίαι* VIII 44, 2). Από την αρχαία πόλη διασώζονται ερείπια ενός αρχιτεκτονικά διαμορφωμένου συνόλου των Αρχαϊκών και Κλασικών χρόνων, ενώ προς ΒΔ έχει εντοπιστεί ένα ιερό και βορειότερα ένας άλλος οικισμός, ίσως ο παραθαλάσσιος.

Κατά την Ελληνιστική περίοδο συντελείται μία εκτεταμένη πολεοδομική αναμόρφωση της Καμείρου που βασίζεται στην υποδάμεια πολεοδομία. Ο οικισμός διαμορφώνεται σε τρία άνισα μέρη. Το κάτω επίπεδο μοιάζει με μεγάλη πλατεία (αγορά), όπου διασώζονται λείψανα ενός πώρινου ναού, μίας κρήνης και ενός μικρού αρχαϊκού Ιερού με βωμούς διαφόρων θεοτήτων. Στην πλαγιά του λόφου αναπτύσσεται το οικιστικό κέντρο κατά το υποδάμειο σύστημα. Στο επάνω αρχαιότερο επίπεδο με την ακρόπολη διασώζονται αρχαϊκά αρχιτεκτονικά κατάλοιπα, το τέμενος και ο ναός της Αθηνάς Καμιράδος (εικ. 13), μεγάλη υπόγεια δεξαμενή και μεγάλη διπλή ελληνιστική στοά (Κωνσταντινόπουλος 1986).



Εικόνα13: Λείψανα του ναού της Αθηνάς Καμιράδος στην Κάμειρο (Αρχείο Π. Τριανταφυλλίδη).

2.2 Ιστορική και αρχαιολογική επισκόπηση Θήβας

Τα όρια της Βοιωτίας κατά την αρχαιότητα συμπίπτουν περίπου με τα όρια του σημερινού Νομού Βοιωτίας (εικ. 14), με τη διαφορά ότι η αρχαία Βοιωτία περιλάμβανε και το κομμάτι της Λοκρίδας προς τον Ευβοϊκό κόλπο, ενώ η περιοχή Διστόμου και Αράχοβας ανήκε στην αρχαία Φωκίδα. Στα νότια η αρχαία Βοιωτία συνόρευε με την Αττική και τη Μεγαρίδα και στα βορειοδυτικά με την Οπουντία Λοκρίδα και τη Φωκίδα, με διεξόδους στον Ευβοϊκό και τον Κορινθιακό κόλπο. Είναι χώρα εύφορη, βρέχεται από τρεις θάλασσες, έχει πολλά λιμάνια και γι' αυτό πλεονεκτεί σε πλούτο και δύναμη, όπως βεβαιώνει ο Στράβων (*Γεωγραφικά*).



Εικόνα 14: Χάρτης αρχαίας Βοιωτίας.

Με βάση τις αρχαιολογικές έρευνες στη Βοιωτία τα αρχαιότερα ίχνη κατοίκησης χρονολογούνται στην Παλαιολιθική Εποχή, όταν ο άνθρωπος ζει από το κυνήγι και δεν έχει μόνιμη κατοικία.

Στη Νεολιθική εποχή, με την εισαγωγή της γεωργίας και της κτηνοτροφίας, σε διάφορες θέσεις της Βοιωτίας δημιουργούνται μόνιμοι οικισμοί από τους οποίους προέρχονται πλήρως χειροποίητα αγγεία.

Η πρώτη εποχή του Χαλκού (Πρωτοελλαδική) είναι σε ολόκληρη την Ελλάδα εποχή σχετικής ακμής, καθώς με τη χρήση του πρώτου μετάλλου, αλλάζει ριζικά η οικονομία και η κοινωνική οργάνωση και πυκνώνουν οι επαφές ανάμεσα σε διάφορες περιοχές. Την εποχή αυτή η Βοιωτία είναι πυκνά κατοικημένη με πολύ αξιόλογους οικισμούς, όπως ο Ορχομενός στο βορειοδυτικό και η Θήβα στο νότιο τμήμα της. Από την περίοδο αυτή διασώζονται αρχιτεκτονικά λείψανα, όπως κυκλικά οικοδομήματα στον Ορχομενό και αψιδωτά κτήρια στη Θήβα. Όπως υποδεικνύουν τα ευρήματα η Βοιωτία αναπτύσσει επαφές με γειτονικές περιοχές. Τα λιμάνια του Ευβοϊκού κόλπου χρησιμεύουν για την επικοινωνία με την Εύβοια και τις Κυκλάδες, ενώ τα λιμάνια του Κορινθιακού με την Πελοπόννησο (Τσεβάς 2006).

Κατά τη δεύτερη φάση της εποχής του Χαλκού (Μεσοελλαδική) σημειώνονται μεγάλες αλλαγές στην Ελλάδα εξαιτίας των μετακινήσεων ελληνικών φύλων από το βορρά. Γενικά είναι φανερή μία καθυστέρηση στην πολιτιστική και οικονομική ανάπτυξη, ιδιαίτερα στις δύο πρώτες φάσεις της εποχής. Στην κεραμική, όπως μαρτυρούν τα Μινυακά αγγεία, σημειώνεται πρόοδος καθώς χρησιμοποιείται ο κεραμικός τροχός. Στη Βοιωτία εξακολουθούν να κατοικούνται οι παλιοί Πρωτοελλαδικοί οικισμοί, όπως η Θήβα και ο Ορχομενός, στους οποίους συναντώνται νεκροταφεία με κιβωτιόσχημους τάφους. Κατά το τέλος της εποχής μερικοί από τους τάφους είναι πλούσια κτερισμένοι με χρυσά κοσμήματα. Στις περισσότερες Μεσοελλαδικές θέσεις βρέθηκε άφθονη και πολύ καλής ποιότητας Μινυακή κεραμική της οποίας η Βοιωτία θεωρείται πατρίδα ή ένα από τα κύρια κέντρα παραγωγής της.

Η τρίτη φάση της εποχής του Χαλκού (Υστεροελλαδική ή Μυκηναϊκή) είναι η λαμπρότερη περίοδος της προϊστορίας της ηπειρωτικής Ελλάδας. Την εποχή αυτή χτίζονται σε διάφορες θέσεις ισχυρά οχυρωμένες ακροπόλεις, μεγάλοπρεπα ανάκτορα και μνημειακοί θολωτοί τάφοι και φτάνουν σε μεγάλη άνθηση η ζωγραφική, η ελεφαντουργία, η μεταλλοτεχνία, η χρυσοχοΐα και η σφραγιδογλυφία. Η Βοιωτία γνωρίζει μεγάλη ακμή και γίνεται μία από τις σημαντικότερες περιοχές της μυκηναϊκής Ελλάδας, όπως υποδεικνύουν τα ευρήματα των ανασκαφών και η σπουδαία θέση που κατέχει στη μυθολογία και στις αρχαίες παραδόσεις.

Το λαμπρότερο κέντρο της αρχαίας Βοιωτίας είναι η Θήβα, όπου στη μεγάλη ακρόπολη της Καδμείας χτίζεται εντυπωσιακό ανάκτορο με αποθήκες, εργαστήρια και αρχεία, καθώς και με πολλά δωμάτια κοσμημένα με τοιχογραφίες. Τα πολύτιμα αντικείμενα, που βρέθηκαν στο ανάκτορο, μαρτυρούν ότι ήταν έδρα ισχυρών Μυκηναίων ηγεμόνων, οι οποίοι είχαν αναπτύξει μεγάλη παραγωγή γεωργικών κυρίως ειδών, και έχουν στενές εμπορικές σχέσεις με περιοχές του Αιγαίου και της Ανατολής. Μεγάλα και πλούσια νεκροταφεία της εποχής αυτής βρέθηκαν στους γύρω λόφους (Δημακοπούλου και Κόνσολα 1981).

Μία εικόνα της μυκηναϊκής Βοιωτίας παρέχει ο γνωστός «*Νεών Κατάλογος*» της Ιλιάδας, όπου απαριθμούνται τα μυκηναϊκά βασίλεια με τις πόλεις οι οποίες παίρνουν μέρος στην τρωική εκστρατεία. Για τη Βοιωτία αναφέρονται 31 πόλεις. Πρέπει να σημειωθεί ότι η Θήβα δεν συμπεριλαμβάνεται στις πόλεις αυτές, πιθανώς επειδή είχε καταστραφεί πριν την τρωική εκστρατεία. Πράγματι οι ανασκαφές στη Θήβα δείχνουν ότι το μυκηναϊκό ανάκτορο είχε καταστραφεί στα μέσα του 13^{ου} αι. π.Χ. από εχθρική επιδρομή και ότι δεν ξανακατοικήθηκε. Αντίθετα η πόλη της Θήβας εξακολούθησε να κατοικείται, αλλά έχασε την προηγούμενη ακμή της. Ωστόσο, το πλήθος των τραγικών μύθων, που υφάνθηκαν γι' αυτήν, όπως του οίκου του Οιδίποδα, παρουσιάζουν μία κοινωνία αναπτυγμένη και πολιτισμένη και μία πόλη που παίζει πρωταγωνιστικό ρόλο στις μεγάλες κοινές επιχειρήσεις των Ελλήνων, όπως στην Αργοναυτική εκστρατεία και τον Τρωικό πόλεμο.

Μετά τη Μυκηναϊκή εποχή, κατά τον 12^ο αι. π.Χ., διαπιστώνεται και στη Βοιωτία, όπως σε πολλά άλλα μέρη της Ελλάδας, παρακμή με αραιώση του πληθυσμού, εγκατάλειψη πολλών οικισμών και επιδρομές ορεινών φύλων. Αρκετοί παλιοί κάτοικοι, ανάμεσα στους οποίους, οι Καδμείοι της Θήβας και οι Μινύες του Ορχομενού, συγχωνεύονται με τους νέους κατοίκους και η ανάμνησή τους διασώζεται στους μύθους και τις παραδόσεις, ενώ άλλοι αναγκάζονται να εκπατριστούν στις γειτονικές περιοχές της Εύβοιας και της Αττικής. Κατά την επόμενη περίοδο (Πρωτογεωμετρική και Γεωμετρική), μετά το τέλος του μυκηναϊκού πολιτισμού, τα αρχαιολογικά κατάλοιπα είναι σχετικώς πενιχρά.

Από την αρχή των ιστορικών χρόνων δημιουργούνται στη Βοιωτία διάφορες αυτόνομες «πόλεις», ανάμεσα στις οποίες ξεχωρίζουν η Θήβα και ο Ορχομενός που από

τα προϊστορικά χρόνια έως το τέλος σχεδόν της αρχαιότητας είναι τα δύο μεγαλύτερα βοιωτικά κέντρα με διαρκή μεταξύ τους ανταγωνισμό. Οι πόλεις της Βοιωτίας, παρά την αυτονομία τους, έχουν μεταξύ τους δεσμούς και γύρω στα τέλη του 6^{ου} αι. π.Χ. ιδρύουν ένα ομοσπονδιακό κράτος, τη Βοιωτική Ομοσπονδία. Τις ομόσπονδες πόλεις ενώνουν όχι μόνον η κοινή θρησκεία, η διάλεκτος και τα κοινά πολιτικά και οικονομικά συμφέροντα, αλλά και στρατιωτικοί λόγοι, καθώς η Ομοσπονδία είναι στην πραγματικότητα αμυντική συμμαχία εναντίον των κοινών εχθρών, Θεσσαλών και Αθηναίων. Ωστόσο, μερικές από τις βοιωτικές πόλεις, όπως οι Πλαταιές, δυσφορώντας για τη σκληρή στάση της Θήβας, που είχε την αρχηγία στην Ομοσπονδία, επιχειρούν να αποχωρήσουν και προσχωρούν στη Συμμαχία των Αθηναίων. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε πόλεμο τους Θηβαίους εναντίον των Αθηναίων, με αποτέλεσμα να νικηθούν οι Θηβαίοι και να αναγκαστούν να περιορίσουν την επικυριαρχία τους. Έκτοτε χρονολογείται η έχθρα μεταξύ Βοιωτών και Αθηναίων.

Κατά τη Γεωμετρική και ιδίως την Αρχαϊκή περίοδο η Βοιωτία είναι ένα από τα καλλιτεχνικά και πολιτιστικά κέντρα της Ελλάδας, με φανερές επιδράσεις στην τέχνη της από τα μεγάλα εργαστήρια της Αττικής, της Κορίνθου και των νησιών. Περισσότερο γνωστή είναι η τέχνη της Αρχαϊκής εποχής από τα αρχαϊκά Ιερά και νεκροταφεία της Βοιωτίας, με σπουδαιότερο το Ιερό και μαντείο του Απόλλωνα στο Πτώον από όπου προέρχονται και οι γνωστοί κούροι. Σημαντικός είναι και ο αρχαϊκός ναός του Ισμηνίου Απόλλωνα στη Θήβα, ο οποίος είχε χτιστεί στη θέση ενός αρχαιότερου. Από τα νεκροταφεία της Θήβας προέρχονται πλούσια ευρήματα της Αρχαϊκής περιόδου, όπως αγγεία, ειδώλια και κοσμήματα. Στους τάφους των νεκροταφείων αυτών, μαζί με την τοπική κεραμική, βρέθηκε και μεγάλος αριθμός κορινθιακών και αττικών κυρίως αγγείων που μαρτυρούν στενές εμπορικές και πολιτιστικές σχέσεις με την Αθήνα και την Κόρινθο (Χαραμή 2011/2012).

Στις αρχές του 5^{ου} αι. π.Χ., κατά τους περσικούς πολέμους, αρκετά σημαντικό, αν και αρνητικό ρόλο, διαδραματίζει η Βοιωτία και ιδιαίτερα η Θήβα η οποία συμμαχεί με τους Πέρσες στη δεύτερη εκστρατεία εναντίον της Ελλάδας. Από τους υπόλοιπους Έλληνες η στάση αυτή θεωρείται προδοτική και, όπως αναφέρεται από τους αρχαίους ιστορικούς, πράξη «*αισχίστου ονείδους*». Μόνο οι Πλαταιές και οι Θεσπιές από τις

βοιωτικές πόλεις διαχωρίζουν τη θέση τους και τάσσονται στο πλευρό των Ελλήνων (Τσεβάς 2006).

Στη Βοιωτία γίνεται μία από τις σημαντικότερες μάχες των περσικών πολέμων, η μάχη στις Πλαταιές (479 π.Χ.), η οποία έχει αποφασιστική σημασία για την τελική νίκη των Ελλήνων. Η Θήβα, που πολεμά εκεί ως σύμμαχος των Περσών, τιμωρείται από τους Έλληνες και χάνει την ηγεμονία της Βοιωτικής Ομοσπονδίας, που και αυτής ο ρόλος περιορίζεται σημαντικά. Αυτή την περίοδο, κατά την οποία η ιστορία της Θήβας φέρει το στίγμα του μηδισμού και την κατηγορία του βαρβαρισμού, η Θήβα αναδεικνύει τον Πίνδαρο, σπουδαίο ποιητή και θερμό υμνητή των ελληνικών κατορθωμάτων.

Στα χρόνια που ακολουθούν οι Θηβαίοι επιδιώκουν την ανάκτηση της ηγεμονίας στη Βοιωτία, την απαλλαγή από την αθηναϊκή κηδεμονία και συμμαχούν με τους Σπαρτιάτες. Οι τελευταίοι επεμβαίνουν στη Βοιωτία και με συμμάχους τους Βοιωτούς συγκρούονται με τους Αθηναίους τους οποίους και νικούν (457 π.Χ.). Όταν οι Σπαρτιάτες αποχωρούν, οι Αθηναίοι εισβάλλουν πάλι στη Βοιωτία και νικούν τα βοιωτικά στρατεύματα. Η κυριαρχία των Αθηναίων στη Βοιωτία τερματίζεται μετά από λίγα χρόνια, ενώ η Βοιωτική Ομοσπονδία ανακτά την παλιά της αίγλη και η Θήβα ξανακερδίζει την ηγεμονία της σε αυτήν.

Στο β' μισό του 5^{ου} αι. π.Χ. κατά τον Πελοποννησιακό πόλεμο, τη μεγάλη αναμέτρηση Σπαρτιατών και Αθηναίων, οι Βοιωτοί, όπως ήταν φυσικό, συμμαχούν με τους Σπαρτιάτες, νικούν τους Αθηναίους και σταθεροποιούν τη θέση τους επικεφαλής της Βοιωτικής Ομοσπονδίας.

Μετά το τέλος του Πελοποννησιακού πολέμου (404 π.Χ.) οξύνονται οι σχέσεις με τους Λακεδαιμονίους, επειδή οι Βοιωτοί δεν έχουν οικονομικά και εδαφικά οφέλη, όπως ανέμεναν. Η όξυνση των σχέσεων με τη Σπάρτη φτάνει σε ανοιχτή ρήξη και έχει ως συνέπεια να συμμαχήσουν οι Βοιωτοί με τους Αθηναίους. Τελικά το 382 π.Χ. οι Σπαρτιάτες κυριεύουν τη Θήβα, τοποθετούν φρουρά στην ακρόπολη της Καδμείας, εγκαθιστούν ολιγαρχική κυβέρνηση και η Βοιωτία υποχρεώνεται να διαλύσει την Ομοσπονδία. Ακολουθούν ανεπιτυχείς εκστρατείες των Σπαρτιατών εναντίον της Βοιωτίας και τελικά η αποφασιστική σύγκρουση ανάμεσα στους Λακεδαιμονίους και τους Θηβαίους γίνεται στα Λεύκτρα (371 π.Χ.) και καταλήγει στη συντριβή των Λακεδαιμονίων. Σε ανάμνηση της νίκης τους οι Βοιωτοί έστησαν στο πεδίο της μάχης

μαρμάρινο τρόπαιο με εννέα ανάγλυφες ασπίδες, που τμήμα του διασώζεται έως σήμερα.

Μετά τη μάχη των Λεύκτρων η Θήβα γίνεται η πρώτη πόλη της Ελλάδας σε δύναμη. Το Βοιωτικό Κοινό αυξάνει την επιρροή του και για πρώτη φορά επεμβαίνει διπλωματικά και στρατιωτικά σε περιοχές έξω από τη Βοιωτία, όπως στην Πελοπόννησο, στη Θεσσαλία, στη Μακεδονία, στην Εύβοια και στην Ακαρνανία. Η συγκρότηση του «Ιερού Λόχου» από επίλεκτους νέους, που αγωνίζονται για τους υψηλούς σκοπούς της πατρίδας, προσφέρει μεγάλες υπηρεσίες στις προσπάθειες αυτές, ενώ πολιτικές και στρατιωτικές προσωπικότητες, όπως ο Πελοπίδας και ο Επαμεινώνδας, συμβάλλουν αποφασιστικά στην άνοδο της Βοιωτίας.

Στο β' μισό του 4^{ου} αι. π.Χ. εμφανίζεται νέα δύναμη στην Ελλάδα, η Μακεδονία. Ο Φίλιππος ο Β', στην προσπάθεια να επεκτείνει την επιρροή του στη νότια Ελλάδα, εισβάλλει στη Φωκίδα και τη Χαϊρώνεια (338 π.Χ.) και νικά τους Βοιωτούς οι οποίοι είχαν συμμαχήσει με τους Αθηναίους. Μετά τη νίκη του ο μακεδόνας βασιλιάς τιμωρεί τους Βοιωτούς και ιδιαίτερα τους Θηβαίους, εγκαθιστώντας ολιγαρχικά πολιτεύματα και φρουρά στην Καδμεία. Το Βοιωτικό Κοινό δεν διαλύεται, αλλά οι Θηβαίοι χάνουν την πρώτη θέση τους σε αυτό. Όταν, ύστερα από το θάνατο του Φιλίππου (336 π.Χ.), οι Θηβαίοι επιχειρούν να εκδιώξουν τη μακεδονική φρουρά της Καδμείας, επεμβαίνει ο Αλέξανδρος και με το μακεδονικό στρατό καταλαμβάνει την πόλη, την ισοπεδώνει και εξανδραποδίζει τους κατοίκους της (Χαραμή 2011/2012). Στα τέλη του 4^{ου} αι. π.Χ. η πόλη ξαναχτίζεται από το βασιλιά της Μακεδονίας Κάσσανδρο, ο οποίος επανιδρύει και το Κοινό των Βοιωτών, ενώ στις αρχές του 3^{ου} αι. π.Χ. καταλαμβάνεται από τον Δημήτριο τον Πολιορκητή.

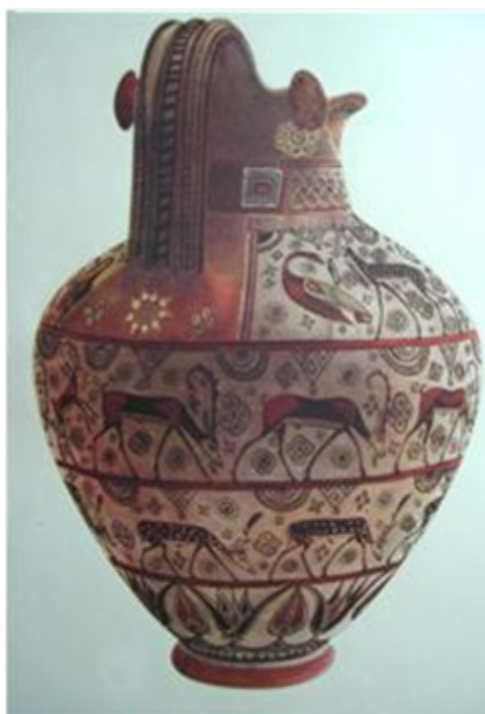
Στα χρόνια που ακολουθούν η Θήβα, όπως και ολόκληρη η Βοιωτία, γίνεται σύμμαχος άλλοτε της Αιτωλικής και της Αχαϊκής Συμπολιτείας και άλλοτε των Μακεδόνων. Τελικά στις αρχές του 2^{ου} αι. π.Χ. (197 π.Χ.) προσχωρεί στους Ρωμαίους. Στη διάρκεια της ρωμαιοκρατίας η Βοιωτία παρουσιάζει μεγάλη παρακμή και διαφθορά, όπως είναι γνωστό από μαρτυρίες αρχαίων συγγραφέων. Η άλλοτε πρώτη πόλη, η Θήβα, παίρνει την όψη χωριού. Όταν ο περιηγητής Πausanίας (*Βοιωτικά*, IX) την επισκέπτεται το 2^ο αι. μ.Χ., βρίσκει κατοικημένα μόνο την Καδμεία. Η σύληση των μνημείων της Βοιωτίας, που άρχισε από την πρώτη εμφάνιση των Ρωμαίων, συνεχίζεται σε όλη τη

διάρκεια της ρωμαιοκρατίας. Την κατάρρευση της Θήβας και γενικά της Βοιωτίας συμπληρώνουν οι επιδρομές των Γότθων τον 3^ο και 4^ο αι. μ.Χ. (Τσεβιάς 2006Χαραμής 2011/2012).

2.3 Αρχαιολογικά δεδομένα των υάλινων ψήφων και εφυαλωμάτων Ρόδου.

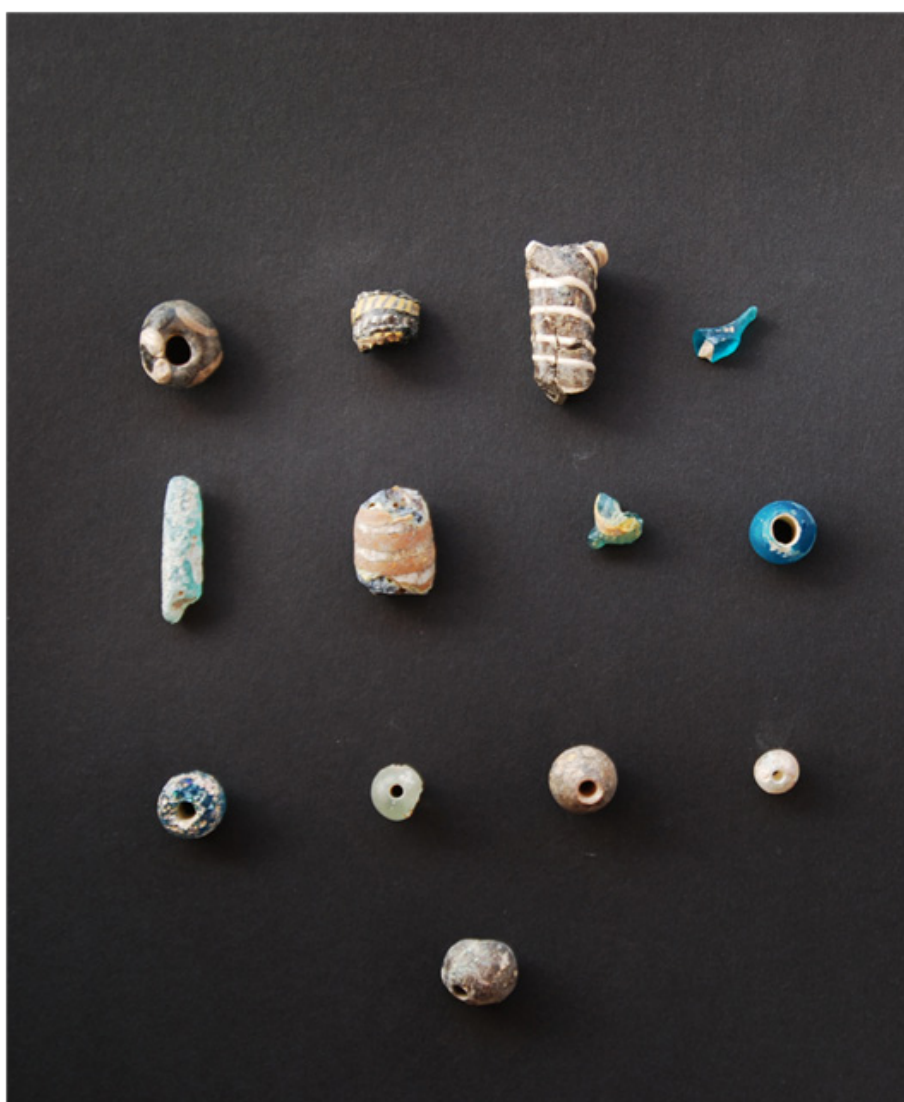
Οι υάλινες ψήφοι, που μελετώνται στην παρούσα εργασία, βρέθηκαν κατά τη διάρκεια ανασκαφών στην Κάμειρο και φυλάσσονται στο Αρχαιολογικό Μουσείο της Ρόδου (πρβλ. Παράρτημα Ι.1).

Οι ψήφοι, σύμφωνα με τις αρχαιολογικές πληροφορίες από τον Π. Τριανταφυλλίδη, χρονολογούνται στον 7^ο αι. π.Χ. Χαρακτηριστικό είναι πως στο ίδιο ανασκαφικό στρώμα με τις ψήφους της παρούσας εργασίας βρέθηκε η οinoχόη με αρ. 17896 (εικ. 15) η οποία χρονολογείται στα τέλη του 7^{ου} αι. π.Χ. Η οinoχόη είναι διακοσμημένη με ζώνες από ζώα που περιβάλλονται από ποικιλία διακοσμητικών σχεδίων. Πρόκειται για οinoχόες περιζήτητες στην εποχή τους με ιδιαίτερο ροδιακό χαρακτήρα αλλά και επιδράσεις τόσο από την ανατολική τέχνη όσο και από την κορινθιακή αγγειοπλαστική και αγγειογραφία (Τιβέριος 1996).



Εικόνα 15: Η οinoχόη με αρ. 17896 που χρονολογείται στα τέλη του 7^{ου} αι. π.Χ. (Αρχείο Π. Τριανταφυλλίδη).

Σχετικά με τις υάλινες ψήφους από τη Ρόδο ο Τριανταφυλλίδης, αναφέρει (Τριανταφυλλίδης 2000) ότι έχουν βρεθεί διαφανείς άχρωμες ή ελαφρώς χρωματισμένες κυλινδρικές ψήφοι καθώς και ημισφαιρικές ή πτηνόμορφες του 8^{ου} και 7^{ου} αι. π.Χ. (εικ. 16) στους γεωμετρικούς τάφους της Ιαλυσού και της Καμείρου, καθώς και στους αποθέτες των μεγάλων Ιερών, όπως της Αθηνάς Καμιράδος στην Κάμειρο και της Αθηνάς Πολιάδος στο Φιλήρημο της Ιαλυσού. Οι ψήφοι αυτές είναι όμοιες με ανάλογες από την ηπειρωτική Ελλάδα (Κεραμεικό, Ιερό Αρτέμιδος Ορθίας στη Σπάρτη, Ερέτρια και Λευκαντί), και την Κνωσό της Κρήτης, το Εμποριό της Χίου, το Ηραίο της Σάμου, τη Σκύρο, την Κύπρο αλλά και τη Δύση.



Εικόνα 16: Υάλινες ψήφοι από την Κάμειρο του τέλους του 7^{ου} αι. π.Χ. (Αρχείο Π. Τριανταφυλλίδη).

Σχετικά με την παραγωγή και εμπορία υάλου στη Ρόδο κατά την αρχαιότητα τα ανασκαφικά ευρήματα των τελευταίων δεκαετιών, που οφείλονται στις εργασίες του άλλοτε Αρχαιολογικού Ινστιτούτου Δωδεκανήσου, καθώς και στις παλαιότερες αλλά και νεότερες σωστικές ανασκαφές της ΚΒ' ΕΠΚΑ, συμπληρώνουν τις ελλιπείς αρχαίες γραπτές πηγές και τα ελλιπή αρχαιολογικά δεδομένα και αναδεικνύουν τη Ρόδο σε διαχρονικό κέντρο υάλου. Όπως επισημαίνει ο Τριανταφυλλίδης (Τριανταφυλλίδης 2000' Τριανταφυλλίδης 2002α), ήδη από τον 6^ο αι. π.Χ. η Ρόδος αναδείχθηκε σε ένα από τα πρωιμότερα αλλά και μακροβιότερα κέντρα υαλουργικής παραγωγής του Αιγαίου με έντονη εμπορική δραστηριότητα στον ευρύτερο χώρο της Μεσογείου και του Εύξεινου Πόντου. Από την Ιαλυσό και την Κάμειρο προέρχονται και υάλινα αντικείμενα καλλωπισμού των αρχαϊκών και κλασικών χρόνων, που έχουν κατασκευαστεί με την εμπίεστη τεχνική, καθώς και σκεύη πολυτελείας κατασκευασμένα με την τεχνική του «πυρήνα» (εικ. 17).



Εικόνα 17: Υάλινα αγγεία τεχνικής του “πυρήνα” (αμφορίσκοι και οينوχόες) από τον τάφο 68 της Δάφνης Ιαλυσού Ρόδου, 525-500 π.Χ. (Αρχείο Π.

Από την αρχαία πόλη της Ρόδου προέρχονται πολλαπλές ενδείξεις για την ύπαρξη ροδιακών εργαστηρίων υάλου, κυρίως από τις αποθέσεις του ελληνιστικού υαλουργείου

ψήφων, μικροαντικειμένων και αγγείων. Τα ευρήματα αυτά αποτελούν σημείο αναφοράς για την έρευνα της αρχαίας υάλου, κυρίως της αρχαίας τεχνολογίας και της κατανόησης των τεχνικών μεθόδων κατασκευής και κατεργασίας της, οι οποίες παρέμεναν έως σήμερα άγνωστες.

Το εργαστήριο όμως κατασκευής των διαφανών υάλινων αντικειμένων της Αρχαϊκής περιόδου παραμένει άγνωστο και ευρήματα που βρέθηκαν στους ιερούς αποθέτες της Ρόδου δεν δίνουν σαφή απάντηση στο πρόβλημα της εργαστηριακής προέλευσης. Τα υάλινα αγγεία, που σποραδικά έχουν βρεθεί στη Ρόδο αλλά και στον υπόλοιπο ελλαδικό χώρο, καθώς και οι υάλινες ψήφοι είναι προϊόντα ενός νεοεγκαθιδρυμένου εργαστηρίου στον αιγαιακό γεωγραφικό χώρο με επιρροές από την Ανατολή ή προϊόντα εισηγμένα μέσω του εμπορίου των Φοινίκων ή των Ελλήνων από υαλουργεία της βόρειας Συρίας και της δυτικής Ασίας. Το ερώτημα κατά τον Τριανταφυλλίδη παραμένει ανοιχτό (Τριανταφυλλίδης 2002α).

Ας σημειωθεί πως με την Ανατολή και κυρίως με τις μεσοποταμιακές παραγωγές τεχνικής του «πυρήνα», που ήταν ελάχιστα γνωστές κατά τον 8^ο και 7^ο αι. π.Χ. στον ελλαδικό χώρο, έχει συνδεθεί μία ομάδα πολύχρωμων υάλινων αλάβαστρων από την Κάμειρο καθώς και μία πρόχους του 7^{ου} αι. π.Χ., που σήμερα βρίσκονται αντίστοιχα στο Βρετανικό Μουσείο και στο Μουσείο του Λούβρου. Αντίστοιχα παράλληλα είναι γνωστά από την Κρήτη, την Ετρουρία, την Κύπρο και τη Μεσοποταμία.

Σε προϊόντα του ίδιου εργαστηρίου πιθανώς ανήκουν και οι σύγχρονες αδιαφανείς ψήφοι ή περίαπτα τεχνικής του «πυρήνα», κατασκευασμένα σε ράβδο, όπως οι σκοτεινόχρωμες ψήφοι τριγωνικού σχήματος με μαστοειδείς κιτρινωπούς οφθαλμούς από την Ιαλυσό, χρονολογημένες με ασφάλεια στον ύστερο 7^ο αι. π.Χ., καθώς και από τον αποθέτη της Λίνδου.

Κατά τους περισσότερους ερευνητές (Barag 1985· Harden 1981) τα προϊόντα αυτά ανήκουν σε μία κοινή ομάδα που εντάσσεται στη σφαίρα του λεγόμενου ροδιακού-μεσοποταμιακού εργαστηρίου το οποίο ιδρύθηκε στη Ρόδο από μεσοποτάμιους μετανάστες υαλουργούς και αποτέλεσε την εργαστηριακή πηγή προέλευσης της μεταγενέστερης βιοτεχνίας των μεσογειακών ομάδων τεχνικής του «πυρήνα», καθώς και των μεσογειακών ψήφων και κεφαλόμορφων και εικονιστικών περιάπτων του 6^{ου} έως και το 2^ο αι. π.Χ., που αποδόθηκαν σε φοινικικά, καρχηδονικά ή ροδιακά εργαστήρια.

Η ελκυστική υπόθεση για την παρουσία κατά τον 7^ο αι. π.Χ. ροδιακού-μεσοποταμιακού εργαστηρίου στη Ρόδο, η υαλουργική δραστηριότητα του οποίου αποτέλεσε και την πηγή προέλευσης των μεταγενέστερων μεσογειακών ομάδων, προς το παρόν δεν φαίνεται κατά τον Τριανταφυλλίδη να επιβεβαιώνεται ή να αναιρείται από τα έως σήμερα ανασκαφικά δεδομένα (Τριανταφυλλίδης 2002α). Αν και η Ρόδος φαίνεται ότι αποτέλεσε διαμετακομιστικό σταθμό στη μετακίνηση των νέων προϊόντων από την Ανατολή και συνέβαλε, λόγω της γεωγραφικής της θέσης, στην ανάπτυξη της υαλουργίας στη Δύση κατά τον 7^ο αι. π.Χ., τουλάχιστον για το πρώτο μισό του 6^{ου} αι. π.Χ. παραμένει ένα αξιοσημείωτο χρονολογικό κενό για τη διακίνηση και κατασκευή υαλουργικών προϊόντων με την τεχνική του «πυρήνα».

Από το τέλος όμως του 6^{ου} αι. π.Χ. έως και τον 1^ο αι. μ.Χ. ο πλούτος των υάλινων σκευών, η εξέταση της γεωγραφικής κατανομής τους και η μελέτη των κατασκευαστικών λεπτομερειών πολλών αγγείων οδήγησε τους ερευνητές να ταυτίσουν τη Ρόδο με ένα από τα σημαντικότερα υαλουργικά κέντρα των χρόνων αυτών στην ανατολική Μεσόγειο (Harden 1981· Grose 1989· Τριανταφυλλίδης 2000).

2.4 Αρχαιολογικά δεδομένα των υάλινων ψήφων Θήβας

Σε ολόκληρη τη Βοιωτία έχουν έρθει στο φως κατά τις ανασκαφές λείψανα μνημείων των ιστορικών χρόνων, αρκετά από τα οποία αναφέρονται από τον περιηγητή Παυσανία (*Βοιωτικά*, IX) ο οποίος περιγράφει αξιόλογα ναϊκά και δημόσια κτήρια στη Θήβα και την Τανάγρα. Όμως πολύ λίγα ερείπια διατηρούνται από τα μνημεία αυτά έως σήμερα. Πιο γνωστή είναι η ισχυρή οχύρωση με πολλές οικοδομικές φάσεις, που υπήρχε κατά τα ιστορικά χρόνια στην κάτω πόλη των Θηβών, καθώς και στην ακρόπολη, την Καδμεία. Οι γνωστές «*Επτά Πύλες*», που αναφέρει η παράδοση, φαίνεται ότι ανήκαν στο τείχος της Καδμείας και όχι της κάτω πόλης. Διατηρούνται σε αρκετά καλή κατάσταση τα θεμέλια των δύο κυκλικών πύργων της μίας από αυτές τις πύλες, της γνωστής ως «*Ηλέκτραι Πύλαι*» (για την τοπογραφία της αρχαίας Θήβας βλ. Ziehen 1974· Φαράκλας 1996).

Εκτός από τα λείψανα του ναού του Απόλλωνα στο Ισμήνιο, στη Θήβα βρέθηκαν, μεταξύ των άλλων, τμήμα κλασικού κτηρίου, που ίσως ταυτίζεται με το Ιερό της Δήμητρας Θεσμοφόρου, θεμέλια πολλών οικιών, βιοτεχνικών εγκαταστάσεων και δημόσιων κτισμάτων, τμήμα μεγάλου ελληνιστικού ναϊκού κτηρίου, νεκροταφεία της Κλασικής και Ελληνιστικής εποχής, λείψανα από το ρωμαϊκό θέατρο του Σύλλα κ.ά. (Δημακοπούλου και Κόνσολα 1981. Για την ιστορία της έρευνας των θηβαϊκών νεκροταφείων και για τοπογραφικά στοιχεία της Θήβας βλ. Χαραμή 2011/2012, όπου και παλαιότερη βιβλιογραφία).

Τα ευρήματα των θηβαϊκών νεκροταφείων αποτελούν αδιάψευστους μάρτυρες των περιόδων της ιστορίας στις οποίες ανήκουν. Ας σημειωθεί ότι για την Υπομυκηναϊκή, Πρωτογεωμετρική και Ύστερη Γεωμετρική περίοδο αποτελούν τους μοναδικούς μάρτυρες. Από τη μελέτη τους αντλούνται στοιχεία για την έκταση της πόλης, το μέγεθος του πληθυσμού, την κοινωνική και οικονομική του κατάσταση, τις επιδράσεις που δέχονται κατά καιρούς τα τοπικά εργαστήρια, τις σχέσεις, εμπορικές και πολιτιστικές, με άλλες περιοχές και τα ταφικά έθιμα.

Οι υάλινες ψήφοι, που μελετώνται στην παρούσα εργασία, σύμφωνα με τις ανασκαφικές ενδείξεις (βλ. Παράρτημα Ι.2), χρονολογούνται από την Αρχαϊκή έως την Ελληνιστική εποχή και βρέθηκαν μέσα σε αρχαία ταφικά σύνολα, τα οποία

αποκαλύφθηκαν κατά τη διάρκεια κατασκευής ανισόπεδης διάβασης κάτω από τις σιδηροδρομικές γραμμές (ανασκαφή ΟΣΕ) στον οδικό άξονα Θήβας-Μουρικίου (εικ. 18).



Εικόνα 18: Άποψη της ανασκαφής του νεκροταφείου των Αρχαϊκών, Κλασικών και Ελληνιστικών χρόνων στα περίχωρα της Θήβας (Αρχείο Ν. Ζαχαριά).

Πρόκειται για 843 ανασκαφέντες τάφους εκ των οποίων είναι: 23 πρώιμοι πρωτοελλαδικοί, 3 υστερογεωμετρικοί, 34 αρχαϊκοί, 504 κλασικοί, 270 ελληνιστικοί και 9 πρώιμοι ρωμαϊκοί. Το νεκροταφείο διέσχιζε ευρύτατη λεωφόρος, πλάτους 8 μ. περίπου, τμήμα της οποίας αποκαλύφθηκε κατά την ανασκαφή. Οι τάφοι εφάπτονταν στα κράσπεδα της οδού και εκτείνονταν εκατέρωθεν σε πλάτος μεγαλύτερο των 300 μ. και σε άγνωστο μήκος. Τα κτερίσματα των τάφων (περίπου 7.000 αγγεία, 2.000 ειδώλια και χιλιάδες μικροαντικείμενα) ήταν ποικίλα και ενίοτε πλούσια.

Πρόκειται για τη μεγαλύτερη ανασκαφική έρευνα που έχει διενεργηθεί μέχρι σήμερα στην περιοχή του κυρίως νεκροταφείου της αρχαίας Θήβας, που ήταν το Βορειοανατολικό, κατά μήκος των αρχαίων οδών προς Ανθηδώνα και Χαλκίδα και κατά μήκος της σύγχρονης οδού προς Χαλκίδα (γενικά για τις ανασκαφές βλ. ΑΔ 54 [1999] Χρονικά· ΑΔ 55 [2000] Χρονικά· Αραβαντινός 2003· Aravantinos 2007· πρβλ. Χαραμή 2011/2012, όπου και παλαιότερη βιβλιογραφία).

Στο νότιο τομέα της ανασκαφής αποκαλύφθηκαν 291 τάφοι (N 279-570) οι οποίοι ανήκουν σε όλα τα είδη τάφων που επιχωριάζουν στα βοιωτικά νεκροταφεία των ιστορικών χρόνων. Από την Κλασική περίοδο και έπειτα διαπιστώθηκε μία σαφής προτίμηση στους λακκοειδείς και στους κεραμοσκεπείς τάφους. Οι τάφοι ανοίχθηκαν σε διάφορα βάθη τα οποία όμως δεν αντιστοιχούν σε διαφορετικές χρονολογικές φάσεις. Συχνά οι νεότεροι τάφοι βρίσκονται σε μεγαλύτερο βάθος σε σχέση με τους αρχαιότερους, επειδή οι τελευταίοι είχαν παραβιαστεί. Οι τάφοι της Αρχαϊκής περιόδου εντοπίζονται κυρίως εκατέρωθεν του αρχαίου δρόμου που ήταν ήδη σε χρήση, ενώ αυτοί της Κλασικής και της Ελληνιστικής περιόδου αποκαλύφθηκαν σε όλη την ερευνηθείσα έκταση η οποία φαίνεται να χρησιμοποιήθηκε ως νεκρόπολη χωρίς διακοπή έως και τον 1^ο αι. π.Χ.

Ανάμεσα στα ποικίλα ευρήματα-κτηρίσματα συμπεριλαμβάνεται πλήθος ψήφων από υαλόμαζα κυανού και κίτρινου χρώματος (εικ. 19), από τα οποία επελέγησαν ενδεικτικά 29 υάλινες ψήφοι (βλ. Παράρτημα Ι.2).



Εικόνα 19: Ενδεικτικές υάλινες ψήφοι, κτερίσματα τάφων από το Βορειοανατολικό νεκροταφείο της Θήβας (Αρχείο Ν. Ζαχαριά).

Από τις ολόκληρες ψήφους δύο δείγματα παρουσιάζουν οφθαλμωτή διακόσμηση (δείγματα T.31 και T.32), η οποία αποτελείται από 3 απλούς οφθαλμούς και υποδεικνύει τη χρονολόγηση των ψήφων στο 700-500 π.Χ. (Ιγνατιάδου 2002). Με βάση τα ανασκαφικά δεδομένα τα 29 υάλινα αντικείμενα χρονολογούνται ως εξής: αρχαϊκά $n=2$, ύστερα αρχαϊκά $n=2$, ύστερα αρχαϊκά-κλασικά $n=1$, κλασικά $n=5$, κλασικά-ελληνιστικά $n=2$ (βλ. Παράρτημα I.2). Επίσης ανάλογα με το χρώμα διακρίνονται σε μπλε-πράσινα $n=5$, σκούρο μπλε $n=7$, καφέ $n=7$, μαύρα $n=5$, λευκά $n=2$, πράσινα $n=2$, άχρωμα $n=1$.

3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

3.1 Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης (SEM-EDX)

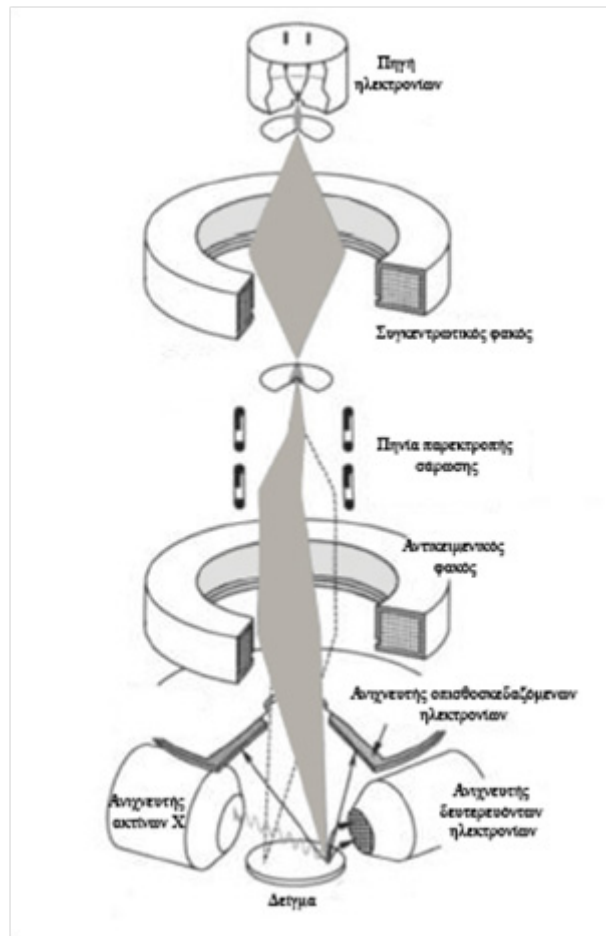
Η ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης είναι μία από τις πλέον χρησιμοποιούμενες τεχνικές ανάλυσης αρχαιολογικών υλικών. Συχνά έχει αποτελέσει βασικό εργαλείο για την εξέταση αρχαίων υάλινων, μεταλλικών και κεραμικών αντικειμένων (Maniatis et al 1993· Mirti et al 1996).

Το κύριο πλεονέκτημα του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σχετικά με την ανάλυση υλικών πολιτιστικής κληρονομιάς είναι η ταυτόχρονη μικροσκοπική απεικόνιση και χημική ανάλυση του εκάστοτε υλικού (Adriaens and Dowsett 2004).

Κύρια μέρη ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (Goldstein et al 1992)

Η κολώνα των ηλεκτρονίων αποτελείται από ένα όπλο ηλεκτρονίων και δύο ή περισσότερους «φακούς» ηλεκτρονίων, τμήματα τα οποία όλα λειτουργούν σε κενό. Από την πηγή ηλεκτρονίων (electron gun) παράγεται μία δέσμη ηλεκτρονίων, τα οποία επιταχύνονται. Οι «φακοί» ηλεκτρονίων χρησιμοποιούνται για να μειώσουν τη διάμετρο της δέσμης η οποία παράγεται άμεσα από την πηγή και για να την κατευθύνουν πάνω στο δείγμα (εικ. 20). Τα περισσότερα ηλεκτρονικά μικροσκόπια μπορούν να παράγουν μία δέσμη ηλεκτρονίων στην επιφάνεια του δείγματος με διάμετρο μικρότερη των 10 nm.

Η αλληλεπίδραση των προσπιπτόντων ηλεκτρονίων με το δείγμα (εικ. 21) προκαλεί τη γένεση σημάτων, τα οποία χρησιμοποιούνται για το σχηματισμό εικόνας καθώς επίσης και για την ποιοτική και ποσοτική ανάλυση του δείγματος. Η προσπίπτουσα δέσμη υφίσταται ελαστικές και ανελαστικές σκεδάσεις, με αποτέλεσμα την παραγωγή χαρακτηριστικών ακτίνων Χ, δευτερογενών (secondary) και οπισθοσκεδαζόμενων (backscattered) ηλεκτρονίων που συλλέγονται από ανιχνευτή και αξιοποιούνται για την ανάλυση του δείγματος (Goodhew and Humphreys 1988).

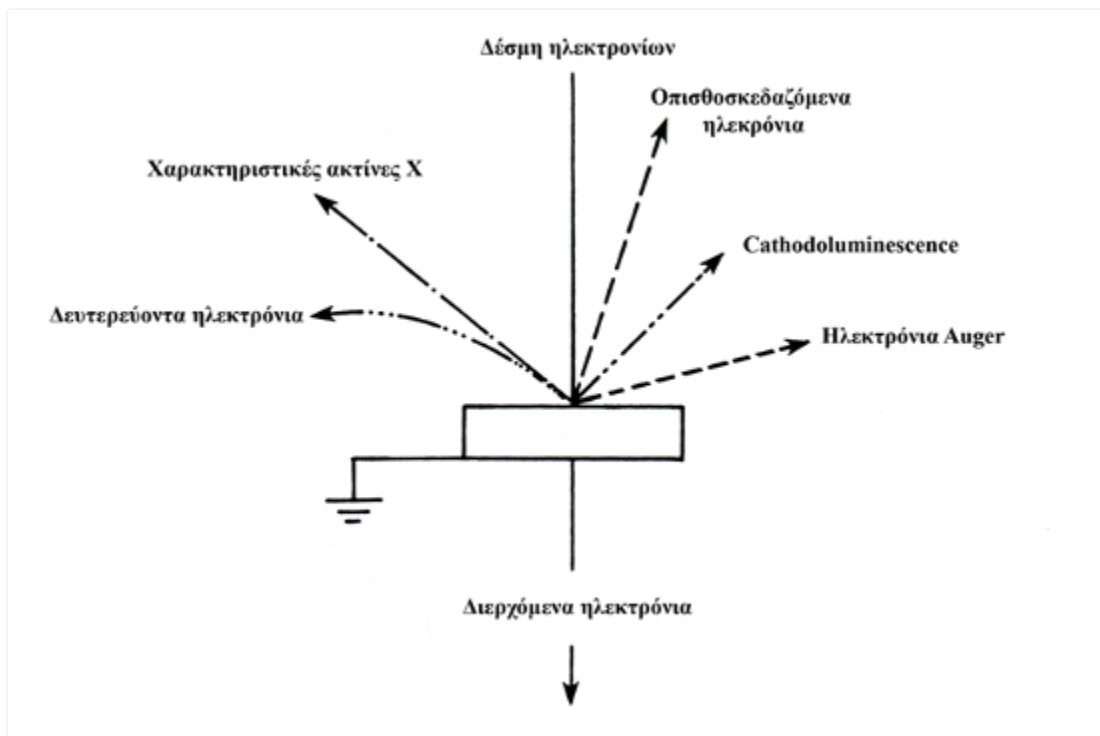


Εικόνα 20: Σχηματική αναπαράσταση του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης.

Τα δευτερεύοντα ηλεκτρόνια και τα οπισθοσκεδαζόμενα ηλεκτρόνια συλλέγονται από τον ανιχνευτή ηλεκτρονίων Everhart-Thornley (E-T). Ο E-T ανιχνευτής αποτελείται από ένα σπινθηριστή, ένα σωλήνα και μία φωτοπολλαπλασιαστική λυχνία (photomultiplier tube).

Αλληλεπιδράσεις μεταξύ ηλεκτρονίων και δείγματος

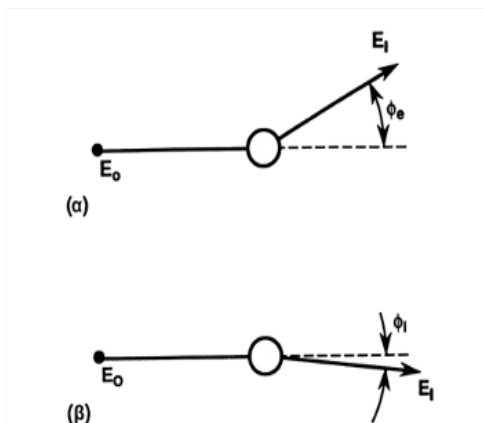
Οι διάφορες αλληλεπιδράσεις μεταξύ του δείγματος και των προσπιπτόντων ηλεκτρονίων μπορούν να μας δώσουν πολλές πληροφορίες που αφορούν το δείγμα. Αυτές μπορεί να είναι: σύσταση, τοπογραφία, κρυσταλλογραφία, ηλεκτρικό δυναμικό, τοπικό μαγνητικό πεδίο και άλλες ιδιότητες. Οι αλληλεπιδράσεις χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: στην ελαστική και στην ανελαστική σκέδαση.



Εικόνα 21: Σχηματική αναπαράσταση των 7 πιθανών σημάτων τα οποία παράγονται από την αλληλεπίδραση της αρχικής δέσμης ηλεκτρονίων και του δείγματος στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης.

Η ελαστική σκέδαση (εικ. 22) επηρεάζει την τροχιά της δέσμης των ηλεκτρονίων χωρίς να αλλάζει την κινητική τους ενέργεια. Στην ελαστική σκέδαση οφείλεται και το φαινόμενο των οπισθοσκεδαζόμενων ηλεκτρονίων τα οποία προσφέρουν ένα πολύ σημαντικό σήμα απεικόνισης στο SEM.

Στην ανελαστική σκέδαση (εικ. 22) τα ηλεκτρόνια της δέσμης προσφέρουν ενέργεια στα άτομα του δείγματος. Αυτό οδηγεί στη δημιουργία δευτερευόντων ηλεκτρονίων, ηλεκτρονίων Auger και χαρακτηριστικών ακτίνων X.



Εικόνα 22: α) Ελαστική σκέδαση ηλεκτρονίου από το άτομο $E_0 = E_1$ β) Ανελαστική σκέδαση $E_1 < E_0$. Η γωνία της ελαστικής σκέδασης είναι $\phi_e \ll \phi_i$.

Σήματα από την ελαστική σκέδαση

Τα διάφορα σήματα που χρησιμοποιούνται για να σχηματιστεί η εικόνα και να γίνει η ανάλυση δημιουργούνται από διάφορα γεγονότα που γίνονται μέσα στον «όγκο αλληλεπίδρασης». Η γνώση των χαρακτηριστικών αυτών σημάτων είναι ζωτική για την ανάλυση της εικόνας. Τα σήματα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με το αν επηρεάζονται από την ελαστική ή την ανελαστική σκέδαση. Το σήμα από τα οπισθοσκεδαζόμενα ηλεκτρόνια παράγεται λόγω της ελαστικής σκέδασης, αλλά τα χαρακτηριστικά τους επηρεάζονται πολύ και από την ανελαστική.

Σήματα από την ανελαστική σκέδαση

Η ενέργεια που αποθηκεύεται στο δείγμα από τα ηλεκτρόνια της δέσμης διασκορπίζεται ανάμεσα σε έναν αριθμό δευτερευουσών διαδικασιών. Πολλές από αυτές έχουν σαν αποτέλεσμα σήματα, τα οποία είναι σημαντικά για τη μικροσκοπία και την μικροανάλυση. Αυτά τα σήματα περιλαμβάνουν τη δημιουργία δευτερευόντων ηλεκτρονίων, ηλεκτρονίων Auger, bremsstrahlung ακτίνες X, χαρακτηριστικές ακτίνες X, εκπομπή υπεριώδους, ορατής και υπέρυθρης ακτινοβολίας, δονήσεις δικτύου (θερμότητα). Από όλα αυτά τα σήματα θα ασχοληθούμε πιο αναλυτικά με τις ακτίνες X.

3.2 Φασματοσκοπία Φθορισμού Ακτίνων Χ (XRF)

Οι ακτίνες Χ ανακαλύφθηκαν από τον Röntgen το 1895 (Röntgen 1898) και στην αρχή θεωρούνταν σαν μία μυστηριώδης ακτινοβολία με ιδιότητες πολύ διαφορετικές από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στην υπεριώδη, ορατή και υπέρυθρη περιοχή του φάσματος. Παρόλο που η χρήση ακτίνων Χ σε οργανικά δείγματα (π.χ. βιολογικούς ιστούς) μπορεί να προκαλέσει φθορά, η ακτινοβολήση ανόργανων δειγμάτων είναι γενικά αποδεκτό ότι δεν επηρεάζει το υλικό. Επομένως οι ακτίνες Χ χρησιμοποιούνται ευρέως για στοιχειακή και δομική ανάλυση πολλών τύπων υλικών (Janssens 2004).

Η φασματοσκοπία φθορισμού ακτίνων-Χ (XRF) είναι μία από τις πιο γνωστές και διαδεδομένες αναλυτικές μεθόδους ακτίνων Χ. Χρησιμοποιείται για την ποιοτική και ποσοτική στοιχειακή ανάλυση περιβαλλοντικών, γεωλογικών, βιολογικών, βιομηχανικών και άλλων δειγμάτων. Είναι ένα εργαλείο το οποίο χρησιμοποιείται σήμερα σε ένα ευρύ φάσμα διεπιστημονικών εφαρμογών. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της τεχνικής XRF είναι ο ταυτόχρονος και γρήγορος προσδιορισμός στοιχείων από όλον σχεδόν τον περιοδικό πίνακα ($Z=14-92$), αλλά και η μεγάλη ευαισθησία στην ανάλυση με ανιχνευτικά όρια που κυμαίνονται συνήθως στην περιοχή των $\mu\text{g/g}$ (ppm). Επιπλέον, η XRF δεν απαιτεί πολύπλοκη προετοιμασία δειγμάτων. Ως χαρακτηριστικές εφαρμογές της μεθόδου μπορούν να αναφερθούν ο προσδιορισμός της σύστασης μεταλλικών κραμάτων αλλά και λεπτών υμενίων με τεχνολογικές εφαρμογές, ιχνοστοιχείων σε περιβαλλοντικά δείγματα (έδαφος, αερολύματα που έχουν εναποτεθεί σε φίλτρα) (Sianoudis et al 2006).

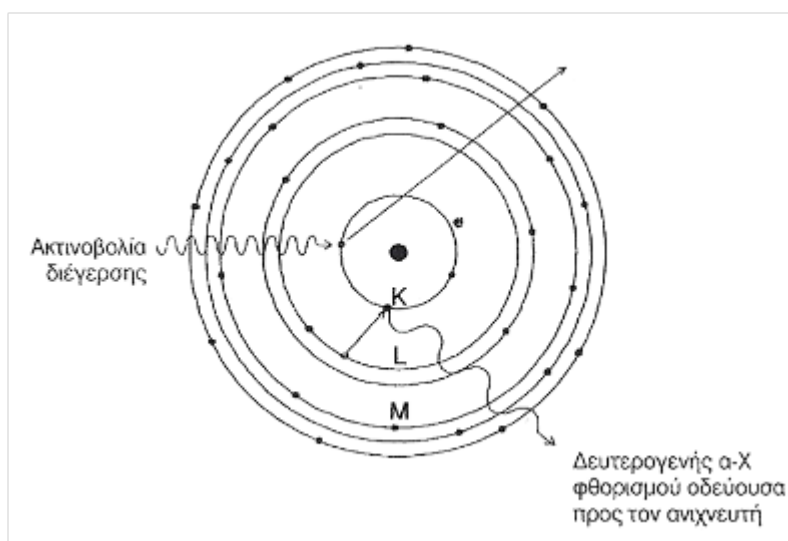
Λόγω της μη καταστρεπτικής ανάλυσης των δειγμάτων κατά τις τελευταίες δεκαετίες η φασματοσκοπία φθορισμού ακτίνων Χ παρουσιάζει ευρεία χρήση (εφαρμογή) στην ανάλυση τέχνηργων της πολιτιστικής κληρονομιάς. Αυτό είναι και το κύριο πλεονέκτημα της μεθόδου έναντι ανταγωνιστικών τεχνικών, όπως η φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης (AAS) και η φασματοσκοπία επαγωγικός συζευγμένου πλάσματος (ICPS). Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί φορητές οργανολογίες που επιτρέπουν την ανάλυση κάθε επιφάνειας, ανεξαρτήτως μορφής και μεγέθους του αντικειμένου με στόχο την *in situ* ανάλυση. Είναι δυνατό να αναλυθούν ακόμη και δείγματα μεγάλου όγκου (μνημεία, αγάλματα) που συναντώνται σε μουσεία ή

στην ύπαιθρο. Βασική αδυναμία της μεθόδου, ωστόσο, είναι ότι δεν προσφέρεται για ανάλυση στοιχείων ελαφρύτερων από το φθόριο (Λυριτζής 2005).

Βασική αρχή

Η φασματοσκοπία ακτίνων X φθορισμού βασίζεται στο φαινόμενο της μετακίνησης ηλεκτρονίων από τις εσωτερικές στοιβάδες εκτός των ατόμων, μετά την ακτινοβολήσή τους με πρωτογενείς ακτίνες X. Η ακτινοβολήση ενός ατόμου με πρωτογενείς ακτίνες X προσφέρει ενέργεια στα ηλεκτρόνια των εσωτερικών στοιβάδων με άμεση συνέπεια τον ιονισμό τους. Η κατάσταση αυτή του ατόμου είναι ασταθής και για να επανέλθει σε μία ενεργειακή ισορροπία απαιτείται η μετακίνηση ηλεκτρονίων από τις εξωτερικές στοιβάδες στις εσωτερικές. Η μετακίνηση αυτή συνοδεύεται από την εκπομπή φωτονίων χαρακτηριστικής ενέργειας. Η ανάλυση των ενεργειών αυτών των φωτονίων επιτρέπει την ταυτοποίηση των χημικών στοιχείων.

Πιο συγκεκριμένα το φαινόμενο αυτό παρουσιάζεται στην εικόνα 23. Οι πρωτογενείς ακτίνες X ιονίζουν τα ηλεκτρόνια της εσωτερικής στοιβάδας K με αποτέλεσμα να μένει στη θέση τους μία οπή και το άτομο να βρίσκεται σε μία ασταθή ενεργειακή κατάσταση. Για να επέλθει ισορροπία στο άτομο, ηλεκτρόνια από την L στοιβάδα μετακινούνται στην K και αυτή η μετακίνηση συνοδεύεται από εκπομπή φωτονίου χαρακτηριστικού του ατόμου.



Εικόνα 23: Αρχή φθορισμού ακτίνων X.

Η ενέργεια αυτή του φωτονίου ισούται με την ενέργεια μετάβασης από την L στην K στοιβάδα και είναι χαρακτηριστική για κάθε άτομο (ποιοτική ανάλυση), ενώ η ένταση της ενέργειας δίνει τη δυνατότητα της ποσοτικής ανάλυσης του δείγματος.

Απαραίτητη προϋπόθεση για την απομάκρυνση ενός ηλεκτρονίου από την ατομική του τροχιά, όταν στο άτομο προσπίπτει ακτινοβολία κατάλληλης ενέργειας, είναι η ενέργεια της προσπίπτουσας ακτινοβολίας να είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια δεσμού του ηλεκτρονίου με τον πυρήνα. Η ένταση της προσπίπτουσας δέσμης, αφού διανύσει μία απόσταση x , μέσα στο υλικό δίνεται από το νόμο Lambert-Beer:

$$I(\lambda) = I_0 \exp(-\mu x)$$

I_0 : Ένταση της προσπίπτουσας δέσμης

ρ : Η πυκνότητα του υλικού-στόχου

μ : Μαζικός συντελεστής απορρόφησης του υλικού

(απορρόφηση ανά μονάδα μάζας, συνάρτηση του ατομικού αριθμού και του μήκους κύματος)

Όταν απομακρύνονται τα ηλεκτρόνια από τις εσωτερικές στοιβάδες των ατόμων του δείγματος, αυτά γίνονται ασταθή ιόντα. Το φαινόμενο ονομάζεται φωτοηλεκτρική απορρόφηση (Pollard and Heron 1996· Λυριτζής 2005).

Η ηλεκτρονιακή στοιβάδα πιο κοντινή στον πυρήνα είναι η K που αντιστοιχεί σε κβαντικό αριθμό, $n=1$ και ακολουθούν η L για $n=2$ και η M για $n=3$. Ηλεκτρόνια από τις τροχιές αυτές, διεγερόμενα από την ακτινοβολία, μεταβαίνουν σε μία περιοχή που χαρακτηρίζει το συνεχές φάσμα, όπου δεν είναι πλέον δέσμια του ατόμου. Από τον ιονισμό των ηλεκτρονίων των εσωτερικών στοιβάδων δημιουργούνται ηλεκτρονιακές οπές, οι οποίες πληρούνται αμέσως με ηλεκτρόνια από τις εξωτερικές στοιβάδες (αυτές με μεγαλύτερο n). Αυτή η μεταπήδηση συνεπάγεται απελευθέρωση ενέργειας (ίση με τη διαφορά ενεργειών μεταξύ των δύο στοιβάδων) με τη μορφή δευτερογενών ακτίνων X (φθορίζουσα ακτινοβολία) και μήκη κύματος λ , από $2 \cdot 10^{-5}$ έως $2 \cdot 10^{-4}$ μm .

Κάθε χημικό στοιχείο εκπέμπει δευτερογενείς ακτίνες X σε αρκετά χαρακτηριστικά μήκη κύματος, σε συνάρτηση του ατομικού του αριθμού Z, όπως προβλέπεται από το νόμο του Moseley (Moseley 1913/14). Το φαινόμενο ονομάζεται φθορισμός.

$$1/\lambda = C (Z - \sigma)^2$$

$C \approx R$ (σταθερά Rydberg)

$\sigma \approx 1$

Όλες οι μεταπτώσεις που καταλήγουν στην K στοιβάδα έχουν χαρακτηριστικές ενέργειες, γνωστές ως K μεταπτώσεις. Η μετάπτωση από την L στοιβάδα εκπέμπει τη χαρακτηριστική K_α γραμμή και αυτές από τη M τις χαρακτηριστικές K_β γραμμές. Ανάλογες μεταπτώσεις που καταλήγουν στην L και στην M στοιβάδα χαρακτηρίζονται ως L και M γραμμές αντίστοιχα. Η ενέργεια αυτών των μεταπτώσεων ακολουθεί τη σειρά $K > L > M$ και $\alpha < \beta < \gamma$.

Ανάλυση φασμάτων

Κατά τη διαδικασία ανάλυσης των φασμάτων φθορισμού εκτός από τις χαρακτηριστικές κορυφές του προς ανάλυση δείγματος παρατηρούνται κορυφές οι οποίες οφείλονται σε συγκεκριμένα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια της ακτινοβολήσης (Pollard and Heron 1996).

Πιο συγκεκριμένα: Παρατηρούνται επιπλέον κορυφές, οι λεγόμενες γραμμές σκέδασης Rayleigh (ελαστική σκέδαση). Αυτές εμφανίζονται ως κορυφές της πηγής στο φάσμα, ενώ προέρχονται είτε από την πηγή, είτε από το στόχο και δεν προκαλούν φθορισμό.

Επίσης παρατηρούνται γραμμές σκέδασης Compton (ανελαστική σκέδαση) και εμφανίζονται πριν τις κορυφές της πηγής στο φάσμα, ενώ προέρχονται είτε από την πηγή, είτε από το στόχο, είναι ενεργειακά ασθενέστερες από τις ακτίνες X και δεν προκαλούν φθορισμό.

Γραμμές διαφυγής (Escape peaks). Μερικός φθορισμός του πυριτίου του ανιχνευτή στην επιφάνειά του διαφεύγει και δεν συλλέγεται από τον ανιχνευτή, με συνέπεια την εμφάνιση μίας μικρής κορυφής στο φάσμα, με ενέργεια $E_{\text{στόχου}} - E_{\text{Si}}$ (keV).

Γραμμές αθροίσματος (Sum peaks). Όταν δύο φωτόνια προσκρούσουν στον ανιχνευτή ταυτόχρονα, αναγνωρίζονται ως ένα φωτόνιο διπλάσιας ενέργειας και εμφανίζονται ως μία κορυφή με την ίδια ενέργεια.

Τέλος παρατηρούνται οι λεγόμενες γραμμές εμπέδησης ή αλλιώς το συνεχές φάσμα εκπομπής ακτίνων Χ (Bremsstrahlung). Όταν ενεργητικά ηλεκτρόνια προσκρούουν σε μεταλλικό στόχο, το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειάς τους μετατρέπεται σε θερμότητα, λόγω των συγκρούσεών τους με τα ηλεκτρόνια σθένους του στόχου. Όταν τα (προσπίπτοντα) ηλεκτρόνια επιταχύνονται αρχικά από υψηλό δυναμικό, μέρος της ενέργειάς τους ακτινοβολείται εκτός στόχου, με φωτόνια χαμηλής ενέργειας. Όταν τα προσπίπτοντα ηλεκτρόνια έχουν ενέργεια 35 keV, επιβραδύνονται ταχύτατα, λόγω κρούσεων, με αποτέλεσμα τη δημιουργία συνεχούς φάσματος ακτίνων Χ (background). Ο βαθμός επιβράδυνσης είναι διαφορετικός για κάθε προσπίπτον ηλεκτρόνιο, ανάλογα με την απώλεια ενέργειας που προκαλεί κάθε κρούση. Αν αυτή είναι μεγάλη συνεπάγεται την εκπομπή φωτονίων υψηλής ενέργειας (ακτίνες Χ), ενώ αν είναι μικρή, παράγονται φωτόνια χαμηλής ενέργειας (π.χ. UV ακτινοβολία).

Επίσης πρέπει να ληφθούν υπόψη κάποιες παρεμβολές οι οποίες επηρεάζουν τα φάσματα φθορισμού των ακτίνων Χ. Οι παρεμβολές αυτές μπορεί να είναι φασματικές, περιβαλλοντικές και μήτρας.

3.3 Φασματοσκοπία Raman

Η ανακάλυψη του φαινομένου Raman, καθώς και η ονομασία του, οφείλεται στον Ινδό Sir C.V. Raman ο οποίος το ανακάλυψε πειραματικά το 1928 κατά τη διάρκεια έρευνας που αφορούσε τη σκέδαση του φωτός από μόρια (Raman and Krishnan 1928). Το φαινόμενο είχε παρατηρηθεί και παλιότερα (1923) από τον Smekal την ίδια εποχή περίπου με τον Raman, οι Landsberg και Mandelstam παρατήρησαν το ίδιο φαινόμενο σε χαλαζία (quartz). Η δημοσίευση του Raman ωστόσο αποτέλεσε την πιο εκτενή και πλήρη περιγραφή του φαινομένου γι' αυτό και το 1930 τιμήθηκε με το βραβείο Νόμπελ Φυσικής.

Η φασματοσκοπία Raman σχετίζεται με το φαινόμενο της μεταβολής της συχνότητας του φωτός όταν αυτό προσπίπτει σε μόρια. Εάν η συχνότητα του προσπίπτοντος φωτός είναι ν_0 και του σκεδαζόμενου ν_r τότε η μεταβολή $\Delta\nu = \nu_r - \nu_0$ μπορεί να είναι είτε θετική είτε αρνητική. Το μέγεθος $\Delta\nu$ είναι γνωστό ως συχνότητα Raman ενώ το σύνολο αυτών των συχνοτήτων απαρτίζει το φάσμα Raman (Σαράντη 2009).

Ουσιαστικά η φασματοσκοπία Raman είναι η τεχνική η οποία βασίζεται στην ανελαστική σκέδαση μονοχρωματικού φωτός το οποίο εκπέμπεται συνήθως από λέιζερ. Ανελαστική σκέδαση σημαίνει ότι η συχνότητα των φωτονίων της μονοχρωματικής δέσμης αλλάζει μετά από μία αλληλεπίδραση με το δείγμα. Τα φωτόνια του λέιζερ απορροφώνται από το δείγμα και μετά επανεκπέμπονται. Η συχνότητα των επανεκπεμπόμενων φωτονίων αυξάνεται ή ελαττώνεται σε σχέση με τη συχνότητα της πρωταρχικής μονοχρωματικής ακτινοβολίας. Αυτή η μεταβολή ονομάζεται φαινόμενο Raman.

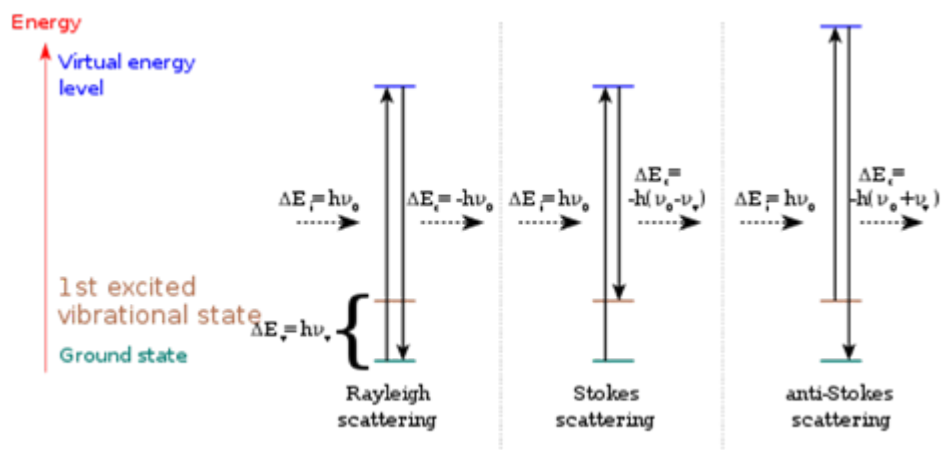
Η μεταβολή αυτή μας δίνει πληροφορίες σχετικά με τις δονητικές, περιστροφικές και άλλες χαμηλής συχνότητας μεταβάσεις στα μόρια. Η φασματοσκοπία Raman μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη στερεών, υγρών και αέριων δειγμάτων. Το λέιζερ θα πρέπει να εκπέμπει σε συγκεκριμένο μήκος κύματος, ώστε να μην απορροφηθεί πλήρως η ακτινοβολία από το μόριο (Skoog et al 1998).

Γενικά τα άτομα ή τα μόρια μπορούν να εκπέμψουν φως που είναι χαρακτηριστικό αυτών και το οποίο αναφέρεται ως πρωτογενής ακτινοβολία. Είναι όμως πιθανό να επάγουμε ακτινοβολία από αυτά εάν τα φωτίσουμε ισχυρά. Η εκπομπή αυτή

του φωτός αναφέρεται ως δευτερογενής ακτινοβολία και η πρώτη περίπτωση αυτής είναι ο φθορισμός του οποίου οι νόμοι έχουν διελευκανθεί από τον Stokes. Το δεύτερο είδος δευτερεύουσας ακτινοβολίας είναι η σκέδαση του φωτός από άτομα ή μόρια, φαινόμενο κοινό για όλες τις καταστάσεις της ύλης.

Αν θεωρήσουμε ότι τα φωτόνια προσκρούουν σε άτομα ή μόρια, τότε το μεγαλύτερο μέρος των φωτονίων δεν αλληλεπιδρά με τα σωματίδια, αλλά ένα μέρος (μικρότερο του 1%) αλληλεπιδρά ελαστικώς. Η συχνότητα της σκεδαζόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας παραμένει αμετάβλητη και η ελαστικώς σκεδαζόμενη ακτινοβολία δίδει την καλούμενη σκέδαση Rayleigh. Υπάρχει όμως και ένας μικρός αριθμός φωτονίων που σκεδάζεται κατά τρόπο μη ελαστικό. Η ακτινοβολία αυτή δίδει τη λεγόμενη σκέδαση Raman.

Η αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας και της ύλης, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, είναι δυνατό να έχει ως αποτέλεσμα κρούσεις φωτονίων και μορίων. Εάν το φωτόνιο σκεδαστεί ελαστικά έχουμε μία γραμμή Rayleigh. Εάν οι κρούσεις είναι μη ελαστικές έχουμε το φαινόμενο Raman. Λόγω της μη ελαστικής σκέδασης το μόριο υφίσταται μία κβαντισμένη μετάβαση σε υψηλότερη ενεργειακή στάθμη (εικ. 24) με αποτέλεσμα το φωτόνιο να χάνει ενέργεια και να σκεδάζεται με μικρότερη συχνότητα ($\nu - \nu_1$).



Εικόνα 24: Ενεργειακό διάγραμμα.

Εάν το μόριο βρίσκεται σε ενεργειακή στάθμη υπεράνω της βασικής, η συνάντηση με το φωτόνιο μπορεί να προκαλέσει μετάβαση σε χαμηλότερη ενεργειακή στάθμη, οπότε το φωτόνιο σκεδάζεται με αυξημένη συχνότητα ($\nu + \nu_1$) (εικ. 24). Κατά τις κρούσεις αυτές δεν έχουμε ολική απορρόφηση της ενέργειας του φωτονίου αλλά μεταφορά ενέργειας στο μόριο, το δε φωτόνιο σκεδάζεται με αποτέλεσμα το φαινόμενο Raman να είναι ένα φαινόμενο σκέδασης σε αντίθεση με την υπέρυθη φασματοσκοπία που είναι ένα φαινόμενο απορρόφησης. Οι λεγόμενες γραμμές Stokes Raman είναι αυτές για τις οποίες το σκεδαζόμενο φωτόνιο έχει συχνότητα $\nu - \nu_1$, ενώ οι λεγόμενες anti-stokes Raman είναι αυτές που η συχνότητα είναι μεγαλύτερη ή ίση από $\nu + \nu_1$. Πάντως οι γραμμές anti-Stokes Raman είναι μικρότερης έντασης από τις γραμμές Stokes, καθώς ο πληθυσμός της υψηλότερης στάθμης είναι μικρότερος απ' ό,τι στην χαμηλότερη βασική κατάσταση.

Στην πραγματικότητα, οι γραμμές Raman αντιστοιχούν σε δονητικές ή περιστροφικές μεταβάσεις του μορίου, οι οποίες ανιχνεύονται με τεχνικές απορρόφησης στην περιοχή του υπέρυθρου. Δεν θα πρέπει ωστόσο να θεωρηθεί ότι οι φασματοσκοπίες Raman και υπέρυθρου IR φέρουν τα ίδια αποτελέσματα, διότι η πρώτη βασίζεται στο φαινόμενο της εκπομπής, κατά την οποία η αλληλεπίδραση μεταξύ φωτονίων και μορίων γίνεται σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα και οι ταινίες του φάσματος Raman αντιστοιχούν σε φωτόνια, τα οποία σκεδάζονται ανελαστικά από τα μόρια. Αντίθετα, οι ταινίες του φάσματος του υπέρυθρου οφείλονται σε φωτόνια, τα οποία απορροφώνται από τα μόρια, προκαλώντας μεταπτώσεις από μία ενεργειακή στάθμη ταλάντωσης σε μία άλλη.

Επίσης το φαινόμενο Raman διαφέρει και από το φθορισμό ως εξής: Κατά τον φθορισμό το προσπίπτον φωτόνιο απορροφάται εξ ολοκλήρου από το μόριο, το οποίο μεταπίπτει σε ένα διεγερμένο ηλεκτρονικό επίπεδο. Έπειτα το μόριο επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση επανεκπέμποντας ακτινοβολία μικρότερης συχνότητας από την αρχική που απορροφάται. Αντίθετα στο φαινόμενο Raman το φωτόνιο δεν απορροφάται από το μόριο, αλλά το διαταράσσει αναγκάζοντάς το σε δονητική ή περιστροφική μετάβαση.

4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

4.1 Εισαγωγικά

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή μελετήθηκαν συνολικά 115 υάλινα δείγματα τα οποία κατατάσσονται σε δύο κύριες ομάδες με βάση την προέλευσή τους. Η πρώτη ομάδα αποτελείται από 86 υάλινα αντικείμενα (αριθμοί δειγμάτων R.1-R.86) που προέρχονται από τη Ρόδο, ενώ η δεύτερη αποτελείται από 29 υάλινα αντικείμενα (αριθμοί δειγμάτων T.1-T.29) που προέρχονται από τη Θήβα. Οι ομάδες περιλαμβάνουν κυρίως μισές και ολόκληρες υάλινες ψήφους και υαλοπερισεύματα, ενδεικτικά υαλουργικής δραστηριότητας (αναλυτικά βλ. Παράρτημα Ι.1, Ι.2).

Μελετήθηκαν επίσης με τη βοήθεια της Ηλεκτρονικής Φασματοσκοπίας Σάρωσης δέκα δείγματα εφυσωμάτων (αριθμοί δειγμάτων E.1-E.10), που προέρχονται από τη Ρόδο (αναλυτικά βλ. Παράρτημα Ι.3).

Οι μέθοδοι ανάλυσης χωρίζονται σε 2 κύριες κατηγορίες, στη χημική ανάλυση με τη βοήθεια των φασματοσκοπικών μεθόδων XRF και SEM-EDX και στην ανάλυση της δομής των υάλων με τη βοήθεια της φασματοσκοπίας Raman. Η χημική ανάλυση ακολουθείται από ανάλυση των δισδιάστατων γραφημάτων και τέλος γίνεται η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων. Η φασματοσκοπία Raman έγινε σε ένα υποσύνολο των δειγμάτων από τη Ρόδο (η επιλογή έγινε με χρωματικά κριτήρια) με σκοπό την εύρεση τεχνολογικών χαρακτηριστικών στα συγκεκριμένα δείγματα.

Τέλος, σε μία χαρακτηριστική ομάδα υάλινων ψήφων από τη Ρόδο (έχουν όλες το ίδιο μέγεθος) με τη βοήθεια οπτικής μικροσκοπίας και τη χρήση προγραμμάτων επεξεργασίας εικόνας έγινε μελέτη των διάφορων εγκλεισμάτων (κυρίως φυσαλίδων αέρα) και εξήχθησαν συμπεράσματα σχετικά με την τεχνολογία της αρχαίας υαλοποιίας. Για τη μελέτη αυτή επιχειρήθηκε προσομοίωση των μεθόδων διάτρησης των ψήφων με τη χρήση σύγχρονων υλικών.

4.2 Προετοιμασία δειγμάτων

Όλα τα θραύσματα των υάλινων ψήφων για να αναλυθούν με τη χρήση ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης, φασματοσκοπίας Raman και με τη χρήση οπτικής μικροσκοπίας έπρεπε να προετοιμαστούν με τον ίδιο τρόπο. Συγκεκριμένα κάθε δείγμα γυαλίστηκε με τη βοήθεια τρυπανιού χειρός το οποίο ήταν εφοδιασμένο με κεφαλή καρβιδίου του πυριτίου, επειδή η προς ανάλυση επιφάνεια παρουσίαζε ένα στρώμα διάβρωσης. Κάθε γυαλισμένη επιφάνεια καθαρίστηκε επιπλέον με γυαλόχαρτο διαφορετικής κοκκομετρίας (1000, 1200 και 1500 κόκκων). Ακολούθως, τα δείγματα καθαρίστηκαν με ακετόνη, ώστε να έχουμε στη διάθεσή μας μία καθαρή, χωρίς ίχνη διάβρωσης επιφάνεια, κατάλληλη για ανάλυση με τις παραπάνω μεθόδους. Τέλος, ειδικά για την εφαρμογή ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης, τα δείγματα κολλήθηκαν σε βάσεις αλουμινίου με τη βοήθεια κόλλας άνθρακα, ώστε να γίνουν αγωγιμα και να δίνουν καλύτερα εστιασμένες φωτογραφίες.

4.3 Ύαλοι

4.3.1 Μελέτη κύριων και δευτερευόντων στοιχείων

Με τη βοήθεια της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης εντοπίστηκαν τα κύρια και τα δευτερεύοντα στοιχεία. Η ανάλυση των δειγμάτων έγινε στο Ερευνητικό Κέντρο Ε.Κ.Ε.Φ.Ε. “Δημόκριτος” στο Τμήμα Επιστήμης Υλικών. Χρησιμοποιήθηκε το Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης (FEI-INSPECT) το οποίο ήταν εξοπλισμένο με Φασματόμετρο Διασποράς Ενέργειας (EDS), με έναν ανιχνευτή SUTW (Super Ultra Thin Window). Το όργανο είναι βαθμονομημένο με πρότυπα ατομικά και πολυστοιχειακά δείγματα. Όλες οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στα 25 kV, με γωνία take-off στις 35°. Η ακρίβεια του ποσοστού των οξειδίων τα οποία προσδιορίζονται από το EDS μειώνεται σταδιακά για συστατικά τα οποία έχουν ποσοστό κάτω από 0,5% και μόνο συστατικά τα οποία έχουν ποσοστό μεγαλύτερο από 0,1% λαμβάνονται υπόψη. Όλες οι τιμές είναι μέσοι όροι από τουλάχιστον τρεις μετρήσεις σε κάθε δείγμα.

Με τη φασματοσκοπία φθορισμού ακτίνων Χ εντοπίστηκαν τα ιχνοστοιχεία κάθε δείγματος. Συγκεκριμένα τα κύρια και τα δευτερεύοντα στοιχεία που εντοπίστηκαν (σε μορφή οξειδίων) είναι τα Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Co, Cu, ενώ τα ιχνοστοιχεία που εντοπίστηκαν είναι τα Ti, Mn, Co, Cu, Zn, Br, Rb, Sr, Sn, Zr, Sb, Pb και As. Το φορητό φασματόμετρο XRF έχει διάμετρο ακτίνας περίπου στα 3mm και αποτελείται από λυχνία ακτίνων Χ Ροδίου χαμηλής ενέργειας (50 W, 50 kV, 75 μ m Be window), έναν ανιχνευτή Si-PiN (XR-100CR, Amptek Inc.) με ονομαστικό πάχος κρυστάλλου 500 μ m (165 eV FWHM @ Mn-K α) και έναν ψηφιακό επεξεργαστή σήματος (PX4, Amptek Inc.) (Karydas 2007). Η διέγερση στα 40 kV έγινε με χρήση φίλτρου Cu για τον εντοπισμό των ιχνοστοιχείων με Z>20. Η ποσοτική ανάλυση έγινε με τη χρήση προγράμματος υπολογισμού Βασικών Παραμέτρων της Amptek Inc. (Fundamental Parameter software). Για τη βαθμονόμηση του συστήματος χρησιμοποιήθηκαν πρότυπα δείγματα (NIST 620, NIST 621, NIST 614). Το πειραματικό σφάλμα ήταν στα επίπεδα του 5% για τα κύρια και τα δευτερεύοντα στοιχεία και στο 10% για τα ιχνοστοιχεία.

Τα προς εξέταση δείγματα της πρώτης ομάδας (R.1-R.86), όπως φαίνεται από τις αναλύσεις, ανήκουν στο γενικό τύπο νατρίου-πυριτίου-ασβεστίου (Brill 1999). Οι τιμές των διαφόρων, κύριων και δευτερευόντων, στοιχείων καθώς και των ιχνοστοιχείων

παρουσιάζονται αναλυτικά στο Παράρτημα (Παράρτημα II.1, II.2). Στον παρακάτω πίνακα (πίν. 3) παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των κύριων και δευτερευόντων στοιχείων, καθώς επίσης και οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές.

Οξείδιο	Μέγ. Τιμή	Ελάχ. Τιμή	Μέσος όρος
SiO ₂	87,97	57,68	68,26
Na ₂ O	23,50	3,08	18,28
K ₂ O	4,52	0,15	1,43
CaO	9,88	2,34	5,28
MgO	7,08	0,45	3,71
Al ₂ O ₃	3,09	0,51	1,09
SO ₃	1,25	0,28	0,57
Cl	1,23	0,25	0,82

Πίνακας 3: Μέγιστες, ελάχιστες τιμές και μ. ό. των χημικών αναλύσεων των κύριων και δευτερευόντων στοιχείων των δειγμάτων της Ρόδου.

Αναλυτικά το SiO₂ έχει μέσο όρο 68,26 % κ.β. και μέγιστη και ελάχιστη τιμή 87,97% κ.β. και 57,68% κ.β. αντίστοιχα. Ως κύριο αλκάλιο εμφανίζεται το Na₂O το οποίο κυμαίνεται από 3,08% κ.β. μέχρι 23,50% κ.β. με μέσο όρο 18,28% κ.β., ενώ το K₂O βρίσκεται σε χαμηλές τιμές και αποτελεί το δευτερεύον αλκαλικό οξείδιο. Το CaO είναι το κύριο οξείδιο αλκαλικής γαίας με ελάχιστη και μέγιστη τιμή 2,34% κ.β. και 9,88% κ.β. αντίστοιχα και μέσο όρο 5,28% κ.β. Το MgO κυμαίνεται από 0,45% κ.β. έως 7,08% κ.β. και έχει μέσο όρο 3,71% κ.β. Το Al₂O₃ κυμαίνεται από 0,51% κ.β. μέχρι 3,09% κ.β. και έχει μέσο όρο 1,09% κ.β., ενώ παρατηρήθηκε παρουσία SO₃ και Cl με μέσους όρους 0,57% κ.β. και 0,82% κ.β. αντίστοιχα. Το S (SO₃) και το Cl απαντώνται σε πολλές αρχαίες υάλους και συνήθως δεν σχετίζονται με χρωστικού χαρακτήρα προσθήκες, χωρίς να απαγορεύεται συμβολή του τελευταίου τύπου. Συχνά οι πρώτες ύλες περιέχουν “SO₃” και “Cl” σε σημαντικά ποσοστά, αλλά οι τελικές συγκεντρώσεις μειώνονται τυπικά στην περιοχή του 1% λόγω περιορισμού διαλυτότητας (καθορίζεται από τη θερμοκρασία εψήσεως και τη συνολική σύσταση). Επίσης σε όλα τα δείγματα εντοπίζεται το Fe₂O₃ με

μέσο όρο 0,43% κ.β. και μέγιστη και ελάχιστη τιμή 1,04% κ.β. και 0,15% κ.β. αντίστοιχα. Τα ποσοστά Fe_2O_3 οφείλονται κυρίως σε προσμείξεις των πρώτων υλών, ενώ συγκεντρώσεις πέραν του 0,4%-0,5% συχνά αντικατοπτρίζουν ηθελημένη προσθήκη για λόγους χρωματισμού. Τέλος εντοπίζονται και ποσότητες Co και Cu κυρίως σε δείγματα μπλε και πράσινου-μπλε χρώματος.

Αντίστοιχα για τη δεύτερη ομάδα (δείγματα T.1-T.29) εντοπίζονται τα ίδια στοιχεία με μέσους όρους και μέγιστες και ελάχιστες τιμές που παρουσιάζονται αναλυτικά στον πίνακα 4.

Οξείδιο	Μέγ. Τιμή	Ελάχ. Τιμή	Μέσος όρος
SiO_2	73,43	65,21	69,75
Na_2O	22,53	13,69	17,43
K_2O	0,93	0,08	0,40
CaO	8,81	4,35	6,61
MgO	1,11	0,47	0,72
Al_2O_3	3,67	0,73	2,27
SO_3	0,86	0,32	0,49
Cl	1,66	0,94	1,24

Πίνακας 4: Μέγιστες, ελάχιστες τιμές και μ. ό. των χημικών αναλύσεων των κύριων και δευτερευόντων στοιχείων των δειγμάτων της Θήβας.

Συγκεκριμένα και αυτά τα δείγματα ανήκουν στο γενικό τύπο σόδας-ασβεστίου-πυριτίου. Ο μέσος όρος SiO_2 είναι 69,75% κ.β. με μέγιστη και ελάχιστη τιμή 73,43 % κ.β. και 65,21% κ.β. αντίστοιχα. Ως κύριο αλκάλιο εμφανίζεται το Na_2O το οποίο κυμαίνεται από 13,69% κ.β. μέχρι 22,53% κ.β. με μέσο όρο 17,43% κ.β., ενώ το K_2O βρίσκεται σε χαμηλές τιμές και αποτελεί το δευτερεύον αλκαλικό οξείδιο. Το CaO είναι το κύριο οξείδιο αλκαλικής γαίας με ελάχιστη και μέγιστη τιμή 4,35% κ.β. και 8,81% κ.β. αντίστοιχα και μέσο όρο 6,61% κ.β. Το MgO κυμαίνεται από 0,47% κ.β. έως 1,11% κ.β. και έχει μέσο όρο 0,72% κ.β. Το Al_2O_3 κυμαίνεται από 0,73% κ.β. μέχρι 3,67% κ.β. και έχει μέσο όρο 2,27% κ.β. Τέλος παρατηρήθηκε παρουσία SO_3 και Cl με μέσους όρους 0,49% κ.β. και 1,24% κ.β. αντίστοιχα.

Η αρχαία υαλουργία περιλαμβάνει δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο γίνεται η επιλογή των πρώτων υλών, η ανάμειξή τους και η αρχική τήξη, ώστε να δημιουργηθεί η αρχική ακατέργαστη ύαλος και τα λεγόμενα υαλοπλινθώματα. Το μετέπειτα στάδιο περιλαμβάνει την τήξη της ακατέργαστης ύαλου και την τελική μορφοποίηση του αντικειμένου. Αυτές οι δύο διαδικασίες, η πρωτογενής και η δευτερογενής παραγωγή, δεν αποκλείεται να γινόταν σε διαφορετικά μέρη. Πολλές φορές τα υαλοπλινθώματα αποτελούσαν αντικείμενο εμπορίου (Pulak 2005).

Η αρχαία υαλουργία αποτελούσε μία πολύπλοκη διαδικασία η οποία απαιτούσε δεξιότητες και γνώση της πυροτεχνολογίας. Πρόκειται για μία τέχνη την οποία κατείχαν λίγοι. Οι αρχαίες ύαλοι είναι υλικά, στα οποία εντοπίζεται πληθώρα οξειδίων χημικών στοιχείων. Πρέπει να τονιστεί ότι τα περισσότερα από αυτά εισέρχονταν στην ύαλο με τη μορφή προσμείξεων σε βασικές κύριες πηγές. Για τη δημιουργία των υάλων απαιτείται η ανάμειξη δύο (το πολύ τριών) βασικών συστατικών, ώστε να υπάρχει καλύτερος έλεγχος στην παρασκευή της τελικής ύαλου. Η υαλοποιία ήταν τέχνη η οποία βασιζόταν στη δοκιμή, το λάθος και τον πειραματισμό. Είναι επομένως προφανές πως η χρήση και ανάμειξη περισσότερων από τρία συστατικά περιπλέκει πολύ τις μεταξύ τους πιθανές αναλογίες, οι οποίες δεν μπορούν να υπολογιστούν με ακρίβεια, ώστε να παρασκευαστεί η τελική ύαλος.

Πηγές πυριτίου

Η πρώτη και κύρια βασική ύλη της υαλουργίας (αρχαίας και σύγχρονης) είναι το SiO_2 . Βασική πηγή του SiO_2 είναι η άμμος η οποία προέρχεται είτε από όχθες ποταμών είτε από θαλάσσιες ακτές ακόμα και από βότσαλα χαλαζία που βρίσκονται στις κοίτες ποταμών (quartzite pebbles) (Turner 1956α· Nikita 2004). Ο αρχαίος υαλουργός έπρεπε να βρει όσο το δυνατόν καθαρότερη άμμο, γιατί τις περισσότερες φορές η άμμος συνοδεύεται από διάφορες προσμείξεις κυρίως μεταλλευμάτων σιδήρου (Henderson 1985· Henderson 2000). Διάφορες αναλύσεις έχουν γίνει σε άμμο από διάφορες περιοχές, ώστε να συσχετιστούν με την υαλουργία των περιοχών της Αιγύπτου και της Συροπαλαιστίνης. Η ανάλυση άμμου από την κοίτη του ποταμού Βήλου στη Φοινίκη έδειξε πως περιέχει 80,98% SiO_2 , 3,58% Al_2O_3 , 0,12% Fe_2O_3 , 9,0% CaO (Turner 1956). Συγκεκριμένα για τον Βήλο ποταμό ο Πλίνιος αναφέρει «...*Quingentorum est passuum non amplius litoris spatium, idque tantum multa per secula gignedo fuit vitro...*» (Πλίνιος,

Φυσική Ιστορία, XXXVI, 190) που σε ελεύθερη μετάφραση σημαίνει «...Το μήκος της ακτής δεν ξεπερνά το μισό μίλι και όμως για πολλούς αιώνες σε αυτή την περιοχή βασίστηκε η παραγωγή του γυαλιού...». Η άμμος αυτή μπορεί να θεωρηθεί σχετικά καθαρή αν συγκριθεί με δείγματα άμμου από την Amarna καθώς επίσης και από τη Χάιφα της Συρίας τα οποία περιείχαν ίχνη από TiO_2 , MgO , K_2O , P_2O_5 , SO_3 και BaO (Turner 1956). Στην άμμο μπορεί να βρεθεί μία μεγάλη ποικιλία προσμείξεων, κυρίως άστριων. Οι άστριοι είναι ομάδα ορυκτών η οποία περιέχει πολυπυριτικά άλατα αργιλίου με αλκάλια (νάτριο ή/και κάλιο) ή με ασβέστιο. Οι άστριοι προσθέτουν στην τελική ύαλο κάποιες ποσότητες αργιλίου, νατρίου και καλίου αντίστοιχα. Ο τιτανίτης (ή *sphene*) ($\text{CaTiO}(\text{SiO}_4)$) μπορεί να προσθέσει προσμείξεις οξειδίου του χρωμίου και του τιτανίου. Ο χρωμίτης (FeCr_2O_4) και συναφή σιδηροχρωμιούχα μεταλλεύματα μπορεί να προσθέσουν σίδηρο και ο επιδότης (*epidote*) δίνει στην ύαλο αλούμινα και σίδηρο ($\text{Ca}_2(\text{Al,Fe})\text{Al}_2(\text{SiO}_4)(\text{SiO}_7)(\text{O,OH})_2$) (Henderson 1985).

Οι προσμείξεις του σιδήρου είναι υπεύθυνες για το πρασινωπό-κιτρινωπό χρώμα που παρατηρείται πάρα πολύ συχνά στις υάλους. Ακόμα και μετά από πολύ προσεκτική διαλογή άμμου δεν αποφεύγεται η παρουσία σιδήρου στο τελικό προϊόν της υάλου, αφού το οξείδιο του σιδήρου ακολουθεί συχνά το οξείδιο του πυριτίου. Η σύσταση της άμμου μπορεί να διαφέρει πάρα πολύ από περιοχή σε περιοχή, αν και πολλές φορές τα υαλώδη υλικά που προέρχονται από αυτές δεν έχουν σημαντικές διαφορές στη σύσταση. Αυτό μπορεί να είναι ένδειξη είτε επιλογής πολύ καθαρής άμμου είτε χρήσης βοτσάλων χαλαζία (πηγή με λιγότερη ποικιλία στη σύσταση), το οποίο εν τέλει αντικατοπτρίζεται στο τελικό προϊόν, δηλαδή στην ύαλο (Shortland 2000).

Στις πινακίδες με σφηνοειδή γραφή, όπου υπάρχουν πολλές συνταγές υαλουργίας ως πηγή πυριτίου, αναφέρεται το υλικό *immanakku* το οποίο έχει αποκρυπτογραφηθεί και αποδίδεται σε λευκά βότσαλα χαλαζία από κοίτες ποταμών.

Βασικό συστατικό που εισάγει στη βασική ύαλο η άμμος είναι το SiO_2 . Στην αρχαία υαλουργία κυμαίνεται σε διάφορες τιμές από ~63%-83,5% κ.β. για υάλους Αρχαϊκής περιόδου (7^{ος} αι. π.Χ.) από την περιοχή της αρχαίας ασσυριακής πόλης Νίμρουντ και ~67%-76% για υάλους Ελληνιστικής περιόδου (3^{ος}-2^{ος} αι. π.Χ.) από το εργαστήριο ψήφων της πόλης της Ρόδου (Brill 1999).

Ας σημειωθεί ότι δεδομένα σχετικά με αναλύσεις υάλου της Αρχαϊκής περιόδου συναντώνται σπάνια στην έως τώρα βιβλιογραφία. Στην περίπτωση της Ρόδου το σύνολο των ψήφων παρουσιάζει τιμές SiO_2 που κυμαίνονται από 57,68% έως 75,09% κ.β. με μέσο όρο 68,04% κ.β., τιμή η οποία είναι μέσα στα «όρια» των αναλύσεων από την Νίμρουντ και τις άλλες περιοχές (βλ. Παράρτημα II.4). Στις τιμές αυτές για τη Ρόδο εξαιρείται η τιμή του δείγματος R.8 (87,97% κ.β.), διότι πρόκειται για ανάλυση από διαβρωμένη περιοχή.

Οι τιμές του SiO_2 στα δείγματα από τη Θήβα είναι παρόμοιες με αυτές της Ρόδου με μόνη διαφορά ίσως το κάτω όριο. Συγκεκριμένα το SiO_2 κυμαίνεται από 65,02% μέχρι 73,43% κ.β. με μέσο όρο 69,75% κ.β. Τιμές αναλύσεων υάλινων αντικειμένων ($n=9$) από την περιοχή της Θήβας παλαιότερης περιόδου (μυκηναϊκής εποχής) κυμαίνονται από 61,19% έως 69,95% κ.β. με μέσο όρο 67,56% κ.β. (Nikita 2004). Παρατηρείται ότι, ενώ ο μέσος όρος είναι σχεδόν ίδιος και στις δύο περιπτώσεις, οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές δείχνουν να έχουν κάποια απόκλιση.

Αλκαλικά οξείδια

Η χρήση των αλκαλίων κρίνεται απαραίτητη για τη δημιουργία υάλου, αφού το κύριο χαρακτηριστικό τους είναι ότι μειώνουν το σημείο τήξης της άμμου σε χαμηλότερη θερμοκρασία. Η άμμος αποτελείται κατά κύριο λόγο από SiO_2 (τυπικές τιμές περιεχομένου σε άμμο από τον ποταμό Βήλο έχουν περιεκτικότητα $\text{SiO}_2 \sim 87,75\%$ κ.β.) το οποίο έχει σημείο τήξης $\sim 1734^\circ\text{C}$ (Doremus 1973), τιμή η οποία ήταν αδύνατο να επιτευχθεί κατά την αρχαιότητα. Το όριο λειτουργίας προς τα άνω του υαλουργικού φούρνου την Εποχή του Χαλκού ήταν περίπου οι 1100°C (Tanimoto and Rehren 2008). Με την προσθήκη αλκαλίου στην άμμο ουσιαστικά προστίθενται επιπλέον οξυγόνα στο δικτύωμα προκαλώντας διάρρηξη ορισμένων δεσμών. Αυτό έχει ως συνέπεια μία γέφυρα Si-O-Si να καταστραφεί και ταυτόχρονα να δημιουργηθούν δύο δεσμοί SiO^- . Δηλαδή κατά την τήξη σπάνε οι ισχυροί δεσμοί του πυριτίου και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση του σημείου τήξης (Καρακασίδης 2002). Έτσι το υαλώδες SiO_2 έχει θερμοκρασία τήξης 1734°C , ενώ το sodium disilicate ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 2 \text{SiO}_2$) και το potassium disilicate ($\text{K}_2\text{O} \cdot 2 \text{SiO}_2$) έχουν 878°C και 1040°C αντίστοιχα (Doremus 1973). Βεβαίως κατά την ψύξη της αρχαίας υάλου, η οποία χαρακτηρίζεται ως αργή διαδικασία, ευνοείται και ο επανασχηματισμός κρυσταλλικού SiO_2 ο οποίος ανιχνεύθηκε στην πλειονότητα των

δειγμάτων που προέρχονται από τη Θήβα τα οποία μετρήθηκαν με τεχνικές φωταύγειας (Θερμοφωταύγεια και Οπτικά Διεγερμένη Φωταύγεια) (Zacharias et al 2008).

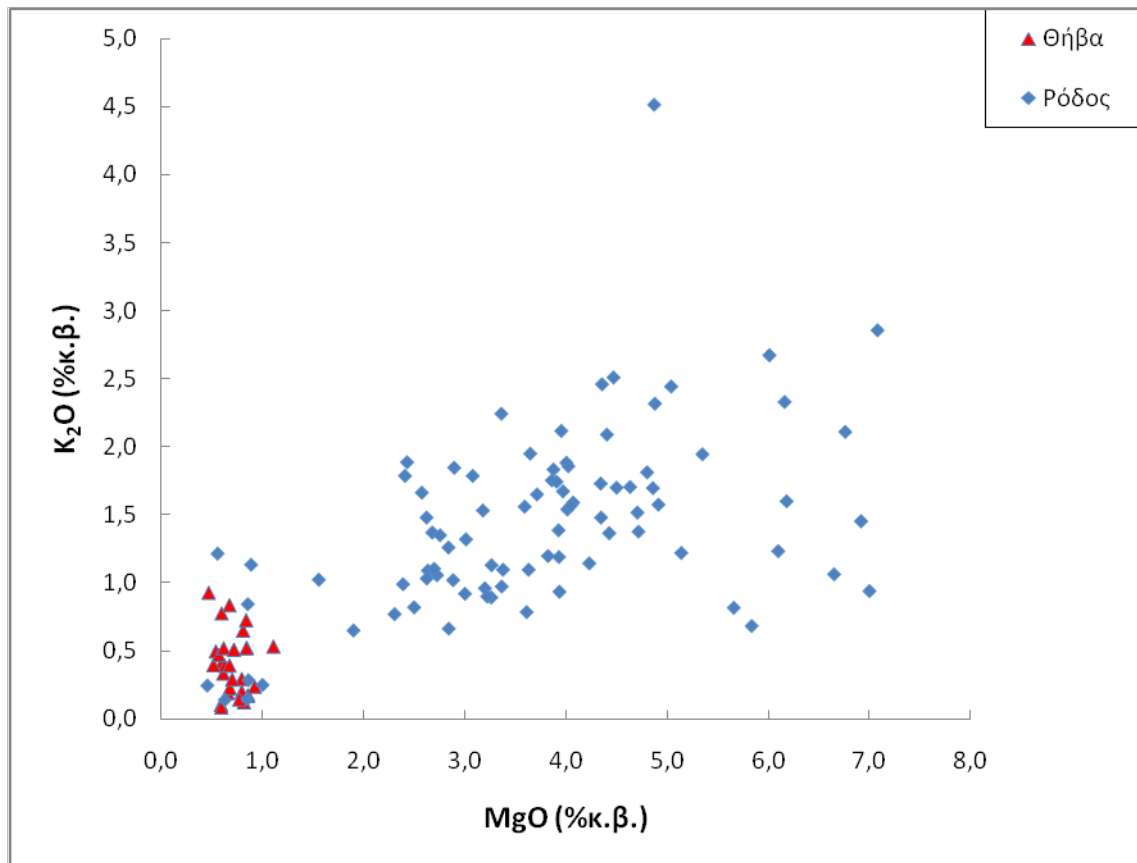
Οι πηγές των δύο αυτών αλκαλίων (K_2O , του οποίου η ανθρακική εκδοχή είναι η ποτάσα, και Na_2O , του οποίου η ανθρακική εκδοχή είναι η σόδα) μπορεί να είναι είτε ορυκτές είτε φυτικές. Ο τελευταίος όρος ουσιαστικά αναφέρεται στην τέφρα συγκεκριμένων φυτών ή δέντρων, ενώ ως ορυκτή πηγή αναφέρονται τα γαιώδη ιζήματα αποξηραμένων λιμνών (Beretta 2004). Τα φυτά των οποίων την τέφρα χρησιμοποιούσαν οι αρχαίοι υαλουργοί φύονταν συνήθως σε παράκτιες περιοχές. Κυρίως χρησιμοποιούσαν ποώδη φυτά, όπως το ποώδες φυτό *Salsola kali* και *Salsola soda*. Το *Salsola kali* απαντάται στην περιοχή της Ευρασίας, ενώ το *Salsola soda* στην περιοχή της Μεσογείου. Και τα δύο ανήκουν στην οικογένεια των αλοφύτων. Η τέφρα των φυτών αυτών περιέχει ποτάσα [$K_2O \sim 21,5\%$ κ.β. (Brill 1999) βλ. Παράρτημα], οπότε προσδίδουν στην ύαλο υψηλά ποσοστά K_2O περίπου στο 1,5-5%, καθώς επίσης και σόδα. Τα υψηλά ποσοστά καλίου σε αυτού του τύπου τις υάλους συνήθως συνοδεύονται και από υψηλά ποσοστά μαγνησίου. Προς το τέλος της 1^{ης} χιλιετίας μ.Χ. γίνεται χρήση τέφρας δέντρων, όπως οξιάς, σημύδας, πεύκου (Stern and Gerber 2004). Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως η σύσταση της στάχτης των φυτών ή των δέντρων εξαρτάται από πολλούς παράγοντες [μέρος του φυτού που καίγεται (φύλλο ή κορμός), περιβάλλον στο οποίο μεγαλώνει, το υπέδαφος κ.ά.] και είναι δύσκολο να εντοπιστεί το ακριβές φυτό που χρησιμοποιείται στην υαλουργία (Hendreson 1985· Brill 1970· Besborodov 1975).

Οι ορυκτές πηγές είναι κυρίως υλικά που έχουν εναπομένει από την εξάτμιση λιμνών. Βασική πηγή της σόδας είναι ορυκτά που βασίζονται στην οικογένεια του νάτρου (δηλ. στο νάτρον $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$ και/ή στην τρόνα $Na_3H(CO_3)_2 \cdot 2H_2O$, έχουν ως κύριες προσμείξεις το $NaCl$ και το Na_2SO_4) δίνουν χαμηλές τιμές K_2O και MgO στην τελική ύαλο (Οικονόμου κ. ά. 2011). Το νάτρον ή διαφορετικά φυσική σόδα στην αρχαιότητα βρισκόταν στην Αίγυπτο και συγκεκριμένα στην κοιλάδα του Νατρίου και στη λίμνη Wadi el Natrum. Εκτός από την Αίγυπτο, που ήταν η σημαντικότερη πηγή του νάτρου, βρισκόταν επίσης και σε άλλα μέρη, όπως στη Μακεδονία (στην Πικρολίμνη, κοντά στην πόλη Χαλάστρα). Εάν υποτεθεί ότι (και) το αφρόνιτρο (λατινικά *srouma nitri* “αφρός νίτρου”) είναι πηγή νάτρου, τότε υπάρχουν τουλάχιστον δέκα πηγές του που

αναφέρονται στην αρχαία βιβλιογραφία (Πλίνιος, *Φυσική Ιστορία*, XXXI, 106-122· Διοσκουρίδης, E.113-Στράβων, 11, C 529/8).

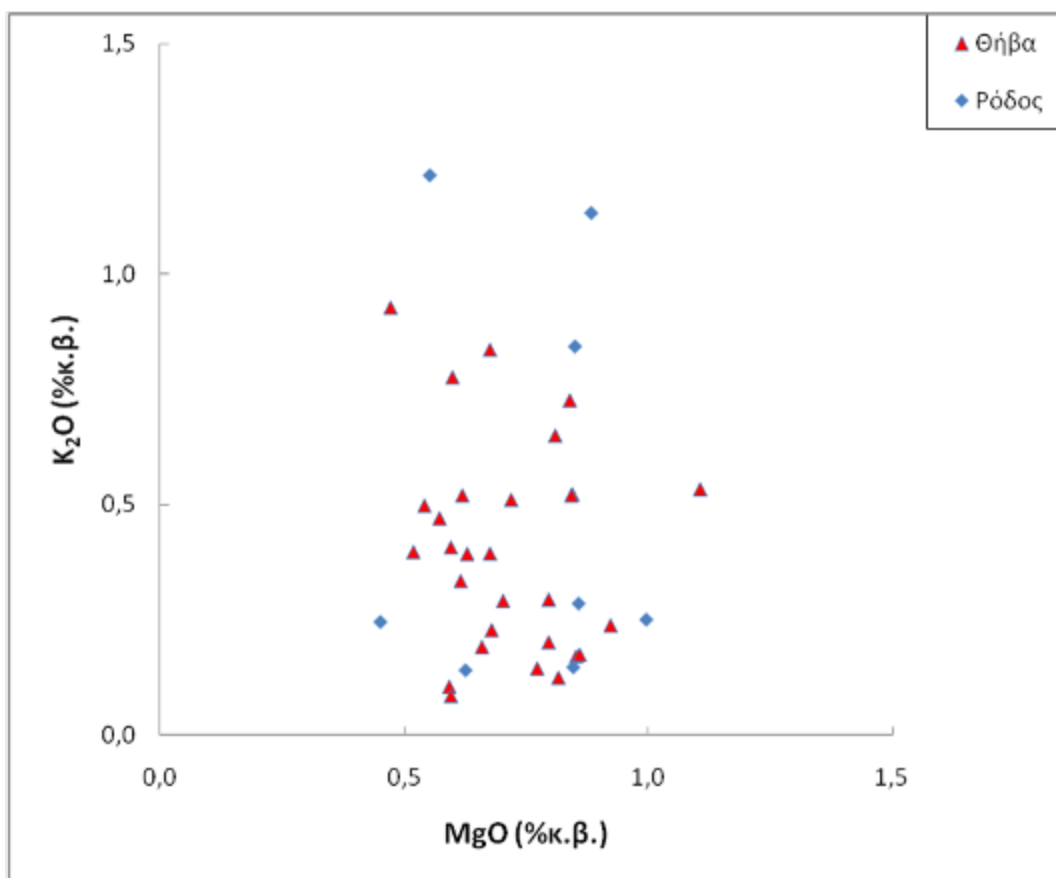
Ο συσχετισμός μεταξύ των πηγών αλκαλίων και της σύστασης της τελικής υάλου περιγράφεται με λεπτομέρεια σε κλασικές μελέτες αρχαίων υάλων (π.χ. Henderson 2000), ενώ οι συστάσεις πρώτων υλών και τελικών υάλων από διάφορες περιοχές και περιόδους έχουν συγκεντρωθεί και συζητηθεί από τον Brill (Brill 1999). Η αρχαία υαλουργία κατά τη διάρκεια των αιώνων πέρασε σταδιακά από διάφορες τάσεις σχετικά με την πηγή αλκαλικών οξειδίων. Συγκεκριμένα από το 1500-800 π.Χ. η πλειονότητα των υάλινων αντικειμένων στην Ανατολική Μεσόγειο, την Αίγυπτο και τη Μεσοποταμία είχαν υψηλές τιμές ποτάσας και μαγνησίου (ενδεικτικά K_2O : 1-4% κ.β. και MgO : 3-7% κ.β.) ενδεικτικό της χρήσης τέφρας φυτών, ενώ στους επόμενους αιώνες οι τιμές ποτάσας και μαγνησίου ελαττώθηκαν πολύ (ενδεικτικά K_2O : 0,1-1,0 % κ.β. και MgO : 0,5-1,5% κ.β.), ενδεικτικό της χρήσης ορυκτής πηγής αλκαλίου (νάτρον), μέχρι το τελευταίο διάστημα της 1^{ης} χιλιετίας μ.Χ., όπου η τέφρα φυτών επανέρχεται ως κύρια πηγή αλκαλίου στην αρχαία υαλουργία (Shortland and Tite 2000).

Μία από τις πιο βασικές διαφορές των προς εξέταση δειγμάτων είναι η πηγή του αλκαλίου. Η συλλογή της Ρόδου παρουσιάζει μέσους όρους στις τιμές του K_2O και του MgO 1,43% κ.β. και 3,71% κ.β. αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές (αν και λίγο χαμηλότερες από τις τιμές που αναφέρουν οι Tanimoto και Rehren 2% και 4% κ.β. αντίστοιχα (Tanimoto and Rehren 2008) και λίγο υψηλότερες από τις τιμές που αναφέρουν οι Sayre και Smith 1,13% και 3,6% κ.β. αντίστοιχα (Sayre and Smith 1961) είναι ενδεικτικές της χρήσης τέφρας φυτών ως πηγής αλκαλίου. Από την άλλη πλευρά τα δείγματα που προέρχονται από τη Θήβα, αν και δεν είναι όλα της ίδιας περιόδου, παρουσιάζουν μέσους όρους K_2O και MgO 0,40% και 0,72% κ.β. αντίστοιχα. Τιμές των δύο αυτών οξειδίων μικρότερες από το 1% υποδεικνύουν χρήση νάτρον ως πρώτης ύλης αλκαλίου (Shortland and Eremin 2006). Η διαφορά αυτή είναι εμφανής κατά την προβολή των δύο συγκεντρώσεων σε ένα δισδιάστατο γράφημα, όπου στον άξονα x υπάρχουν οι τιμές του K_2O , ενώ στον άξονα y οι τιμές του MgO (γράφ. 1).



Γράφημα 1: Στο διάγραμμα K₂O-MgO τα δείγματα της Ρόδου και της Θήβας καταλαμβάνουν δύο διαφορετικές περιοχές.

Όλα τα δείγματα από τη Θήβα συγκεντρώνονται σε μία περιοχή, όπου K₂O και MgO < 1% κ.β., ενώ στην πλειονότητα των δειγμάτων της Ρόδου παρατηρείται αυξημένο ποσοστό MgO (>2% κ.β.) και σχετικά μεγαλύτερο ποσοστό K₂O (>1% κ.β.). Η διαφοροποίηση αυτή, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οφείλεται στη χρήση διαφορετικής πηγής αλκαλίου. Γενικά φαίνεται ότι τα δείγματα από τη Ρόδο ανταποκρίνονται στο τέλος της τάσης να χρησιμοποιείται η τέφρα φυτών, παράδοση η οποία υπήρχε από την Ύστερη Εποχή του Χαλκού στις περιοχές της Μέσης Ανατολής και της Ανατολικής Μεσογείου. Από την άλλη πλευρά τα δείγματα από τη Θήβα ακολουθούν την επόμενη τάση, δηλαδή τη χρήση ορυκτών πηγών αλκαλίου (Beltsios et al 2012). Όμως από το σύνολο των 86 δειγμάτων της Ρόδου συναντώνται 8 δείγματα (R13, R30, R34, R38, R43, R60, R83, R86), από τα οποία 6 (R30, R38, R43, R60, R83, R86) έχουν K₂O και MgO <1% κ.β. και 2 από αυτά (R13, R34) έχουν K₂O ~ 1% κ.β. και MgO <1% κ.β. (γράφ. 2).



Γράφημα 2: Στην περιοχή συστάσεων των δειγμάτων της Θήβας εντοπίστηκαν 8 δείγματα από τη Ρόδο.

Τα δείγματα αυτά προέρχονται καθαρά από μία πρωταρχική ύαλο η οποία ως προς το αλκάλιο βασίζεται, αν όχι εξ ολοκλήρου, σε μεγάλο ποσοστό στο νάτрон. Ο περιορισμένος αριθμός υάλων από τα δείγματα της Ρόδου του 7^{ου} αι. π.Χ., που βασίζονται στο νάτрон, μπορεί να οφείλεται σε δύο πιθανούς λόγους: είτε η ύαλος αυτή προέρχεται από ένα εργαστήριο υαλουργίας, το οποίο ήδη χρησιμοποιεί το νάτрон ως πρώτη ύλη, είτε προέρχεται από υαλουργικό κέντρο, το οποίο βρίσκεται στο πρώτο στάδιο χρήσης νάτрон και υιοθετεί χρήσεις νέων πρώτων υλών. Όποιο και αν είναι το σενάριο, τα δείγματα από τη Ρόδο δείχνουν την έναρξη-μετάβαση από τη μία τάση στην άλλη, δηλαδή από τη χρήση τέφρας φυτών στη χρήση νάτρον ως βασικής πηγής αλκαλίου (Beltsios et al 2012).

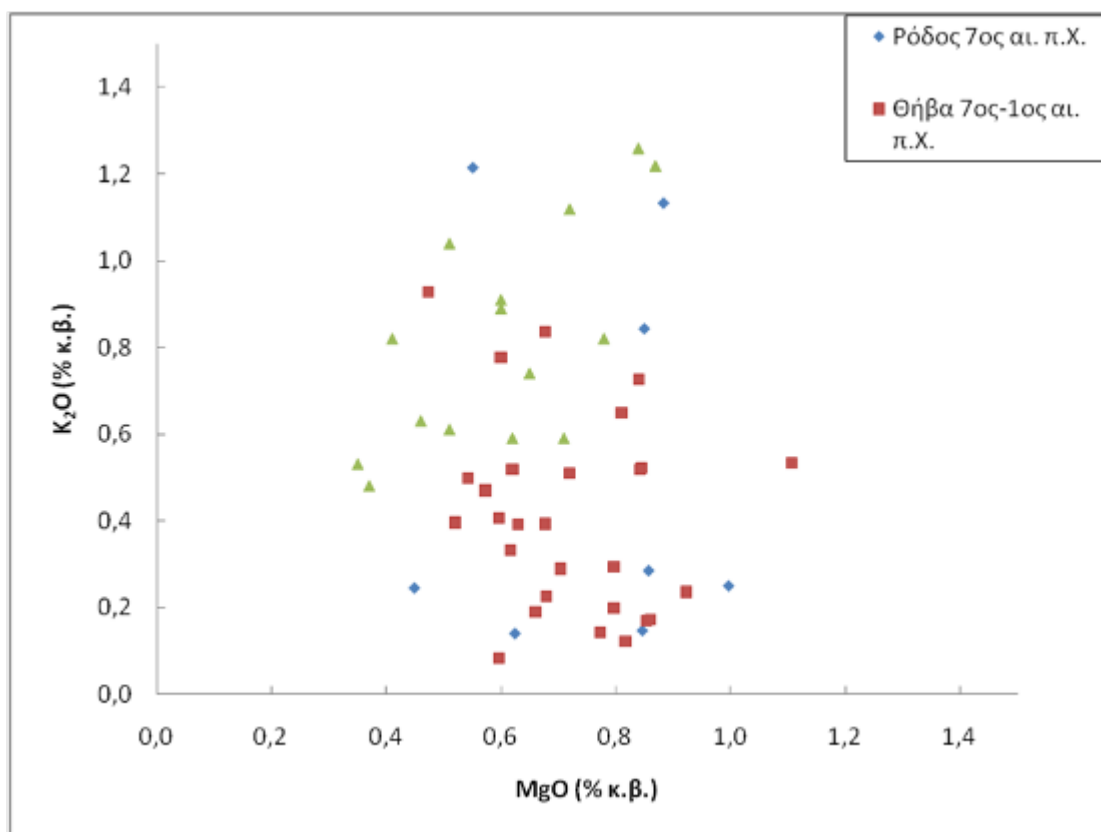
Η αλλαγή της πρώτης ύλης του αλκαλικού οξειδίου για την ανατολική Μεσόγειο τοποθετείται από τον Henderson στο 800 π.Χ. περίπου (Henderson 2000), ενώ κατά τους Sayre και Smith η αλλαγή αυτή τοποθετείται στον 7^ο και 6^ο αι. π.Χ. (Sayre and Smith

1961). Τα δείγματα από τη Ρόδο χρονολογούνται όλα στο 640-600 π.Χ. και η πρωταρχική ύαλος, από την οποία τα περισσότερα έχουν δημιουργηθεί, έχει για πρώτη ύλη αλκαλικού οξειδίου την τέφρα φυτών. Αν υποθέσουμε πως η μετάβαση δεν έγινε αυτόματα, αλλά διήρκησε μερικές δεκαετίες, τα δείγματα από τη Ρόδο είναι συμβατά με την υπόθεση των Sayre και Smith. Η σύσταση της τέφρας φυτών μπορεί να διαφέρει σημαντικά από φυτό σε φυτό (Barkoudah and Henderson 2006) και τέφρες με σύσταση που πλησιάζουν τη σύσταση του νάτρον μπορεί να κάνουν τη μετάβαση από τη μία τεχνολογία στην άλλη πιο εύκολη. Κύρια πηγή της αρχαιότητας σε νάτρον υπήρξε, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η κοιλάδα του Νατρίου στην Αίγυπτο η οποία αναφέρεται από τον Πλίνιο ως πηγή νάτρον (Πλίνιος, *Φυσική Ιστορία*). Στην περίπτωση της Ρόδου η μετάβαση στην τεχνολογία του νάτρον δεν έγινε πριν η Ρόδος αποκτήσει εύκολη και συστηματική πρόσβαση στην Αίγυπτο. Η πρόσβαση αυτή πιθανότατα πρέπει να συνδέεται με την ίδρυση στην Αίγυπτο της πόλης Ναύκρατις¹ στα μέσα του 7^{ου} αι. π.Χ. (Ignatiadou et al 2003).

Στο παρακάτω διάγραμμα (γράφ. 3), εκτός από τα δείγματα της Ρόδου και της Θήβας, που μελετώνται στην παρούσα εργασία, παρουσιάζονται επιπλέον και δείγματα από τη Ρόδο του 3^{ου}-1^{ου} αι. π.Χ. που έχουν αναλυθεί από τον Brill² (Brill 1999). Σε αυτά τα δείγματα είναι φανερό ότι γίνεται χρήση νάτρον και η χρήση τέφρας φυτών έχει πλέον εκλείψει.

¹ Η Ναύκρατις ήταν μία αρχαία ελληνική αποικία στην Αίγυπτο, κοντά στον κανωβικό βραχίονα του Νείλου, στην περιοχή της Σαΐδας, 75 χμ ΝΑ της Αλεξάνδρειας. Ιδρύθηκε περί τα μέσα του 7^{ου} αι. π.Χ. από τους Μιλήσιους μισθοφόρους του Ψαμμίτιχου Α΄ και υπήρξε σημαντικό εμπορικό κέντρο.

² Οι αναλύσεις έγιναν σε δείγματα ψήφων και άλλων υάλινων αντικειμένων από το ελληνιστικό υαλουργείο της Ρόδου, τα οποία χρονολογούνται στον 3^ο-2^ο αι. π.Χ. (Brill 1999).



Γράφημα 3: Με ▲ συμβολίζονται δείγματα της Ρόδου του 3^{ου}-1^{ου} αι. π.Χ. τα οποία έχουν αναλυθεί από τον Brill (Brill 1999).

Αλκαλικές γαίες

Τρίτο βασικό συστατικό στην αρχαία υαλουργία είναι κάποιο οξείδιο αλκαλικής γαίας. Τα οξείδια αυτά είναι δύο (CaO και MgO) και προστίθενται στην ύαλο είτε ως ξεχωριστή πρώτη ύλη είτε ως πρόσμειξη. Βασική τους χρήση είναι να λειτουργούν ως σταθεροποιητές πλέγματος στη βασική ύαλο, να την προστατεύουν από φαινόμενα διάβρωσης και να αποτρέπουν φαινόμενα κρυστάλλωσης.

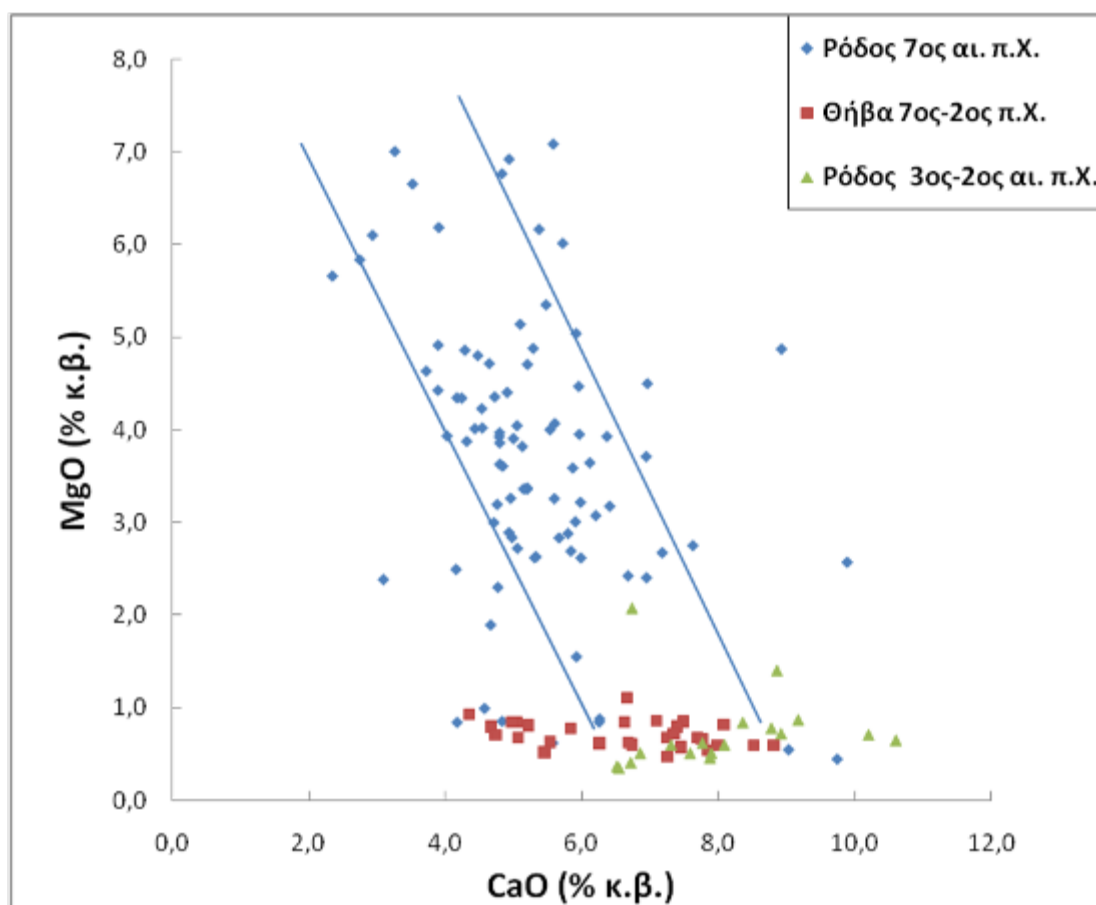
Ο ασβεστίτης (αγγλ. calcite) (CaCO₃) (O'Donoghue 1991· MacKenzie and Adams 1994) είναι η βασική πηγή του CaO στην αρχαία υαλουργία. Ο ασβεστίτης είναι ορυκτό του ασβεστίου και κύριο συστατικό πολλών πετρωμάτων του γήινου φλοιού. Η ονομασία καλσίτης προέρχεται από το Λατινικό "*calx*" = "ασβέστης", όρος ο οποίος ίσως ανάγεται στο αρχαίο ελληνικό «χάλιξ». Αποτελεί το κύριο συστατικό των κελυφών πολλών οργανισμών (εχινόδερμων, μαλακίων, κοραλιών κ.λπ.), των περιβλημάτων των αβγών ερπετών και πτηνών και των σκελετών των περισσότερων σπονδυλωτών. Ανευρίσκεται

παγκοσμίως και αποτελεί το βασικό συστατικό των ασβεστολίθων, των μαρμάρων καθώς και των σταλακτιτών / σταλαγμιτών των σπηλαίων. Λόγω των ποικίλων τρόπων σχηματισμού του - είναι ιζηματογενούς προέλευσης - έχουν περιγραφεί περισσότερες από 800 διαφορετικές μορφές του (Mindat.org 2010).

Το οξείδιο του μαγνησίου προέρχεται κυρίως από το μαγνησίτη (MgCO_3). Ο μαγνησίτης ή λευκόλιθος είναι ανθρακικό ορυκτό του μαγνησίου. Το όνομά του προέρχεται από το μαγνήσιο (βασικό συστατικό του) ή από το χρώμα του (λευκός λίθος). Αποτελεί ένα από τα πλέον σημαντικά ορυκτά του μαγνησίου. Ανευρίσκεται σε εξαλλοιώσεις σερπεντινών ή περιδοτίτη. Αποτελεί, επίσης, πρωτογενές ορυκτό ιζηματογενών και εκρηξιγενών πετρωμάτων. Στην Ελλάδα σημαντικά μελετημένα δείγματα απαντούν στη Μαγνησία, στη Χαλκιδική και στη Λέσβο.

Το μαγνήσιο μπορεί να προέρχεται επίσης και από δολομιτικές πηγές. Ο δολομίτης ($\text{MgCO}_3\text{CaCO}_3$) (O'Donoghue 1991) είναι ένα από τα βασικότερα μη πυριτικά πετρογενετικά ορυκτά. Αποτελεί κυρίαρχο συστατικό του ομώνυμου πετρώματος, το οποίο έχει ιζηματογενή προέλευση και ιδιαίτερα διαδεδομένο, από το οποίο σχηματίζονται ολόκληρα τμήματα ορέων. Ο δολομίτης σχηματίστηκε από διαγένεση ή υδροθερμική μετασμάτωση του ασβεστίτη σε υπεραλατούχες ιζηματογενείς αποθέσεις. Ωστόσο, ανευρίσκεται και σε αρκετά μεταμορφωμένα πετρώματα, όπως το μάρμαρο και ως σχηματισμός σε υδροθερμικές φλέβες. Μακροσκοπικά μοιάζει ιδιαίτερα με τον ασβεστίτη (Zorzin 2000).

Η σχέση της περιεκτικότητας των δύο προαναφερθέντων οξειδίων στα δείγματα της εργασίας παριστάνεται στο παρακάτω διάγραμμα (γράφ. 4). Παρατηρείται η ύπαρξη δύο ξεχωριστών ομάδων, όπου τα δείγματα της Ρόδου εμφανίζουν μεγάλη διασπορά τιμών, ενώ τα αντίστοιχα της Θήβας είναι συγκεντρωμένα στο κάτω μέρος του γραφήματος. Στα τελευταία φαίνεται πως οι πηγές CaO και MgO δεν συσχετίζονται, δηλαδή παρατηρείται σχεδόν σταθερή τιμή MgO (από 0,47%-1,11% κ.β.), ενώ η τιμή του CaO κυμαίνεται (από 4,35% μέχρι 8,52% κ.β.).



Γράφημα 4: Διάγραμμα MgO - CaO για τα ροδιακά και θηβαϊκά δείγματα της εργασίας, καθώς και τα ροδιακά που έχουν αναλυθεί από τον Brill. Στα θηβαϊκά και τα ροδιακά του 3^{ου}-2^{ου} αι. π.Χ. παρατηρούμε χαμηλό ποσοστό MgO και αξιοποίηση πηγών CaO. Τα ροδιακά δείγματα του 7^{ου} αι. π.Χ. ορίζουν μία ζώνη η οποία έχει αρνητική κλίση.

Η περίπτωση της Ρόδου είναι περιπλοκότερη. Όπως παρατηρείται στο διάγραμμα, υπάρχει ένας αδρός συσχετισμός των δειγμάτων χαρακτηριζόμενος, όπως φαίνεται και από τις γραμμές, από αρνητική κλίση. Η αρνητική κλίση της ζώνης δείχνει μία τάση για συνδυασμό δύο τύπων πηγών αλκαλικών γαιών, ενός τύπου πλούσιου σε CaO και ενός τύπου πλούσιου σε MgO, που τις χρησιμοποιούσαν ως ισοδύναμες (άρα είτε έβαζαν αρκετό υλικό από την μία πηγή και λίγο από την άλλη είτε το αντίστροφο κ.λπ.). Εάν γίνει δεκτή η πλέον απλή υπόθεση, δηλαδή η χρήση δύο πηγών σταθερής σύστασης, τότε θα έπρεπε να φαίνεται μία ευθεία γραμμή σταθερής αρνητικής κλίσης και όχι μία ζώνη αρνητικής κλίσης. Το μεγάλο εύρος της ζώνης υποκρύπτει διάφορα περίπλοκα σενάρια (ποικιλία σύστασης κάθε πηγής, περισσότερες από δύο πηγές

αλκαλικής γαίας) ακόμα και σενάρια ανακύκλωσης των υάλων, φαινόμενο πολύ συχνό στην αρχαιότητα και κυρίως στις ψήφους (Τριανταφυλλίδης 2001). Επιπλέον παρατηρούνται 6 δείγματα από τη Ρόδο τα οποία βρίσκονται στην περιοχή των δειγμάτων της Θήβας. Πρόκειται για τα ίδια δείγματα που εντοπίζονται στην περιοχή της Θήβας και στο γράφημα 3. Όπως έχει προαναφερθεί τα δείγματα αυτά έχουν κατασκευαστεί με χρήση διαφορετικών πρώτων υλών και βρίσκονται μάλλον στο μεταίχμιο της αλλαγής της τεχνολογίας υάλου. Δείγματα ψήφων, που έχουν αναλυθεί από τον Brill (Brill 1999) και προέρχονται από τη Ρόδο, αλλά είναι μεταγενέστερα των δειγμάτων της παρούσας εργασίας, δείχνουν να έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά με αυτά που προέρχονται από τη Θήβα (γράφ. 4).

Δευτερεύοντα στοιχεία

Τα υπόλοιπα δευτερεύοντα στοιχεία είναι τα εξής οξείδια: Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SO_3 , CuO και CoO . Τα δύο πρώτα συνήθως αποτελούν προσμείξεις των πρώτων υλών και κυρίως της άμμου, χωρίς βέβαια να αποκλείεται και η ηθελημένη προσθήκη. Το Al_2O_3 χρησιμοποιείται κυρίως για να προσδώσει αντοχή στη διάβρωση της υάλου, ενώ το Fe_2O_3 χρησιμοποιείται κυρίως για τον χρωματισμό της. Τα CuO και CoO είναι οξείδια χρωματιστές. Προσδίδουν στην ύαλο, ανάλογα με το ποσοστό τους, χρωματικούς τόνους από μπλε-πράσινο (τουρκουάζ) μέχρι βαθύ μπλε.

Al_2O_3 .

Η προέλευση του Al_2O_3 στην αρχαία υαλουργία αποτελεί μέχρι και σήμερα αντικείμενο συζητήσεων (Dussubieux et al 2010). Πρόκειται για οξείδιο που υπάρχει στις αρχαίες υάλους και η τυπική του σύσταση είναι παρόμοια με τιμές σύγχρονων υάλων. Τυπικές τιμές Al_2O_3 από διάφορες αναλύσεις παριστάνονται στον παρακάτω πίνακα (πίν. 5).

Ανάλυση	Τοποθεσία	Χρονολογία δειγμάτων	Ελάχιστη τιμή Al_2O_3	Μέγιστη τιμή Al_2O_3	Μέσος όρος Al_2O_3
Shortland and Eremin 2006	Αίγυπτος και Μεσοποταμία	2 ^η χιλιετία	0,4	4,7	0,78
Brill 1999	Hasanlu	11 ^{ος} – 9 ^{ος} αι. π.Χ.	0,75	4,53	1,99
Brill 1999	Chotin	8 ^{ος} -5 ^{ος} αι. π.Χ.	1,33	2,34	1,81
Hall and Yablonsky 1997	Pokrovka Russia	4 ^{ος} -2 ^{ος} αι. π.Χ.	2,19	2,92	2,45
Freestone et al 2002	Maroni Petrera Κύπρος	Βυζαντινά	2,12	3,23	2,81
Nicholson and Shaw 2000	Amarna, Αίγυπτος	18 ^{ης} Δυναστείας	0,5	5,9	1,55

Πίνακας 5: Διάφορες χημικές αναλύσεις υάλων και τα ποσοστά αργιλίας (Al_2O_3) που έχουν εντοπιστεί.

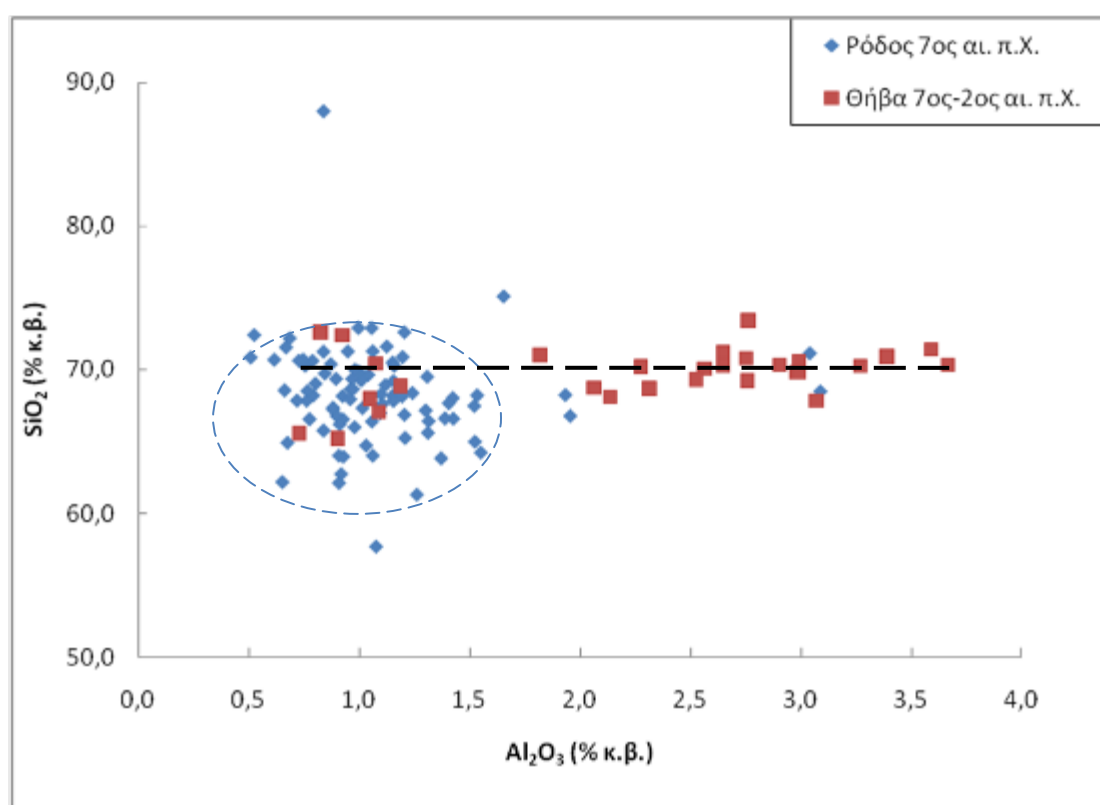
Στην παρούσα μελέτη το Al_2O_3 για τα δείγματα της Ρόδου κυμαίνεται από 0,51%-3,09% κ.β. με μέσο όρο 1,09% κ.β., ενώ οι αντίστοιχες τιμές για τα δείγματα που προέρχονται από τη Θήβα είναι 0,73%-3,67% κ.β. με μέσο όρο 2,27% κ.β. Παρατηρείται ότι ο μέσος όρος των δειγμάτων από τη Θήβα είναι διπλάσιος από τον αντίστοιχο της Ρόδου. Συχνά σε αρχαίες υάλους το Al_2O_3 προέρχεται από τις πρώτες ύλες ως πρόσμειξη και αποτελεί κυρίως πρόσμειξη της άμμου. Πιθανές προσμείξεις, που έχουν βρεθεί σε άμμο, η οποία χρησιμοποιείται στην υαλουργία, και προσδίδουν στην ύαλο Al_2O_3 , μπορεί να είναι: ο επίδοτος ($Ca_2(Al,Fe)3SiO_4$) που προσδίδει αργιλία και σίδηρο ή/και οι άστριοι που προσδίδουν, εκτός από αργιλία, ασβέστιο, νάτριο και ποτάσα (Henderson 1985). Άλλοι πιθανοί τρόποι εισαγωγής της αργιλίας στην ύαλο μπορούν να θεωρηθούν οι διάφοροι τρόποι επεξεργασίας των πρώτων υλών πριν την τήξη της τελικής υάλου³, καθώς επίσης και πιθανή επιμόλυνση της τελικής υάλου από τα δοχεία τήξης (Forbes 1966).

³ Αναφέρεται στη βιβλιογραφία η ύπαρξη δύο σταδίων μέχρι την τελική παραγωγή υάλου που στα στάδια αυτά εμπεριέχεται και η κονιορτοποίηση της αρχικής «υάλου» (Stern and Nolte 1994).

Ενδιαφέροντα στοιχεία προκύπτουν από τη μελέτη δισδιάστατων γραφημάτων του Al_2O_3 σε σχέση με άλλα οξείδια, όπως το SiO_2 , το MgO , το Fe_2O_3 και το K_2O . Παράλληλα εξετάζονται και οι πιθανές πρώτες ύλες των συγκεκριμένων οξειδίων.

Al_2O_3 - SiO_2

Όπως έχει αναφερθεί, μία από τις πιο συχνές πηγές του Al_2O_3 είναι η άμμος στην οποία βρίσκεται ως πρόσμειξη. Η άμμος αποτελείται κατά μεγάλο ποσοστό από SiO_2 . Στο παρακάτω διάγραμμα (γράφ. 5) παριστάνεται η σχέση των δύο οξειδίων.



Γράφημα 5: Συσχετισμός του Al_2O_3 με το βασικό συστατικό των υάλων SiO_2 για τις δύο ομάδες δειγμάτων.

Στο παραπάνω γράφημα (γράφ. 5) ξεχωρίζουν οι δύο κύριες ομάδες των δειγμάτων. Τα δείγματα της Ρόδου (μπλε έλλειψη) δείχνουν να έχουν σχετικά συγκεντρωμένες τιμές τόσο στο SiO_2 όσο και στο Al_2O_3 . Το SiO_2 κυμαίνεται από ~60%-75%⁴, ενώ το Al_2O_3 έχει μέσο όρο περίπου στη μονάδα (μ.ό. 1,01% κ.β.⁵). Τα δείγματα

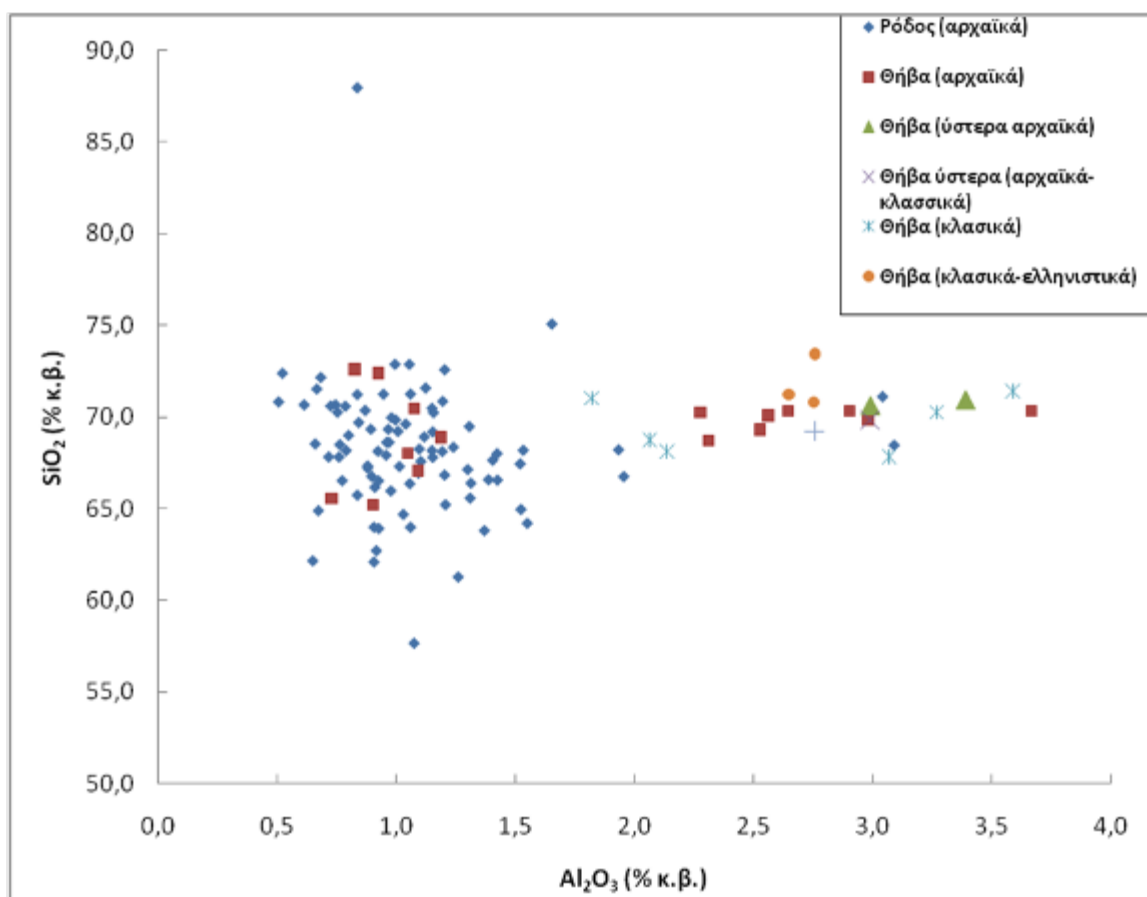
⁴ Δύο δείγματα είναι εκτός της έλλειψης και έχουν τιμές SiO_2 87,97% και 57,68% κ.β.

⁵ Η τιμή αυτή υπολογίστηκε χωρίς να ληφθούν υπόψη τα 5 δείγματα που έχουν $\text{Al}_2\text{O}_3 > 1,5\%$ κ.β.

της Θήβας παρουσιάζουν μία εντελώς διαφορετική εικόνα. Το ποσοστό σε SiO_2 φαίνεται να είναι σταθερό και κοντά στο 70%, ενώ το Al_2O_3 κυμαίνεται από 0,8% μέχρι 3,7%. Υποθέτοντας πως κύρια πηγή Al_2O_3 είναι η άμμος (θεωρείται ότι η άμμος είναι ανάλογη του SiO_2), οι τιμές του Al_2O_3 για τη Ρόδο είναι τυπικές τιμές προσμείξεων (στη βιβλιογραφία αναφέρεται το $\text{Al}_2\text{O}_3 < 1\%$: Nicholson and Shaw 2000). Εξαίρεση αποτελούν τα 5 δείγματα που έχουν τιμές $\text{Al}_2\text{O}_3 > 1,5\%$ κ.β. (δείγματα R.13, R.27, R.34, R.66, R.68). Ενδεχομένως τα δείγματα αυτά προέκυψαν είτε με τη χρήση διαφορετικής άμμου (διαφορετικά ποσοστά προσμείξεων) είτε με την προσθήκη επιπλέον αργιλίας από άγνωστη πηγή. Επίσης τιμές Al_2O_3 μεγαλύτερες από το 1,5% και κυρίως με μέσο όρο $> 2,5\%$ απαντώνται σε υάλους μεταγενέστερων χρόνων (Κλασική-Ελληνιστική εποχή) (Nicholson and Shaw 2000). Σε δείγματα της Ρόδου του 3^{ου} και 2^{ου} αι. π.Χ., τα οποία έχουν αναλυθεί από τον Brill, είναι φανερή η αυξημένη ποσότητα σε Al_2O_3 ⁶ (μ.ό. 1,84% κ.β.) (Brill 1999).

Τα δείγματα από τη Θήβα παρουσιάζουν μία διαφορετική εικόνα. Αυτά έχουν μία εικόνα με σχεδόν σταθερή τιμή SiO_2 (μαύρη διακεκομμένη ευθεία γραμμή) περίπου στο 70% κ.β. (μ.ό. 69,85% κ.β.), ενώ οι τιμές του Al_2O_3 κυμαίνονται. Γενικά αλλά όχι απαραίτητα η σταθερή τιμή στο SiO_2 μπορεί να οφείλεται στη χρήση κοινής άμμου σε όλες τις περιπτώσεις. Το γεγονός της διασποράς των τιμών σε Al_2O_3 είναι δυνατό να εξηγηθεί με σενάρια ηθελημένης προσθήκης αργιλίας. Ειδικά για τα δείγματα της Θήβας, πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη ότι εκτείνονται σε μεγάλη χρονική διάρκεια, καθώς χρονολογούνται από την Αρχαϊκή έως την Ελληνιστική εποχή. Υπάρχει δηλαδή ένα χρονικό εύρος περίπου 5 αιώνων κατά τη διάρκεια των οποίων η υαλουργία εξελίσσεται. Στο παρακάτω διάγραμμα (γράφ. 6) παρουσιάζονται τα δείγματα της Θήβας ανάλογα με τη χρονολογία τους. Είναι φανερό πως τα δείγματα της Θήβας με ποσοστό $\text{Al}_2\text{O}_3 > 1,5\%$ κ.β. είναι μεταγενέστερα (δηλ. τα κλασικά και τα ελληνιστικά) σε αντίθεση με 8 αρχαϊκά δείγματα, 2 ύστερα αρχαϊκά και 1 ύστερο αρχαϊκό-κλασικό. Αυτό σημαίνει ότι εμπίπτουν στο πιο πάνω σενάριο που θέλει τα μεταγενέστερα να έχουν υψηλότερα ποσοστά αργιλίας, χωρίς βέβαια να αποκλείεται και το σενάριο της ηθελημένης προσθήκης.

⁶ Παρόμοιες τιμές παρατηρούμε και σε αναλύσεις ρωμαϊκής υάλου, π.χ. ρωμαϊκές υάλους από την Jalame έχουν μ.ό. Al_2O_3 2,67% κ.β.

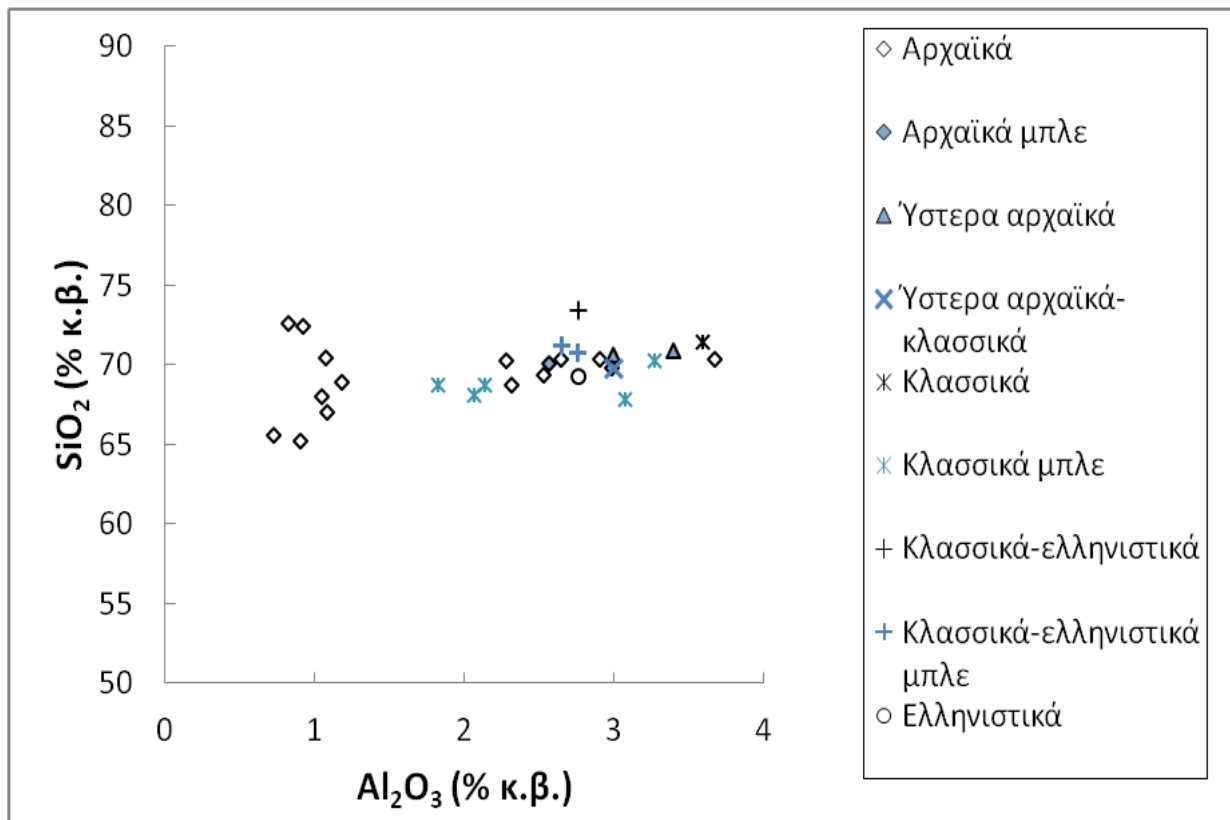


Γράφημα 6: Συσχετισμός του Al_2O_3 με το βασικό συστατικό των υάλων SiO_2 για τις δύο ομάδες δειγμάτων σε σχέση με τη χρονολόγησή τους.

Στο παρακάτω διάγραμμα (γράφ. 7) παρουσιάζονται τα δείγματα της Θήβας τόσο χρονολογικά όσο και σε σχέση με το χρώμα. Τα σημεία με μπλε χρώμα αντιστοιχούν σε δείγματα μπλε απόχρωσης (από μπλε-πράσινο έως σκούρο μπλε). Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα, όλα τα δείγματα μπλε απόχρωσης εντοπίζονται σε περιοχή με αυξημένο Al_2O_3 . Το μπλε χρώμα στην υαλουργία οφείλεται στον εντοπισμό συγκεκριμένων οξειδίων τα οποία υπάρχουν σε μικρές ποσότητες. Τα οξείδια αυτά είναι κυρίως το CoO και/ή το CuO . Στα περισσότερα από τα μπλε⁷ δείγματα εντοπίζονται μικρές ποσότητες CoO και σε ορισμένες μελέτες έχει προταθεί, με βάση το θετικό συσχετισμό $\text{CoO-Al}_2\text{O}_3$, πως βασική και κύρια πηγή κοβαλτίου είναι η εισαγωγή στη βασική ύαλο πηγής Co που περιέχει αργιλία (Shortland et al 2006· Kaczmarczyk 1986· Henderson 1985· Farnsworth

⁷ Με τον όρο μπλε στο εξής θα αναφέρονται δείγματα απόχρωσης μπλε (από μπλε πράσινο έως βαθύ μπλε) εκτός και αν αναφέρεται διαφορετικά.

and Ritchie 1938). Ιδιαίτερα για τα μπλε δείγματα της Θήβας είναι πιθανή η σύνδεση Co και (πρόσθετης) αργιλίας. Για τα υπόλοιπα δείγματα (σύνολο 7) τα οποία έχουν αυξημένες τιμές Al_2O_3 η πιθανότερη ερμηνεία είναι ότι προσετέθη ηθελημένα αργιλία στην μορφή στυπτηρίας, όπως υποδεικνύει και η ανάλυση του διαγράμματος $Al_2O_3 - K_2O$ (γράφ. 13). Επίσης παρατηρούνται και 8 δείγματα με τιμές αλούμινας κοντά στη μονάδα τα οποία χρονολογούνται στην Αρχαϊκή περίοδο και είναι παρόμοια με τα δείγματα της Ρόδου.

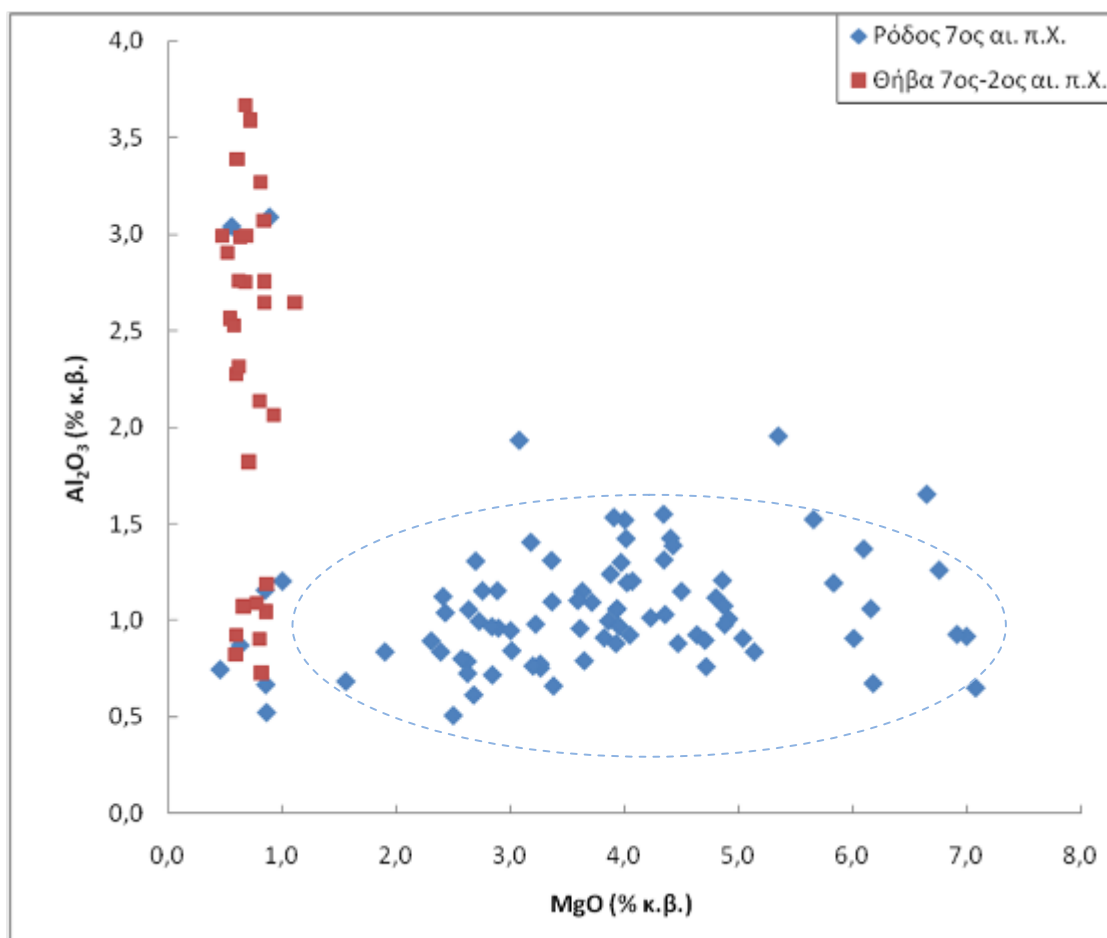


Γράφημα 7: Συσχετισμός του Al_2O_3 με το βασικό συστατικό των υάλων SiO_2 μόνο για τα δείγματα της Θήβας.

Al_2O_3 -MgO

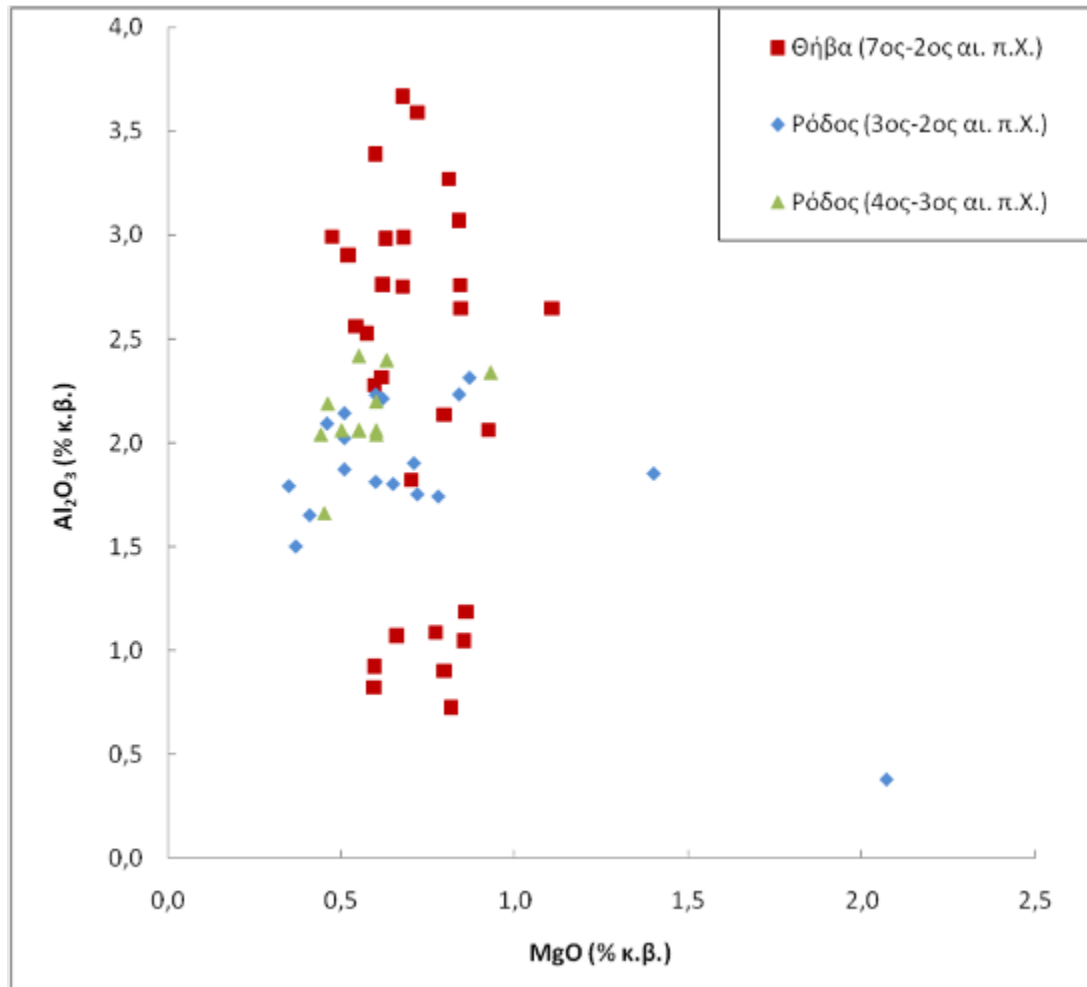
Στο παρακάτω διάγραμμα (γράφ. 8) ξεχωρίζουν δύο κύριες ομάδες δειγμάτων. Η πρώτη έχει σχεδόν σταθερή τιμή αργιλίας και κυμαινόμενα, αλλά γενικά υψηλά, ποσοστά μαγνησίου, ενώ στη δεύτερη ομάδα παρατηρείται ακριβώς το αντίθετο. Η πλειονότητα των δειγμάτων της Ρόδου του 7^{ου} αι. π.Χ. (78 από τα 86) ανήκουν στην

πρώτη ομάδα (μπλε έλλειψη), ενώ όλα τα δείγματα της Θήβας ανήκουν στη δεύτερη ομάδα.



Γράφημα 8: Συσχετισμός του Al_2O_3 με το MgO για τις δύο ομάδες δειγμάτων.

Η παρατήρηση της μεγάλης διασποράς των δειγμάτων της Θήβας σε σχέση με τις τιμές του Al_2O_3 στο γράφημα 8, οδηγεί στην υπόθεση ότι η παραγωγή των δειγμάτων υάλου από τη Θήβα είναι λιγότερο ελεγχόμενη. Απομονώνοντας τα δείγματα από τη Θήβα, και συγκρίνοντάς τα με δείγματα από τη Ρόδο του 4^{ου}-3^{ου} και του 3^{ου}-2^{ου} αι. π.Χ. αντίστοιχης τεχνολογίας (βασισμένα σε τεχνολογία χρήσης νάτρου) (γράφ. 9) προκύπτουν τα εξής: Τα δείγματα από τη Ρόδο φαίνεται να είναι πιο συγκεντρωμένα σε σχέση με αυτά της Θήβας. Το γεγονός ότι τα δείγματα της Θήβας έχουν τόσο μεγάλη διασπορά στις τιμές του Al_2O_3 μπορεί να εξηγηθεί με την επιπλέον προσθήκη αλούμινας στην κύρια ύαλο, πράγμα το οποίο γίνεται σαφέστερο με τη μελέτη των διαγραμμάτων $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ και $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-K}_2\text{O}$ (γράφ. 11-13).



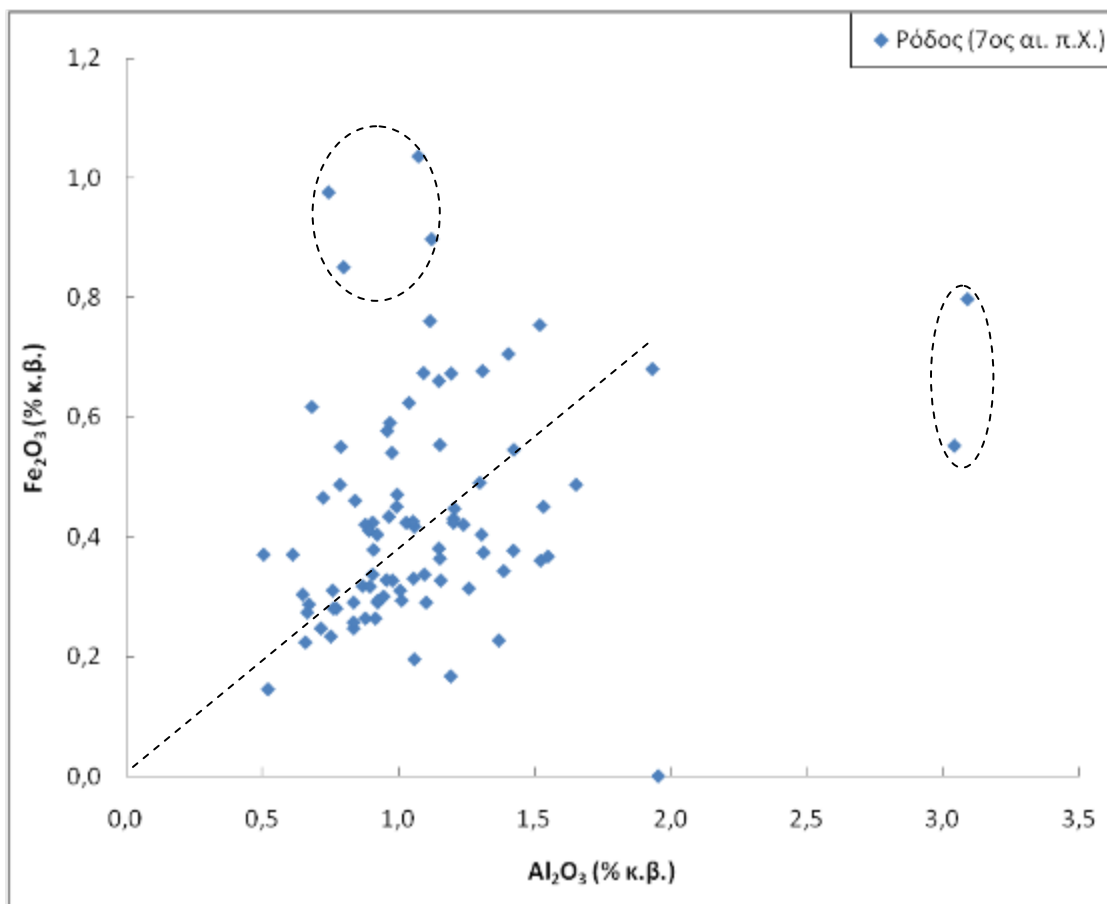
Γράφημα 9: Συσχετισμός του Al_2O_3 με το MgO για τα δείγματα της Θήβας συγκρινόμενος με αντίστοιχο συσχετισμό δειγμάτων από τη Ρόδο ίδιας τεχνολογίας (τεχνολογίας νάτρον) από άλλες αναλύσεις (Brill 1999).

$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$

Τα δύο αυτά οξείδια συνήθως συνδέονται με τις προσμείξεις των πρώτων υλών και κυρίως με τις προσμείξεις της άμμου (Nicholson and Shaw 2000). Υπάρχουν περιπτώσεις όπου τα ποσοστά των δύο αυτών οξειδίων είναι αυξημένα χωρίς η αιτιολόγηση να είναι συμβατή με το σενάριο της πρόσμειξης. Στην περίπτωση του Al_2O_3 αυτό γίνεται έμμεσα με την προσθήκη στην κύρια ύαλο αργιλίας που περιέχει Co για το χρωματισμό της υάλου (Shortland et al 2006, Rehren 2001). Έχουν επίσης εντοπιστεί και αυξημένα ποσοστά Fe_2O_3 , στα οποία αποδίδεται ο ιδιαίτερος χρωματισμός της υάλου (σκούρος πράσινος, σκούρος καφέ και μαύρος) (Henderson 1985). Ο χρωματισμός της υάλου από το Fe_2O_3 εξαρτάται κυρίως από δύο παράγοντες: από την ατμόσφαιρα που

επικρατεί μέσα στον υαλοκλίβανο (οξειδωτική ή αναγωγική), και από την ύπαρξη δισθενούς ή τρισθενούς σιδήρου (Fe^{+2} και Fe^{+3}) (Henderson 2000).

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται τα δείγματα της Ρόδου (γράφ. 10).



Γράφημα 10: Fe_2O_3 - Al_2O_3 για τα δείγματα από τη Ρόδο του 7^{ου} αι. π.Χ. Στο διάγραμμα παρατηρείται τάση για θετική συσχέτιση και έχει χαραχθεί ενδεικτική ευθεία με θετική κλίση.

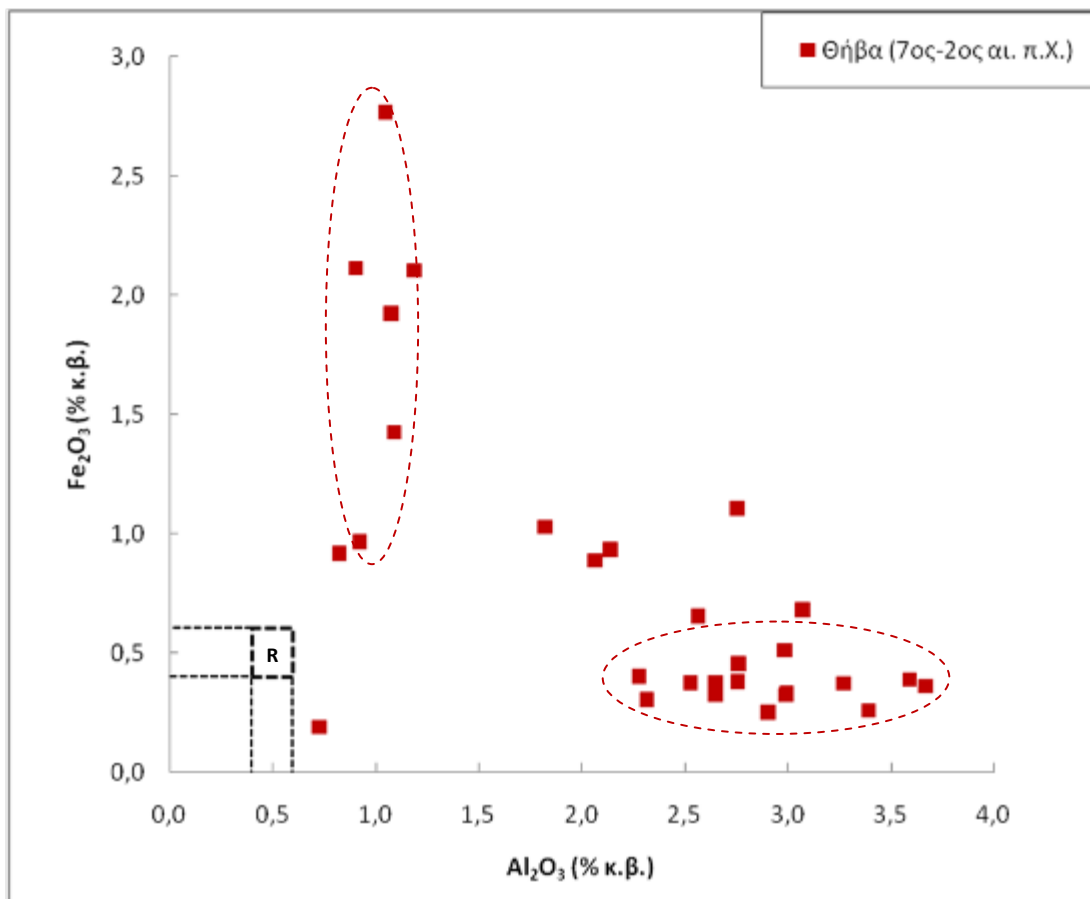
Η παρατήρηση του γραφήματος 10 υποδεικνύει ότι στην πλειονότητα των δειγμάτων τα δύο οξείδια εμφανίζουν θετική, αν και όχι ιδιαιτέρως ισχυρή, συσχέτιση. Προτείνεται λοιπόν ότι στην πλειονότητα των περιπτώσεων τα δύο οξείδια συνιστούν συχνά σχετιζόμενες προσμείξεις οι οποίες είτε εντοπίζονται στις πηγές πυριτίου, δηλαδή στην άμμο, είτε προέρχονται από τα διάφορα σκεύη τήξης και επεξεργασίας της υάλου, όπως χωνευτήρια, πλάκες λείανσης κ.ά., που ήταν κατασκευασμένα από άργιλο ή πηλό (Walton et al 2009).

Επίσης στο γράφημα 10 σημειώνονται εντός ελλείψεων δύο ιδιαίτερες μικρές ομάδες δειγμάτων. Η πρώτη περιέχει τέσσερα δείγματα (R30, R41, R72, R82) τα οποία έχουν ποσοστό σιδήρου $1,0 \pm 0,2 \%$ Fe_2O_3 , το οποίο είναι σημαντικά πιο ψηλό από τα υπόλοιπα. Τα συγκεκριμένα δείγματα είναι πράσινου χρώματος με μία απόχρωση, η οποία δικαιολογεί αυτό το υψηλό ποσοστό σιδήρου. Τέλος, στη δεύτερη ομάδα ανήκουν 2 δείγματα (R13 και R34) με υψηλό ποσοστό αργιλίας (περίπου 3,1%) και είναι δυνατόν να έχουν διαφορετική προέλευση. Η διαφορετικότητα των δύο αυτών δειγμάτων είχε προαναφερθεί (βλ. σ. 89), όπου διαπιστώθηκε διαφοροποίηση σε σχέση με το σύνολο των δειγμάτων από τη Ρόδο.

Η περίπτωση των δειγμάτων της Θήβας είναι μία εντελώς διαφορετική περίπτωση. Η εικόνα που παρουσιάζουν στο αντίστοιχο διάγραμμα (γράφ. 11) είναι διαφορετική σε σχέση με αυτή της Ρόδου.

Στο γράφημα 11 για τα δείγματα της Θήβας διακρίνονται δύο κύριες ομάδες. Η πρώτη ομάδα παρουσιάζει Fe_2O_3 $0,40 \pm 0,20 \%$, επίπεδο τυπικό προσμείξεων (Brill 1999) και υψηλά επίπεδα $\text{Al}_2\text{O}_3 > 2,0 \%$. Η δεύτερη ομάδα παρουσιάζει αυξημένο ποσοστό οξειδίου του σιδήρου, και πιθανώς αυτό αντανάκλα ηθελημένες προσμείξεις με στόχο συγκεκριμένους χρωματισμούς. Είναι γνωστό πως χρώματα, όπως το σκούρο καφέ και το μαύρο, επιτυγχάνονται με αυξημένα ποσοστά Fe_2O_3 (Henderson 1985). Η ύπαρξη των δύο αυτών ομάδων οδηγεί στην υπόθεση της ύπαρξης μίας υάλου αναφοράς R (Οικονόμου 2009· Οικονόμου κ.ά. 2011· Beltsios et al 2012). Σύμφωνα με την υπόθεση, η ύαλος αναφοράς έχει ποσοστά Al_2O_3 και Fe_2O_3 τυπικά προσμείξεων, δηλ. $\sim 0,4\% \pm 0,2$ ⁸.

⁸ Η υπόθεση πως το ποσοστό του Al_2O_3 , που οφείλεται σε προσμείξεις, έχει την τιμή $\sim 0,4 \pm 0,2$ για την ύαλο αναφοράς διαφαίνεται κατά τη μελέτη του διαγράμματος $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-K}_2\text{O}$ (γράφ. 13).



Γράφημα 11: Fe_2O_3 - Al_2O_3 για τα δείγματα από τη Θήβα. Δύο κύριες ομάδες ξεχωρίζουν: μία που παρουσιάζει σταθερό επίπεδο Fe_2O_3 το οποίο οφείλεται στις προσμείξεις των πρώτων υλών και κυμαινόμενο Al_2O_3 (οριζόντια έλλειψη) και η άλλη, η οποία παρουσιάζει σχεδόν σταθερό ποσοστό Al_2O_3 και κυμαινόμενο αλλά υψηλό ποσοστό Fe_2O_3 (κάθετη έλλειψη).

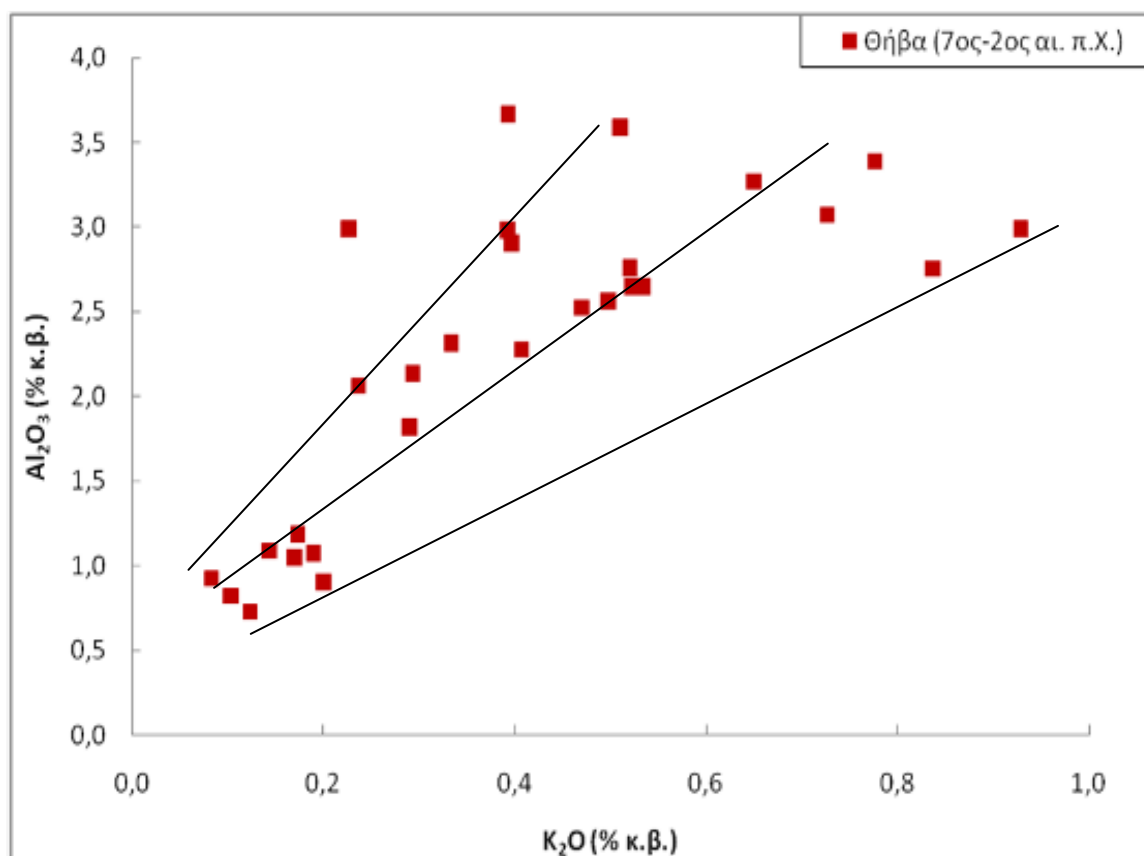
Η ύαλος αυτή έχει προετοιμαστεί με τα κύρια συστατικά (δηλ. άμμο και προσθήκη ενός αλκαλίου), ενώ τα προς μελέτη δείγματα προήλθαν με επιπλέον προσθήκη κάποιου υλικού. Έτσι τα δείγματα της πρώτης ομάδας φανερώνουν την προσθήκη ενός υλικού που τους προσδίδει αυξημένα ποσοστά Al_2O_3 (το Fe_2O_3 κυμαίνεται στις τιμές των προσμείξεων της υάλου αναφοράς), ενώ τα δείγματα της δεύτερης ομάδας προήλθαν, εκτός από την προσθήκη Al_2O_3 , με την επιπλέον προσθήκη Fe_2O_3 για τον έλεγχο του χρώματος⁹.

⁹ Τα πέντε από τα επτά δείγματα της δεύτερης ομάδας είναι μαύρου χρώματος, ενώ τα άλλα δύο είναι σκούρου πράσινου χρώματος, που δικαιολογούνται από το υψηλό ποσοστό Fe_2O_3 .

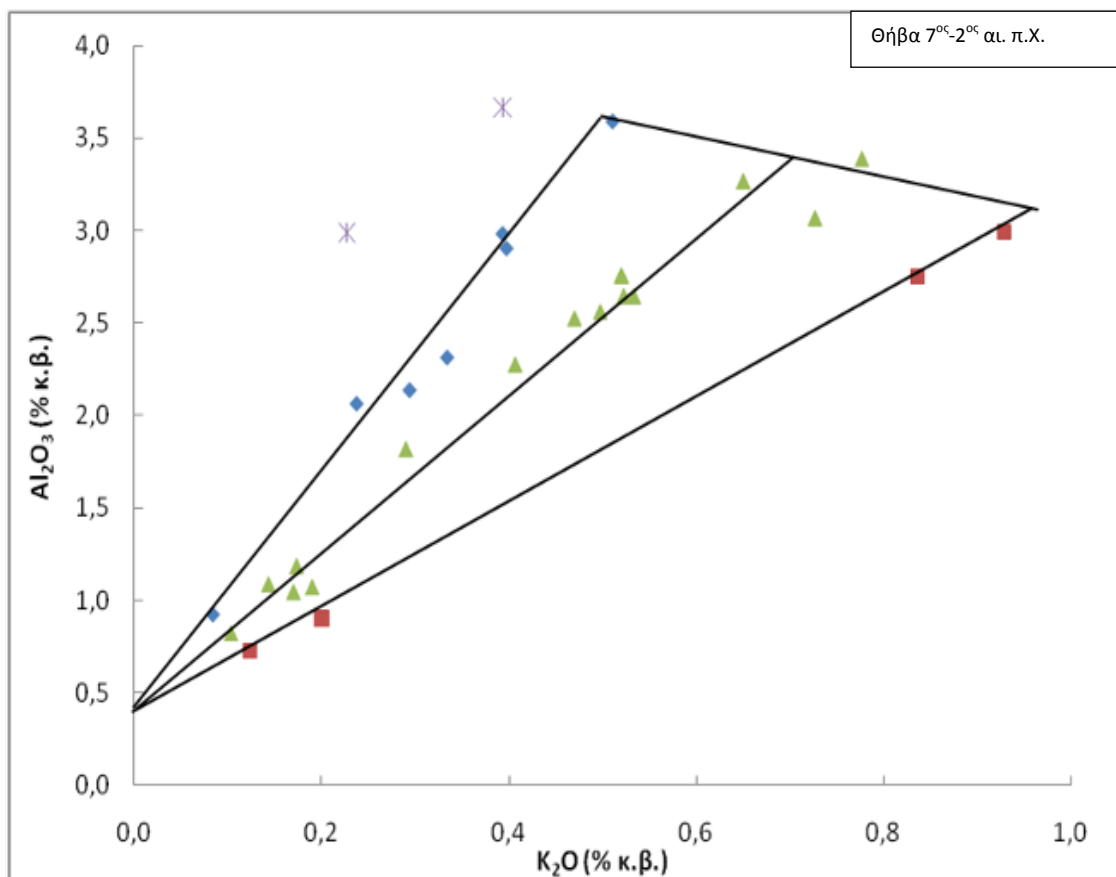
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-K}_2\text{O}$

Η πιθανότητα της ηθελημένης προσθήκης Al_2O_3 μπορεί να διερευνηθεί συστηματικά μέσω της μελέτης των δεδομένων από συστάσεις συσχετιζόμενων στοιχείων (όπως π.χ. Al_2O_3 και K_2O) από μία συγκεκριμένη περιοχή. Με το επόμενο διάγραμμα (γράφ. 12), στο οποίο παρουσιάζονται τα δείγματα της Θήβας, θα εξετασθεί η πιθανότητα ηθελημένης προσθήκης Al_2O_3 στις συγκεκριμένες υάλους.

Στο διάγραμμα αυτό παρατηρείται πως τα 27 από τα 29 δείγματα της Θήβας σχετίζονται μεταξύ τους με κάποιες ευθείες που έχουν θετική αλλά διαφορετική κλίση (γράφ. 12). Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται ένα τρίγωνο στο οποίο περικλείονται αυτά τα δείγματα. Παρατηρείται πως το τρίγωνο τέμνει τον άξονα Ψ περίπου στην τιμή



Γράφημα 12: Συσχετισμός Al_2O_3 με K_2O για τα υάλινα αντικείμενα της Θήβας.



Γράφημα 13: Al₂O₃ - K₂O για τα υάλινα αντικείμενα της Θήβας. Τα διαφορετικά χρώματα (μπλε, πράσινο, κόκκινο) δηλώνουν τις ευθείες με διαφορετική κλίση. Περισσότερα από τα μισά δείγματα πέφτουν πάνω ή κοντά στη διχοτόμο του τριγώνου, η οποία ίσως είναι αντιπροσωπευτική ενός συστατικού τύπου στυπτηρίας για τα δείγματα της Θήβας.

0,43%¹⁰. Η τιμή αυτή δικαιολογεί την τιμή του Al₂O₃, σύμφωνα με την υπόθεση της υάλου αναφοράς που υποδείχθηκε στο γράφημα 11. Επομένως η ύαλος αναφοράς, χωρίς την επιπλέον προσθήκη κάποιου δευτερεύοντος συστατικού, έχει περίπου 0,43% Al₂O₃ και (σχεδόν) μηδενική τιμή K₂O. Το τελευταίο δικαιολογείται επαρκώς αν λάβουμε υπόψη ότι οι ύαλοι είναι τύπου νατρίου και έχουν ως κύρια πηγή αλκαλίου το νάτριο. Επομένως και οι τιμές του K₂O οφείλονται πιθανώς σε διάφορες προσμείξεις. Τα δεδομένα, καθώς επίσης και η θεώρηση που προηγήθηκε, υποδεικνύουν την ηθελημένη προσθήκη ενός υλικού το οποίο περιέχει και Al₂O₃ και K₂O, ενώ το επιπλέον Al₂O₃ σε επίπεδα περίπου 0,43 ± 0,08 % είναι μέρος από τις προσμείξεις των υάλων (π.χ. από την

¹⁰Οι πιο ακριβείς ευθείες που περνάνε από τις τρεις ομάδες σημείων (μπλε, πράσινα, κόκκινα) τέμνουν τον άξονα ψ στα σημεία 0,42, 0,51 και 0,36 αντίστοιχα. Ο μ.ό. των τιμών αυτών είναι 0,43, ο οποίος λαμβάνεται υπόψη για την καλύτερη κατανόηση του γραφήματος 13.

άμμο). Από τα δεδομένα του γραφήματος 13 φαίνεται ότι ο λόγος των mole $\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{K}_2\text{O}$ του συστατικού που προστίθεται είναι πιθανότατα στην περιοχή του $5,5 \pm 2,5$. Υλικά, τα οποία περιέχουν και Al_2O_3 και K_2O και χρησιμοποιούνταν για πολλούς σκοπούς στην αρχαιότητα, ανήκουν στην οικογένεια των στυπτηριών (Πλίνιος, *Φυσική Ιστορία*, XXXV, 52) (Hall and Photos-Jones 2005). Η κυρίως στυπτηρία, η ένωση $(\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O})$, παρουσιάζει λόγο mole $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ ίσο με 1, ο αλουνίτης $((\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6))$ έχει λόγο mole ίσο με 3, ο μεικτός αλουνίτης (K/Na) $((\text{K}_{0.5}\text{Na}_{0.5})\text{Al}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2)$ έχει λόγο mole ίσο με 6. Τέλος ο νατροαλουνίτης (natroalunite $(\text{NaAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6)$) και ο μεντοζίτης (mendozite $\text{NaAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) περιέχουν μόνο νάτριο ως αλκάλιο (γι' αυτό το λόγο, ο λόγος mole που μας ενδιαφέρει παίρνει άπειρη τιμή). Επιπροσθέτως, συγκεκριμένα μείγματα συστατικών καθώς επίσης και αλλαγές στο λόγο των mole λόγω θέρμανσης (π.χ. οι απώλειες K_2O αυξάνονται καθώς αυξάνονται οι θερμοκρασίες του τήγματος), επιτρέπουν αβίαστα λόγους mole $\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{K}_2\text{O}$ όπως οι παρατηρούμενοι (Beltsios et al 2012).

Οι φιλολογικές πηγές (Διοσκουρίδης, *De Mat. Med.* E,106 και Πλίνιος, *Φυσική Ιστορία*, XXXV, 183-189) αναφέρουν τα νησιά των Κυκλάδων ως κύρια πηγή στυπτηρίας κατά την αρχαιότητα. Δεν είναι εύκολο να καθοριστεί το ακριβές συστατικό, αλλά τα προς μελέτη δεδομένα δείχνουν ότι στην περίπτωση της Θήβας έχει προστεθεί σκόπιμα ένα υλικό της οικογένειας των στυπτηριών ως δευτερεύον συστατικό. Ύστερα από μελέτη γεωλογικών χαρτών της ευρύτερης περιοχής της Θήβας δεν βρέθηκαν ενδείξεις για ύπαρξη στυπτηριών σε γεωλογικά στρώματα.

Μία εναλλακτική υπόθεση για κοινή πηγή των Al_2O_3 και K_2O είναι η υπόθεση της πρόσμειξης. Η πιο πιθανή πρόσμειξη είναι άστριοι που απαντώνται σε άμμους σε επίπεδα τα οποία δικαιολογούν τα ποσοστά του Al_2O_3 και K_2O που παρατηρούμε. Ωστόσο η υπόθεση των αστρίων συνεπάγεται την εμπλοκή ενός ευρύτατου φάσματος άμμων στη θηβαϊκή υαλουργία. Όμως κάθε άμμος έχει σχεδόν σταθερό επίπεδο αστρίων και για να δικαιολογηθεί το παρατηρούμενο φάσμα K_2O και Al_2O_3 θα έπρεπε η θηβαϊκή υαλουργία να προμηθεύεται «συστηματικά» πολύ διαφορετικές άμμους. Αυτό όχι μόνον δεν θα εξυπηρετούσε κάποια προφανή σκοπιμότητα, αλλά θα επηρέαζε ιδιαίτερα και την ποιότητα της υάλου, αφού άλλοι τύποι άμμου έχουν επίσης πολύ ασβέστιο CaCO_3 (πηγή CaO) και άλλοι λίγο, οπότε πολύ συχνά θα προέκυπτε είτε ύαλος πολύ ευαίσθητη

στην υγρασία είτε θα προέκυπτε εύκολα κρυσταλλώσιμο υλικό με αποτέλεσμα την καταστροφή των αντικειμένων. Συμπερασματικά το σενάριο των αστρίων συνεπάγεται έμμεσα παράδοση υαλουργική πρακτική με συχνές καταστροφικές συνέπειες και θα πρέπει να αποκλειστεί.

Στο έργο του Orpenheim σχετικά με τις συνταγές της αρχαίας μεσοποταμιακής υαλουργίας η προσθήκη στυπτηρίας εντοπίζεται σε δύο περιπτώσεις (Orpenheim et al 1970). Έτσι τα υλικά τύπου στυπτηρίας είναι πιθανώς δευτερεύουσες πρώτες ύλες. Επίσης η στυπτηρία αναφέρεται και στο μεσαιωνικό έργο *Mappae Clavicula* (Smith and Hawthorne 1974) σε δύο συνταγές που σχετίζονται με υάλους.

Το πλεονέκτημα της αντοχής των υάλων στην υγρασία με την προσθήκη ενός υλικού πηγής-αργιλίας, έχει εμπειρικά παρατηρηθεί πρόσφατα, αλλά δεν υπάρχει λόγος να δεχτούμε ότι αυτό δεν είχε διαπιστωθεί, έστω και περιστασιακά και κατά την αρχαιότητα. Εξάλλου το γεγονός ότι η χημική σύσταση των αρχαίων υάλων είναι πολύ κοντά στη χημική σύσταση των κοινών σύγχρονων υάλων προσφέρει μία ένδειξη για τις δυνατότητες της αρχαίας υαλουργικής τεχνολογίας.

4.3.2 Μελέτη ιχνοστοιχείων

Εισαγωγή

Η μελέτη των ιχνοστοιχείων τόσο των αρχαίων υάλων όσο και άλλων αρχαίων υλικών (κεραμικά, μέταλλα κ.ά.) δίνει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τις πρώτες ύλες που έχουν χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή των αρχαίων αντικειμένων. Τα ιχνοστοιχεία είναι στοιχεία του περιοδικού πίνακα τα οποία εντοπίζονται σε πολύ μικρές ποσότητες (σε ίχνη δηλαδή) της τάξης των μερικών μερών στο εκατομμύριο (ppm). Πρόκειται για στοιχεία τα οποία βρίσκονται ως προσμείξεις σε πρώτες ύλες, όπως χώμα, άμμος κ.ά. Είναι δυνατόν με τη μελέτη των ιχνοστοιχείων να εντοπιστούν ομάδες δειγμάτων ανάλογα με τη σύστασή τους. Τα πιο βασικά συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν μέσω της μελέτης των ιχνοστοιχείων αφορούν ζητήματα προέλευσης των αρχαίων αντικειμένων. Η βασική υπόθεση της προέλευσης βασίζεται στο αξίωμα ότι ένας μεγάλος αριθμός ιχνοστοιχείων δεν επηρεάζεται από τις υψηλές θερμοκρασίες που χρησιμοποιούνται στην αρχαία υαλουργία. Είναι πολλές οι σύγχρονες μελέτες που βασίζονται κυρίως στην ανάλυση των ιχνοστοιχείων για να απαντήσουν σε ζητήματα προέλευσης (Fleming and Swann 1987¹¹ Shortland et al 2007¹² Walton et al 2008¹³ Bertini et al 2011¹⁴ Polikreti et al 2011¹⁵).

Ένα σημαντικό μειονέκτημα που αφορά τη μελέτη των ιχνοστοιχείων στην υαλουργία είναι το θέμα της ανακύκλωσης. Στόχος και σκοπός της ανακύκλωσης των υλικών από την αρχαιότητα έως σήμερα είναι η ελαχιστοποίηση απορριμμάτων¹¹, η εκμετάλλευση της ενεργειακής αξίας καθώς και η φυσική επαναχρησιμοποίηση υλικών που ανακτήθηκαν από ένα συγκεκριμένο στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας ή από προϊόντα στο τέλος της χρήσιμης ζωής τους (Τριανταφυλλίδης 2001). Η ανακυκλωμένη ύαλος ήταν σε ευρεία χρήση με τη μορφή πολύ μικρών θραυσμάτων (κοκκοποίηση και λειοτρίβιση) μειώνοντας έτσι τα απορρίμματα και υποκαθιστώντας ικανοποιητικά πολλές φορές τις πρώτες ύλες. Οι ιδιαίτερες φυσικές και χημικές ιδιότητες της υάλου προσφέρουν σημαντικό βαθμό ρευστότητας, ποιότητας παραγωγής υάλου, καθώς και μείωση της θερμοκρασίας τήξης της υαλουργικής άμμου με αντίστοιχη επιτάχυνση των

¹¹ Στην Πανός Άκραν της αρχαίας Ρόδου μία από τις δημοσιονομικές προτεραιότητες ήταν και η ελαχιστοποίηση των απορριμμάτων με την επαναχρησιμοποίησή τους ή τη μεταποίησή τους.

πρώτων υλών. Ο Πλίνιος (*Φυσική Ιστορία*, XXXVI) αναφέρει : «Όταν το γυαλί σπάσει, μπορεί να συνδεθεί πάλι με τη βοήθεια της πυράκτωσης, δεν μπορεί όμως να τηχθεί πλήρως χωρίς να κονιορτοποιηθεί σε μικρά θραύσματα, τα οποία μπορούμε να δούμε στη διαδικασία κατασκευής των μικρών ψηφίδων, γνωστών ως αβακίσκων για τα ψηφιδωτά καλλιτεχνήματα». Οι έμπειροι υαλοτεχνίτες της αρχαίας Ρόδου για να εξοικονομήσουν ενέργεια χρησιμοποιούσαν ευρέως ανακυκλωμένη ύαλο ήδη από τους ύστερους αρχαϊκούς χρόνους. Επίσης θα πρέπει να τονιστεί ότι συμβολή στην ανακύκλωση της υάλου ήταν αυτή καθ' αυτή και η διαδικασία παραγωγής υάλου με το στάδιο της πυροσυσσωμάτωσης (fritting)¹². Κατά τη διάρκεια της πυροσυσσωμάτωσης πολύ συχνά χρησιμοποιούνταν και θρυμματισμένες ύαλοι σε πολύ μικρά κομμάτια, ώστε να είναι ευκολότερη η τήξη των πρώτων υλών. Αυτά τα κομμάτια έχουν προέλθει είτε από υαλοπλινθώματα είτε από θραυσμένα κομμάτια υάλου από ανακύκλωση.

Η ανακύκλωση των υάλων επηρεάζει πολύ τις χημικές αναλύσεις των ιχνοστοιχείων. Συνήθως οι τιμές των ιχνοστοιχείων όπως Cu, Co, Sr, Zr, Sb, Pb κ.ά. είναι υψηλότερες όταν πρόκειται για δείγματα τα οποία έχουν προέλθει από ανακύκλωση (Silvestri and Marcante 2011).

Επομένως η δυσκολία στην αξιοποίηση της μελέτης των ιχνοστοιχείων έγκειται στο γεγονός ότι οι τιμές τους επηρεάζονται πολύ από φαινόμενα, όπως η ανακύκλωση, και ως εκ τούτου η εξαγωγή απολύτως ασφαλών συμπερασμάτων τίθεται υπό συζήτηση.

Τα ιχνοστοιχεία που εντοπίστηκαν με τη βοήθεια του φορητού φασματομέτρου XRF είναι τα Ti, Mn, Co, Cu, Zn, Br, Rb, Sr, Zr, Zn, Sn, Sb, Pb και As. Οι τιμές των ιχνοστοιχείων κυμαίνονται από μερικά έως κάποιες χιλιάδες ppm. Αναλυτικά οι τιμές των ιχνοστοιχείων, που εντοπίστηκαν, παρουσιάζονται στο Παράρτημα (βλ. Παράρτημα II.1, II.2). Από τα 86 δείγματα της Ρόδου αναλύθηκαν τα 85 και από τα 29 δείγματα της Θήβας αναλύθηκαν τα 26. Τα υπόλοιπα δείγματα παρουσίαζαν δυσκολίες κατά την μέτρησή τους κυρίως λόγω μεγέθους και γι' αυτό το λόγο παραλείφθηκαν.

Στα 111 δείγματα, που αναλύθηκαν για τον εντοπισμό των ιχνοστοιχείων, το Sr εντοπίστηκε σε όλα, ενώ το Zr σε 95 δείγματα. Σε 71 δείγματα εντοπίστηκε Sb σε αρκετά

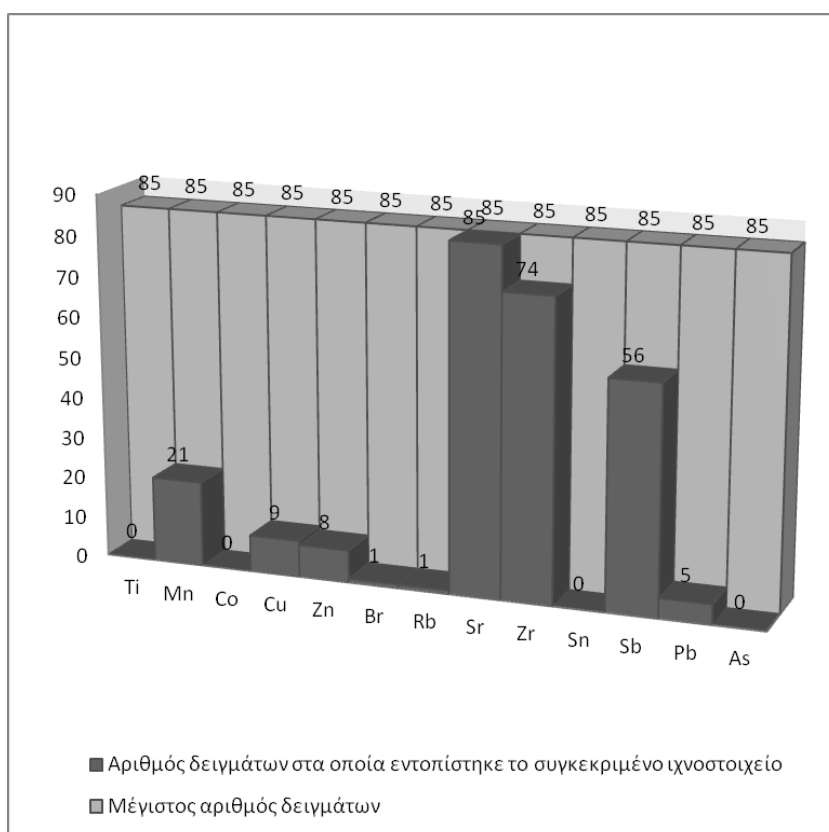
¹² Η παρατεταμένη προκαταρκτική θέρμανση των πρώτων υλών της υαλοποιίας με σκοπό την παρασκευή υάλου. Το υαλώδες προϊόν της πυροσυσσωμάτωσης (frit) μετά από ανόπτηση, λειοτριβείται και θερμαίνεται ώσπου να επιτευχθεί τήξη και να παραχθεί ύαλος (Ιγνατιάδου και Αντωνάρας 2008).

υψηλές τιμές (μερικές χιλιάδες ppm). Τα υπόλοιπα ιχνοστοιχεία εντοπίστηκαν σε λιγότερα δείγματα (πίν. 6).

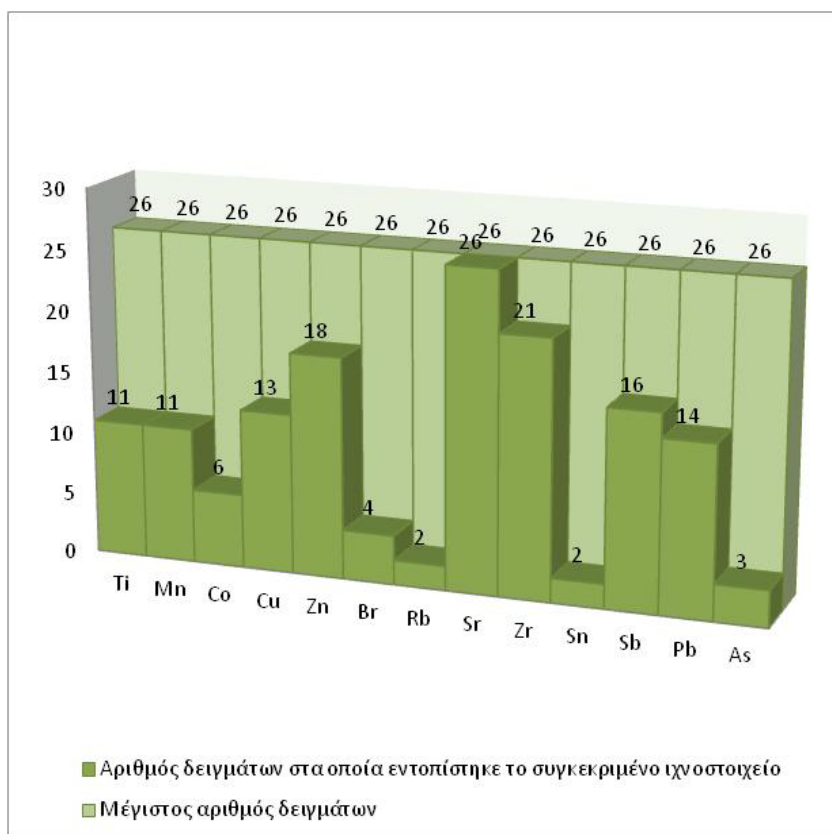
	Ti	Mn	Co	Cu	Zn	Br	Rb	Sr	Zr	Sn	Sb	Pb	As
R. (85)	δ.α.	21	δ.α.	9	8	1	1	85	74	δ.α.	56	5	δ.α.
T. (26)	11	11	6	13	18	4	2	26	21	2	16	14	3

Πίνακας 6: Σε παρένθεση δηλώνεται ο αριθμός των δειγμάτων στα οποία εντοπίστηκαν ιχνοστοιχεία τόσο από τη Ρόδο (R) όσο και από τη Θήβα (T). Παρουσιάζεται επίσης και ο αριθμός των δειγμάτων στα οποία εντοπίστηκε το κάθε ιχνοστοιχείο.

Παραστατικά ο παραπάνω πίνακας παρουσιάζεται με τη βοήθεια τρισδιάστατων γραφημάτων (γράφ. 14 και 15).



Γράφημα 14: Αριθμός δειγμάτων από τη Ρόδο στα οποία εντοπίστηκαν τα επί μέρους ιχνοστοιχεία.



Γράφημα 15: Αριθμός δειγμάτων από τη Θήβα στα οποία εντοπίστηκαν τα επί μέρους ιχνοστοιχεία.

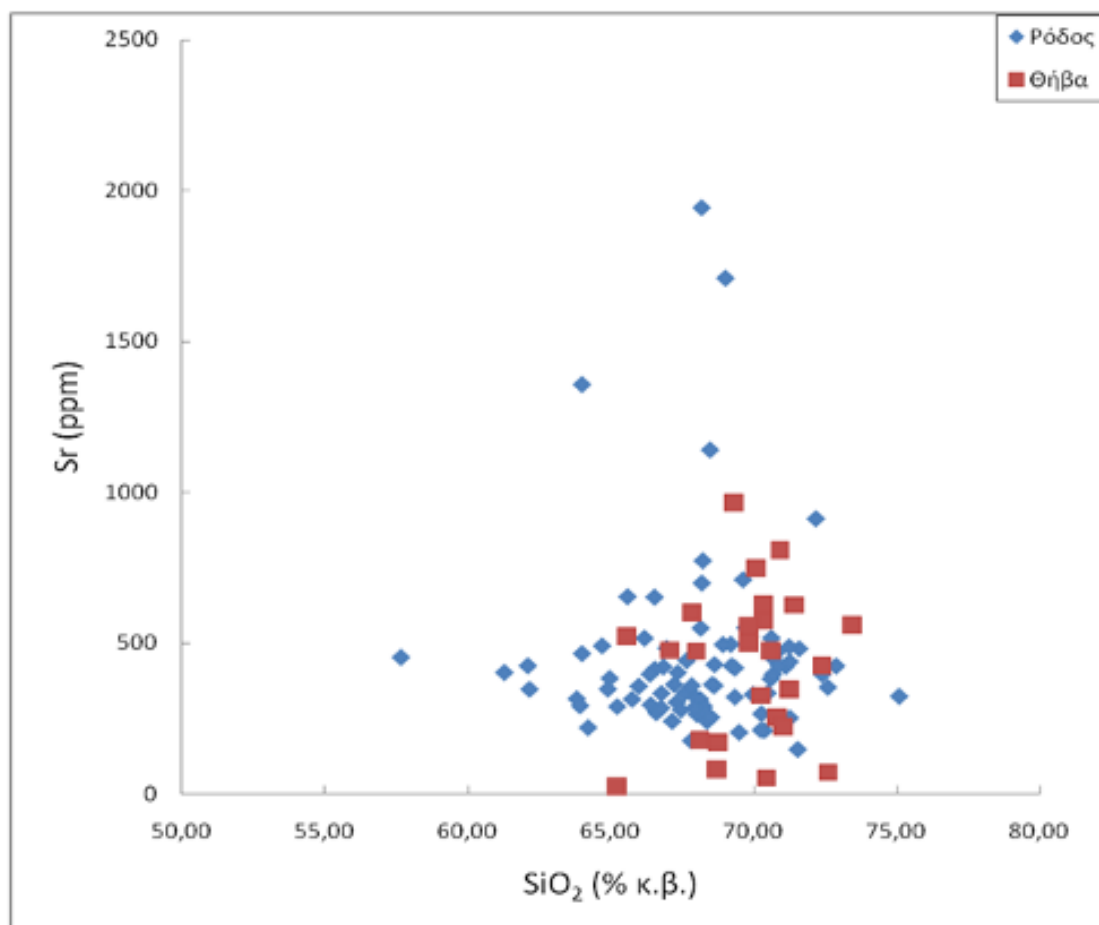
Sr

Το Sr είναι το ιχνοστοιχείο που εμφανίζεται σε όλα τα δείγματα της Ρόδου και της Θήβας. Η προσθήκη Sr στις αρχαίες υάλους γίνεται έμμεσα. Το Sr συνοδεύει πάντα το Ca και κύρια πηγή του Sr των υάλων είναι ουσιαστικά η πηγή του Ca. Οπότε το Sr μπορεί να προέρχεται από τρεις τύπους πηγών: (α) καθαρός ασβεστίτης και συγγενή π.χ. δολομίτης (Freestone et al 2003), (β) όστρακα κοχυλιών¹³ (Wedepohl and Baumann 2000), (γ) άμμος (Sanderson et al 1984), η οποία έχει υψηλά ποσοστά Ca που οφείλονται σε θραύσματα κοχυλιών κ.ά. Το νάτρον, που ήταν ένα από τα κύρια συστατικά της υαλουργίας, δεν συσχετίζεται με ποσοστά Sr που εντοπίζονται στις αρχαίες υάλους (Freestone et al 2003· Degryse and Schneider 2008). Επίσης και οι άστριοι, οι οποίοι εντοπίζονται στην άμμο, έχουν μικρή συμβολή στο ποσοστό του Sr στην τελική ύαλο (Degryse et al 2006· Degryse et al 2010). Τα δείγματα της Ρόδου έχουν μέσο όρο Sr 445 ppm (εύρος 148 – 1945 ppm), ενώ σε αυτά της Θήβας παρατηρείται περίπου ίδιος μέσος

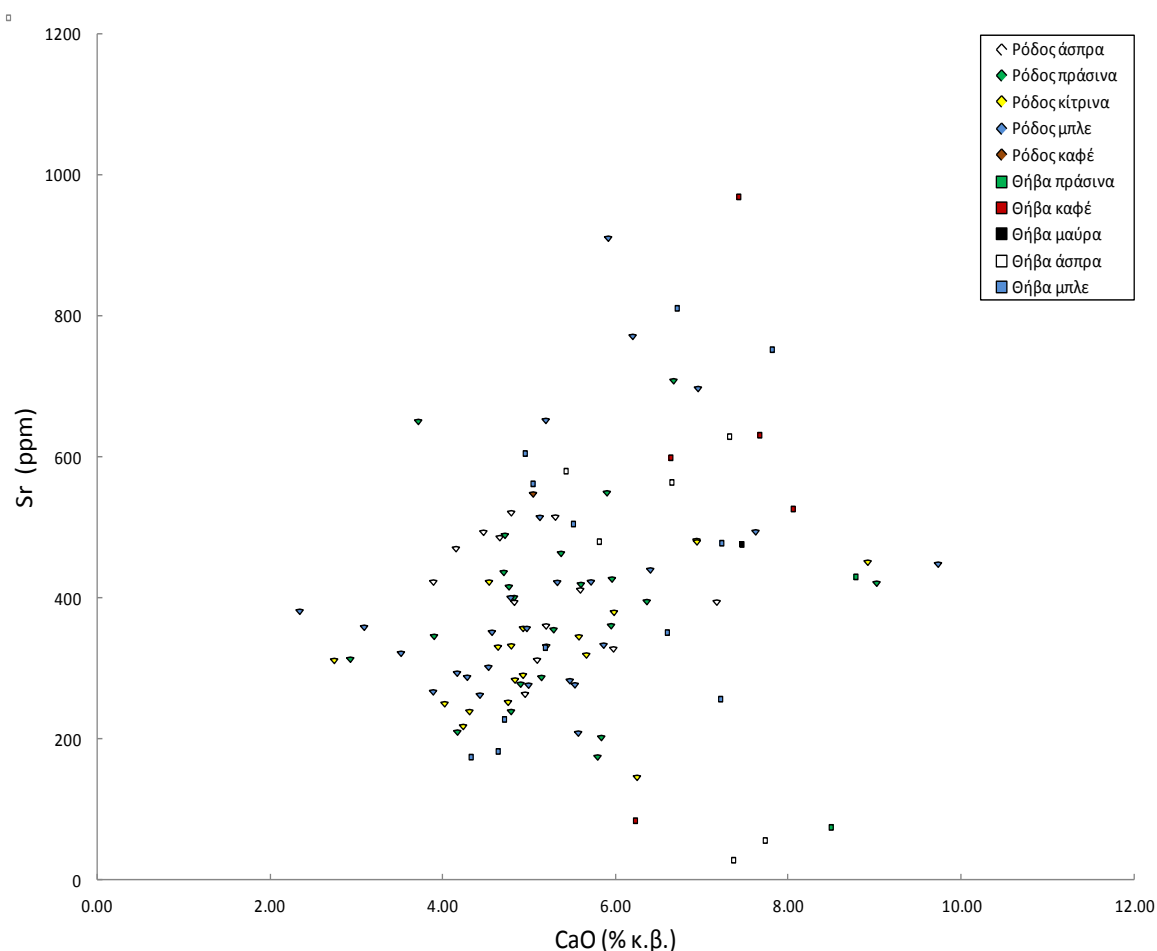
¹³ Ο Πλίνιος σγκαταλέγει τα όστρακα στα συστατικά τα οποία μπορούν να προστεθούν στις υάλους (Freestone 2006).

όρος (433 ppm), αλλά υπάρχει διαφοροποίηση στη μέγιστη και την ελάχιστη τιμή που είναι 965 και 24 ppm αντίστοιχα. Παρουσιάζοντας το Sr, σε συνάρτηση με το SiO₂ σε δισδιάστατο γράφημα (γράφ. 16) παρατηρείται μία διασπορά από την οποία δεν προκύπτει κάποιος συσχετισμός του Sr με το κύριο συστατικό της άμμου που είναι το SiO₂ τόσο για τα δείγματα της Ρόδου όσο και της Θήβας.

Η κατανομή του Sr σε σχέση με το CaO παρουσιάζεται στο γράφημα 17. Από την κατανομή παρατηρείται μεγάλη διασπορά των σημείων. Στο γράφημα 17 έχει γίνει διαχωρισμός των ψήφων ανάλογα με το χρώμα τους.



Γράφημα 16: Συσχετισμός Sr με SiO₂ για τις δύο ομάδες δειγμάτων.



Γράφημα 17: Συσχετισμός Sr με CaO για τις δύο ομάδες δειγμάτων. Έχει γίνει διαχωρισμός των δειγμάτων ανάλογα με το χρωματισμό τους.

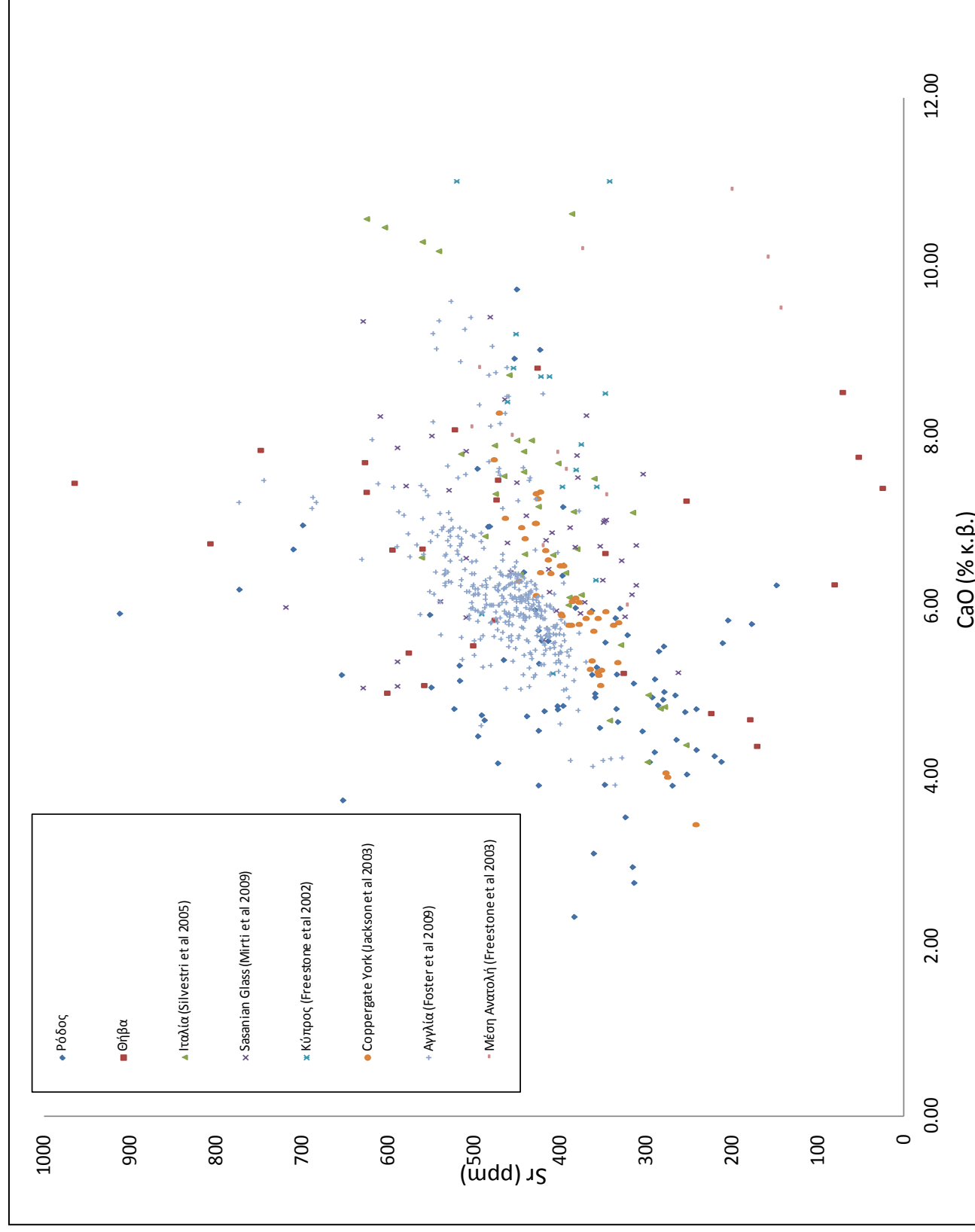
Ο μέσος όρος του Sr τόσο στη Ρόδο όσο και στη Θήβα είναι περίπου 450 ppm. Εάν υποθέσουμε πως όλο το ποσοστό του Sr προέρχεται από το CaO (μ.ό. CaO στα δείγματα από τη Ρόδο και τη Θήβα είναι 5,31% κ.β. και 6,60 % κ.β. αντίστοιχα) τότε αυτό μεταφράζεται σε τιμή Sr στο CaO σε 2655 ppm και 2970 ppm αντίστοιχα. Επομένως ο ασβεστόλιθος (CaCO_3), που ενδεχομένως να έχει χρησιμοποιηθεί ως πηγή τόσο Ca όσο και Sr, θα έπρεπε να περιέχει Sr σε τιμές 1486 και 1930 ppm. Σε αναλύσεις που έχουν γίνει σε περισσότερους από 3000 Μεσοζωικούς και Παλαιοζωικούς ασβεστόλιθους σε όλο τον κόσμο η ποσότητα του Sr κατά μέσο όρο είναι περίπου 460 ppm (Veizer 1978), τιμή η οποία είναι πολύ χαμηλότερη από την τιμή που υπολογίστηκε παραπάνω. Άλλες αναλύσεις παρουσιάζουν περιεχόμενο Sr σε ασβεστίτη από 154-459 ppm με μέσο όρο 302 ppm (Atwood and Fry 1967), ο οποίος και πάλι είναι πολύ χαμηλός. Φυσικά δεν

λείπουν και οι περιπτώσεις όπου ασβεστιτικά πετρώματα περιέχουν υψηλές ποσότητες Sr [ενδεικτικός μέσος όρος ποσότητας Sr σε 4 διαφορετικές γεωτρήσεις σε μεγάλο βάθος ~3 km στην περιοχή της Τυνησίας: 1130 ppm, 1300 ppm, 1790 ppm και 970 ppm (Mabrouk et al 2006)].

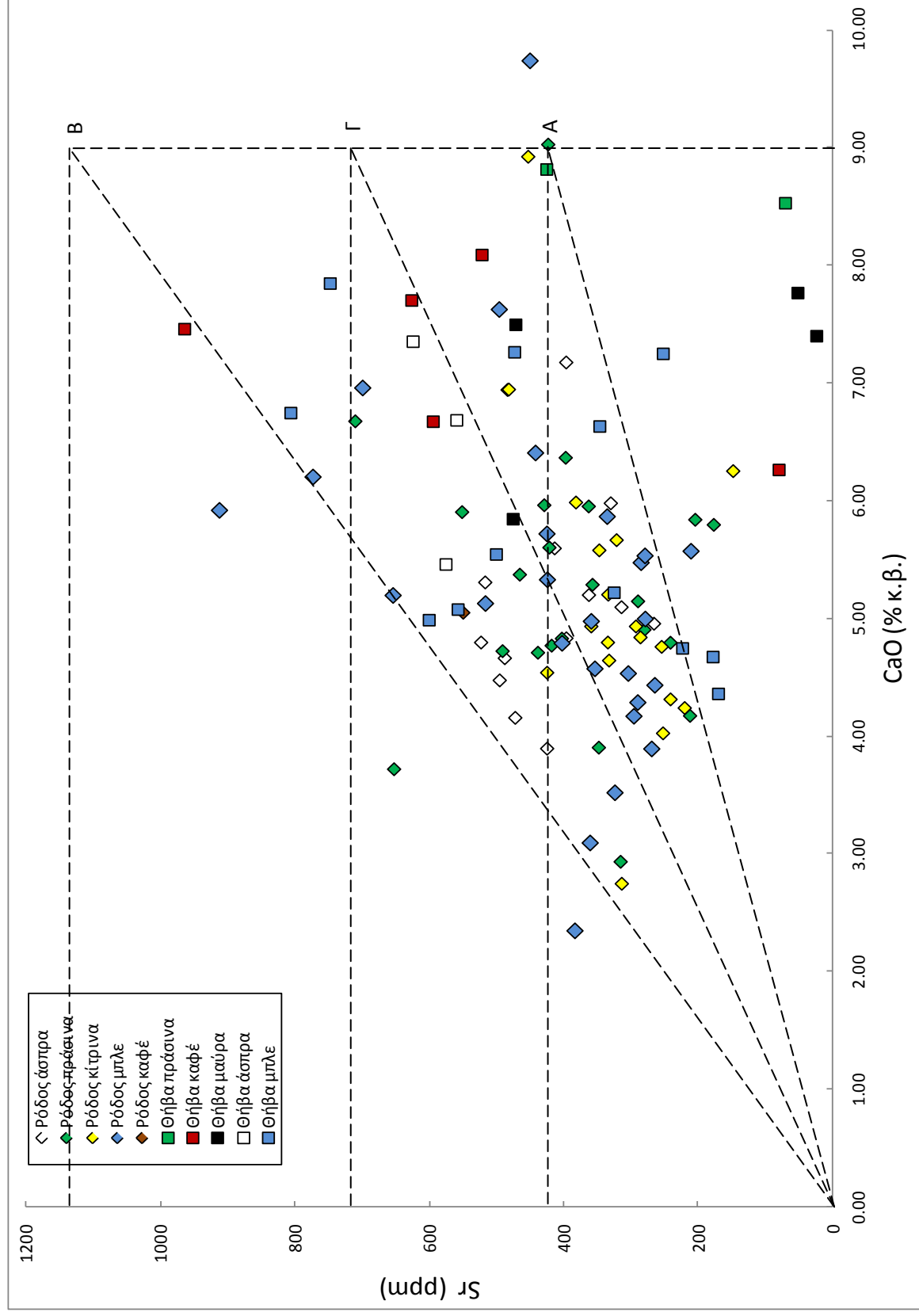
Παρατηρείται λοιπόν πως το εύρος των τιμών του Sr σε ασβεστολιθικά πετρώματα είναι μεγάλο. Αυτό από μόνο του θα μπορούσε να δικαιολογήσει τη διασπορά που παρατηρείται στις τιμές του Sr σε σχέση με το CaO στο παραπάνω γράφημα (γράφ. 17). Αυτό που δεν δικαιολογείται είναι οι υψηλές τιμές Sr που προκύπτουν για την ασβεστιτική πρώτη ύλη. Επομένως η σύνδεση του Sr και με άλλες πηγές είναι πιθανή.

Στο γράφημα 19 παρατηρείται ότι οι τιμές Sr, εάν προερχόταν μόνο από ασβεστολιθικές πηγές, είναι στον μέσο όρο ενδεικτικές περίπου 6471 ppm για το CaO το οποίο αντιστοιχεί σε περίπου 3500 ppm στο CaCO₃ (κυμαίνεται από 429 ppm μέχρι 1133 ppm στο 9% του CaO, σημεία A, B με μέσο όρο 719 ppm σημείο Γ, το οποίο «μεταφράζεται» σε 2162-5710 ppm με μέσο όρο 3624 ppm στο CaCO₃). Η τιμή αυτή του Sr είναι πάρα πολύ υψηλή για τους ασβεστόλιθους. Επομένως η χρήση μόνο ασβεστολιθικής πηγής στις συγκεκριμένες υάλους πρέπει μάλλον να αποκλειστεί. Το Sr πιθανώς να προέρχεται από χρήση θαλάσσιων οστράκων ή από συνδυασμό τους με ασβεστολιθικά πετρώματα.

Στο παρακάτω γράφημα (γράφ. 18) φαίνονται επίσης ενδεικτικές αναλύσεις αρχαίων υάλων από διαφορετικές περιοχές και περιόδους. Με εξαίρεση την ανάλυση των Jackson κ.ά. και Silvestri κ.ά. παρατηρείται πάλι μία τυχαία διασπορά των σημείων (Jackson et al 2003` Silvestri et al 2005).



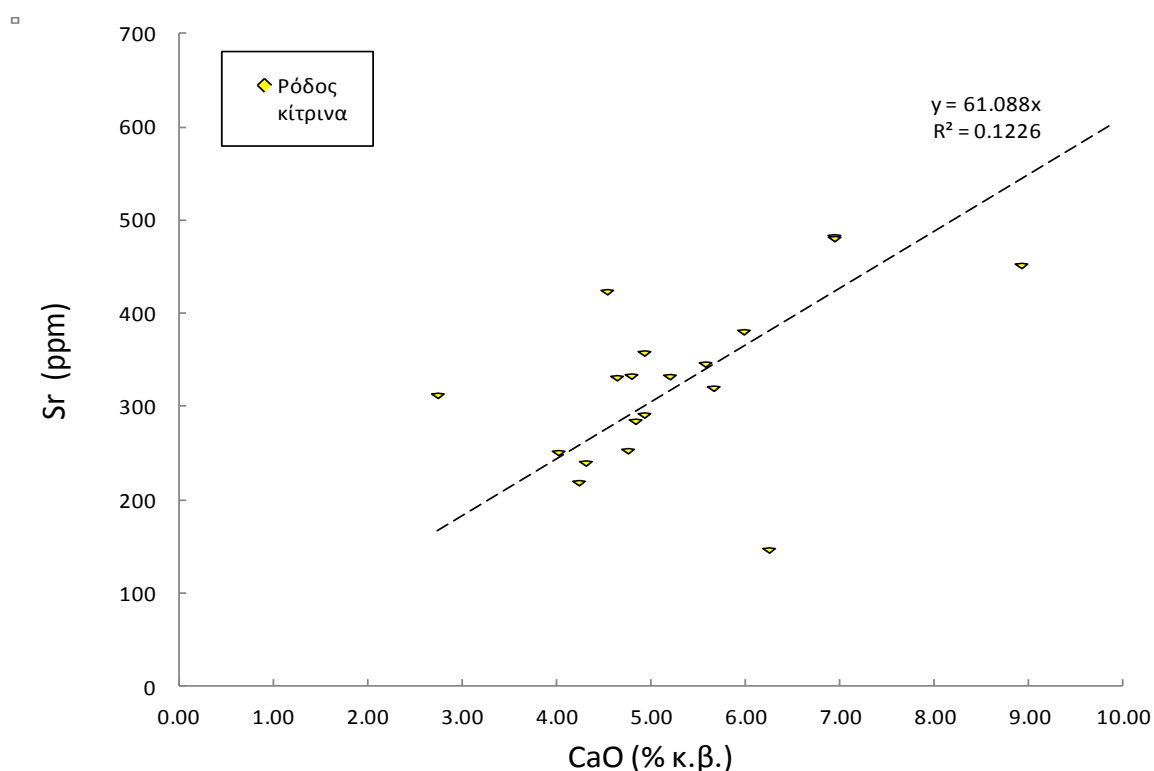
Γράφημα 18: Συσχετισμός Sr με CaO για τις δύο ομάδες δειγμάτων. Επιπλέον έχουν συμπεριληφθεί δεδομένα από άλλες χημικές αναλύσεις.



Γράφημα 19: Συσχετισμός Sr με CaO για τις δύο ομάδες δειγμάτων. Έχει γίνει διαχωρισμός των δειγμάτων ανάλογα με το χρωματισμό τους.

Τα κελύφη μαλακίων είναι η πρώτη ύλη που περιέχει σημαντικά υψηλότερα ποσοστά Sr σε σχέση με τους ασβεστόλιθους (Wedepohl and Baumann 2000). Τα κελύφη αποτελούνται κυρίως από αραγονίτη (πολυμορφικό ορυκτό του CaCO_3) ή περιέχουν ένα συνδυασμό από αραγονίτη και ασβεσίτη με τον πρώτο να περιέχει υψηλότερα ποσοστά Sr σε σχέση με το δεύτερο. Αυτά που αποτελούνται κυρίως από αραγονίτη περιέχουν σχετικά υψηλές τιμές Sr (γενικά περισσότερο από 2000 ppm), ενώ αυτά που περιέχουν ασβεσίτη ως κύριο συστατικό περιέχουν περίπου 1000 ppm Sr. Τα θαλάσσια μαλάκια αποθέτουν στα κελύφη τους Sr που απορροφούν από το θαλασσινό νερό (Wedepohl and Baumann 2000).

Από όλα τα δείγματα της Ρόδου και της Θήβας στο γράφημα του Sr σε συνάρτηση με το Ca, μόνο στα κίτρινα¹⁴ δείγματα της Ρόδου παρατηρείται ένας αδρός θετικός συσχετισμός μεταξύ των ποσοστών του Ca και του Sr (γράφ. 20).



Γράφημα 20: Παρατηρείται ένας αδρός θετικός συσχετισμός για τα κίτρινα δείγματα της Ρόδου

¹⁴ Εφεξής κίτρινα θεωρούνται τα δείγματα τα οποία έχουν μία λεμονί απόχρωση και είναι διαφανή (2.5 GY/ 9/6, 2.5 GY 9/8, 2.5 GY 9/10 Munsell Color System).

Ο συσχετισμός αυτός μπορεί να έχει ερμηνεία, αλλά είναι δυνατό να οφείλεται και σε τυχαία κατανομή λόγω ετερογένειας των πρώτων υλών ή σε λόγους ανακύκλωσης, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Μία πιθανή, μη τυχαία, ερμηνεία του συσχετισμού αυτού είναι η χρήση πρώτων υλών με διαφορετικά ποσοστά Ca και Sr, αλλά με συγκρίσιμη αναλογία.

Zr

Εκτός του Sr, το Zr παρουσιάζεται και αυτό σε ένα μεγάλο σύνολο των δειγμάτων. Συγκεκριμένα παρουσιάζεται στα 74 από τα 85 δείγματα της Ρόδου και στα 21 από τα 26 δείγματα της Θήβας. Το Zr, καθώς επίσης και άλλα στοιχεία, όπως Ti, La, Cr, είναι σημαντικά στο χαρακτηρισμό των πρώτων υλών, διότι δεν επηρεάζονται από τις υψηλές θερμοκρασίες που χρησιμοποιούνται στην υαλουργία ούτε από επεξεργασία που μπορεί να γίνει μετέπειτα (Shortland et al 2007). Επίσης τα στοιχεία αυτά χρησιμοποιούνται πολύ συχνά για το διαχωρισμό συστάσεων στην γεωχημεία πυριγενών πετρωμάτων (Pearce and Cann 1973).

Πολλές φορές διαφορές στις συγκεντρώσεις συγκεκριμένων ιχνοστοιχείων, όπως για παράδειγμα του Zr και του Sr, χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό /διαφοροποίηση πιθανών πηγών άμμου, του βασικού συστατικού της αρχαίας υαλουργίας (Silvestri et al 2008). Σύμφωνα με τον Freestone τα ιχνοστοιχεία αυτά μπορούν να δώσουν πληροφορίες για τη γεωχημεία των περιοχών, που πιστεύεται ότι έχουν συμβάλει στην παραγωγή υάλου (Freestone et al 2000). Γενικά ύαλοι, που έχουν παρασκευαστεί με τη χρήση άμμου από περιοχές των ακτών της Μεσογείου, εμφανίζουν τυπικά χαμηλά ποσοστά Zr (~60 ppm) και υψηλά ποσοστά Sr (~400 ppm), το οποίο οφείλεται κυρίως στην ύπαρξη κοχυλιών στην άμμο (Silvestri et al 2008).

Τα βαρέα ορυκτά – προσμείξεις της άμμου είναι χημικά αδρανή κάτω από συνθήκες των γεωλογικών κύκλων. Αυτά τα μεταλλεύματα χρησιμοποιούνται επίσης ευρέως και στην επιστήμη της γεωλογίας ως ενδείξεις των υλικών των πηγών. Αυτά τα μεταλλεύματα είναι συνήθως τα οξείδια του σιδήρου, όπως ο μαγνητίτης (Fe_3O_4), ενώσεις του τιτανίου, όπως ο ιλμενίτης (FeTiO_3) και το ζirkον (ZrSiO_4). Άλλα στοιχεία, τα οποία συμπεριλαμβάνονται στο ζirkον, είναι οι σπάνιες γαίες και το ύτριο (Y) ή πιο συγκεκριμένα διάφορες φάσεις των σπάνιων γαιών, όπως ο μοναζίτης (Aerts et al 2003).

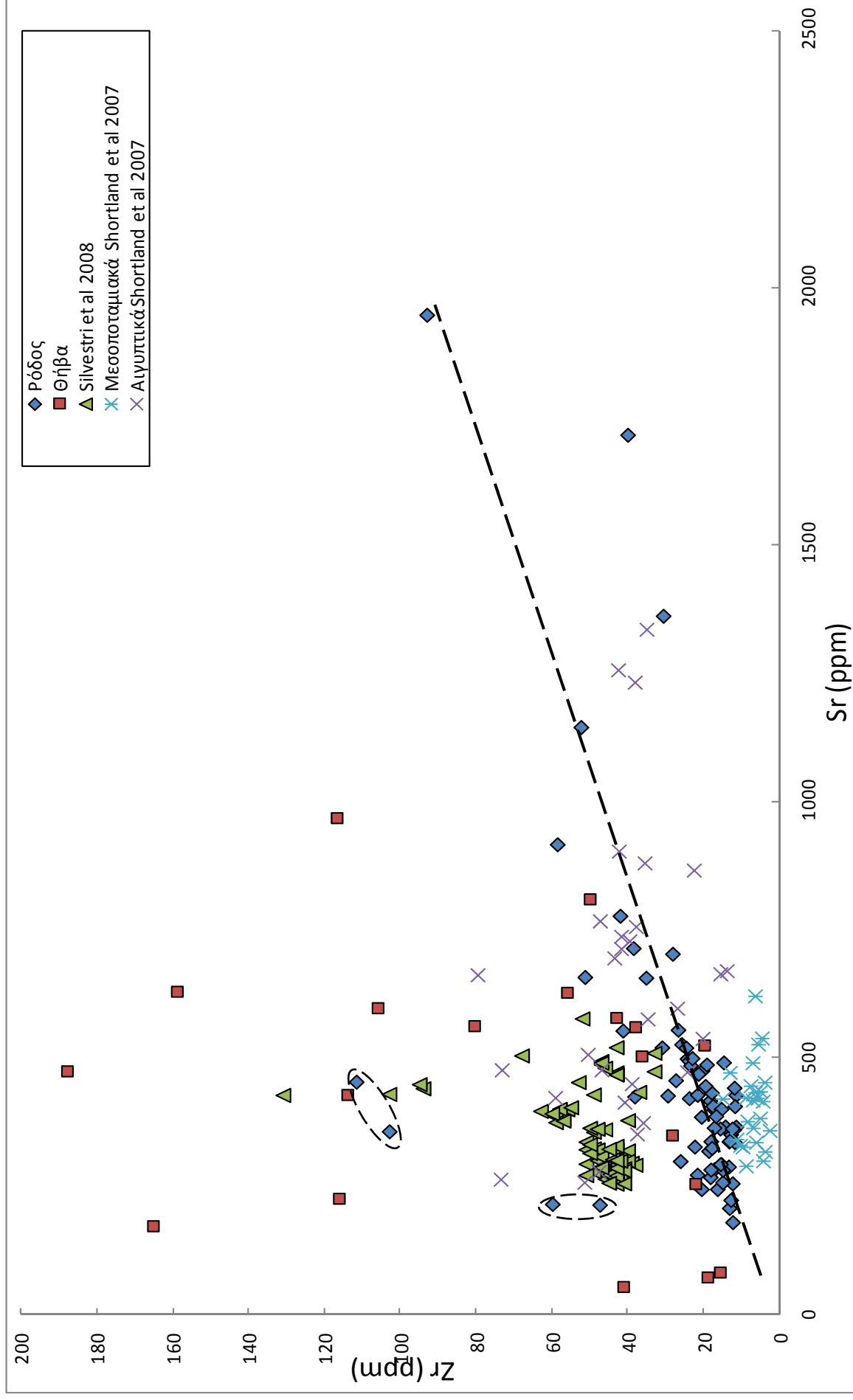
Σε πρόσφατη μελέτη τριών υαλοπλινθωμάτων από το ναυάγιο του Uluburun (Jackson and Nicholson 2010) διαπιστώνονται τιμές Zr: 26,39 και 42 ppm, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το χρώμα τους. Οι τιμές αυτές είναι συμβατές με τις τιμές αιγυπτιακών υάλων (Shortland et al 2007). Ο μέσος όρος των τιμών Zr στα δείγματα από τη Ρόδο και από τη Θήβα είναι αντίστοιχα 26 και 101 ppm (ελάχιστες και μέγιστες τιμές: 11 μέχρι 112 ppm και 19 μέχρι 503 ppm για τη Ρόδο και τη Θήβα αντίστοιχα). Τα περισσότερα δείγματα της Ρόδου έχουν τιμές Zr σχετικά πιο κοντά με αυτές των μεσοποταμιακών υάλων από το Nuzi και το Tel Brak, παρά με αυτές από την Amarna της Αιγύπτου (Shortland et al 2007). Οι υψηλές τιμές του Zr (αλλά και των La, Ti) στις υάλους από την Amarna σε σχέση με τις μεσοποταμιακές υάλους¹⁵ οφείλονται στον πηλό από τις ακτές του Νείλου και αντανakλούν επιμολύνσεις του τήγματος της υάλου κατά την επαφή του με πηλίνα πυριαντήρια (Walton et al 2009). Βέβαια για πιο ασφαλή συμπεράσματα η εξέταση ιχνοστοιχείων όπως, Ti, Cr και La, είναι απαραίτητη.

Για τα δείγματα της Ρόδου τα οποία, όπως έχει προαναφερθεί, έχουν παρασκευαστεί με χρήση τέφρας φυτών, δεν θα πρέπει να αποκλειστεί και η πιθανότητα το Zr να προέρχεται από την τέφρα. Ανάλυση τέφρας δέντρων όπως οξιά, φτέρη και βελανιδιά έδωσε τιμές Zr: 41, 34, 38 ppm αντίστοιχα (Jackson et al 2005), τιμές οι οποίες είναι συμβατές με τις τιμές που εντοπίστηκαν στην ανάλυση των δειγμάτων της Ρόδου.

Σημαντικές πληροφορίες μπορεί να δώσει ο συσχετισμός του Zr με άλλα στοιχεία. Ο συσχετισμός Zr με Sr είναι σημαντικής αρχαιολογικής σημασίας, αφού μπορεί να δώσει πληροφορίες σχετικές με τη χρονολόγηση δειγμάτων (Jokubonis et al 2003).

Στο παρακάτω διάγραμμα (γράφ. 21) παρουσιάζεται το Zr σε συνάρτηση με το Sr για τα δείγματα της Ρόδου, της Θήβας καθώς επίσης και για δείγματα από την Ιταλία (3^{ου} αι. μ.Χ.), την Αίγυπτο και τη Μεσοποταμία (Υστερη Εποχή του Χαλκού) (Silvestri et al 2008, Shortland et al 2007).

¹⁵ Το Zr σε ανάλυση υάλων από το Nuzi και το Tell Brak της Μεσοποταμίας κυμαίνεται από 2,5 μέχρι 11,2 ppm (Shortland et al 2007).



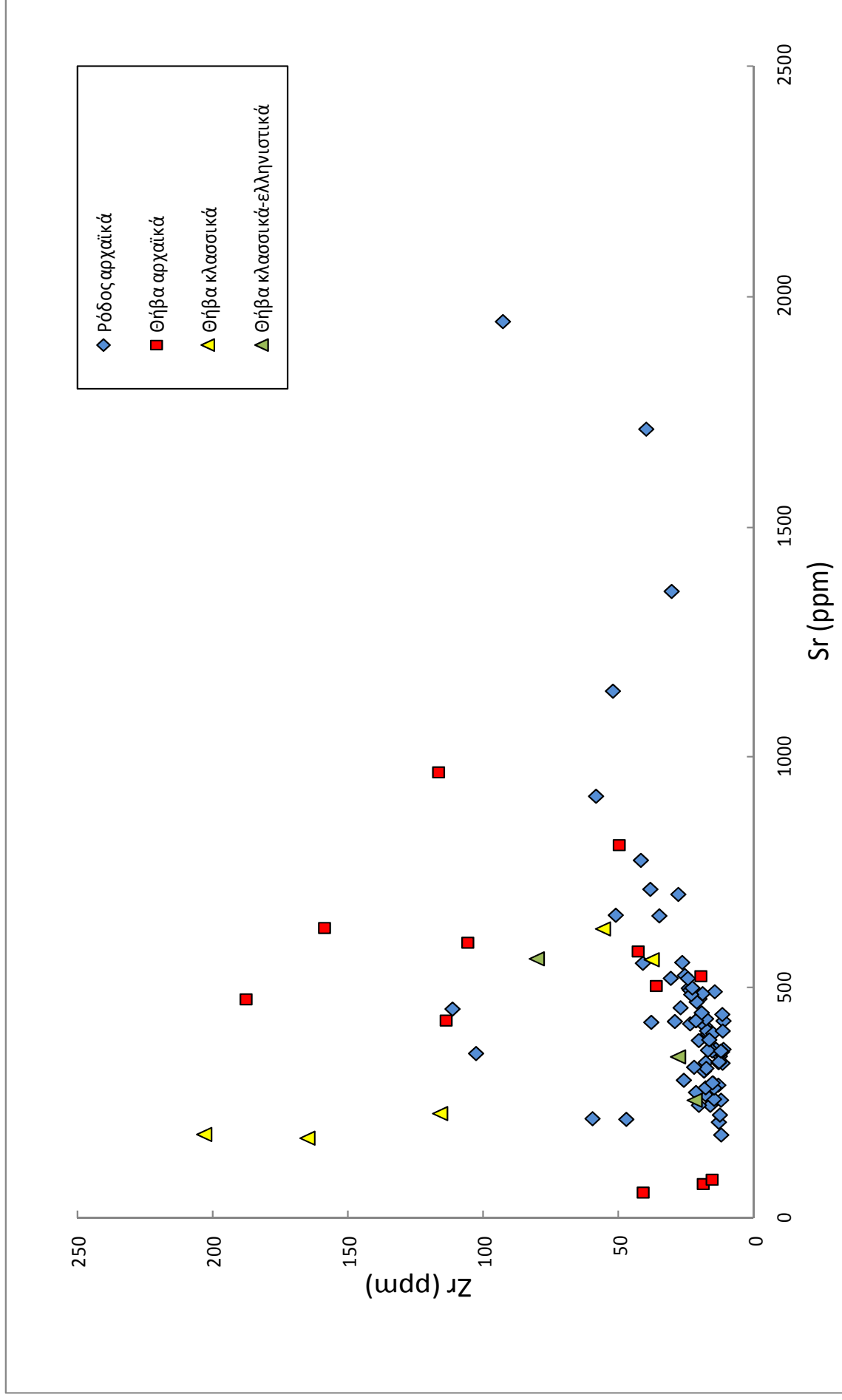
Γράφημα 21: : Συσχετισμός Zr με Sr για τις δύο ομάδες δειγμάτων. Επιπλέον έχουν συμπεριληφθεί δεδομένα από άλλες χημικές αναλύσεις.

Τα δείγματα της Ρόδου παρουσιάζουν έναν αδρό θετικό συσχετισμό, όπως φαίνεται και από την ευθεία στο παραπάνω διάγραμμα (γράφ. 21) από το οποίο φαίνεται πως είναι πιο κοντά με τα δείγματα της Μεσοποταμίας· έχουν παρόμοιο ποσοστό Sr και παράλληλα είναι ελαφρώς μετατοπισμένα από τα δείγματα της Μεσοποταμίας με λίγο υψηλότερες τιμές Zr. Αυτό το γεγονός είναι πιθανό να οφείλεται και σε φαινόμενα ανακύκλωσης καθώς επίσης και στο γεγονός ότι τα δείγματα δεν ανήκουν στην ίδια χρονολογική περίοδο (τα μεσοποταμιακά και τα αιγυπτιακά είναι του 14^{ου} αι. π.Χ. σε αντίθεση με τα ροδιακά που είναι του 7^{ου} αι. π.Χ.). Επίσης υπάρχει και περιοχή όπου αλληλοεπικαλύπτονται οι δύο ομάδες δειγμάτων.

Αξιοσημείωτες τιμές Zr έχουν τέσσερα δείγματα της Ρόδου (ελλείψεις στο γράφ. 22), τα οποία έχουν υψηλές τιμές Zr και είναι απομακρυσμένα από το συσχετισμό των υπόλοιπων δειγμάτων (παριστάνεται με τη διακεκομμένη ευθεία). Τα δείγματα αυτά είναι τα R.30, R.38, R.60 και R.86. Πρόκειται για τα μισά από το σύνολο των οκτώ δειγμάτων τα οποία παρουσίαζαν διαφορετική συμπεριφορά στο διάγραμμα K₂O-MgO (βλ. παραπάνω) και τα οποία ανήκουν σε μία διαφορετική συνταγή υαλουργίας με χρήση φυσικής σόδας, νάτρον, ως κύριο αλκάλιο. Ενώ θα περίμενε κανείς και τα υπόλοιπα δείγματα της ίδιας υαλουργικής συνταγής να έχουν υψηλές τιμές Zr, παρόλα αυτά φαίνεται ότι συμπίπτουν με το συσχετισμό των υπολοίπων.

Ο συσχετισμός των δειγμάτων της Θήβας για τα δύο αυτά ιχνοστοιχεία δεν είναι ισχυρός. Ο μ.ό. του Zr είναι πολύ μεγαλύτερος του αντίστοιχου της Ρόδου και σε συνδυασμό με τη σύγκριση του μ.ό. του Fe₂O₃ για τις δύο περιοχές, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα της χρήσης πιο «καθαρών» πρώτων υλών σύμφωνα με τους Shorthland κ.ά. (Shorthland et al 2007). Πιο ασφαλή συμπεράσματα θα εξαγονταν με τον εντοπισμό και άλλων ιχνοστοιχείων όπως για παράδειγμα Ti, La, Cr κ.ά.

Στο παρακάτω γράφημα (γράφ. 22) παρουσιάζονται τα ίδια ιχνοστοιχεία με τη διαφορά ότι τα δείγματα είναι διαχωρισμένα με βάση τη χρονολόγησή τους. Σαφής διαχωρισμός σε σχέση με τη χρονολόγηση των δειγμάτων, όπως γίνεται στην εργασία των Jokubonis κ.ά., δεν διαπιστώνεται στην περίπτωση των δειγμάτων από τη Ρόδο και από τη Θήβα (Jokubonis et al 2003). Παρατηρείται μία αλληλοκάλυψη των δειγμάτων τόσο των θηβαϊκών (κλασικά με αρχαϊκά) όσο και των ροδιακών με τα θηβαϊκά.



Γράφημα 22: Συσχετισμός Zr με Sr για τις δύο ομάδες δειγμάτων. Τα δείγματα της Θήβας έχουν επιπλέον διαχωριστεί με βάση τη χρονολόγησή τους.

Sb-Pb

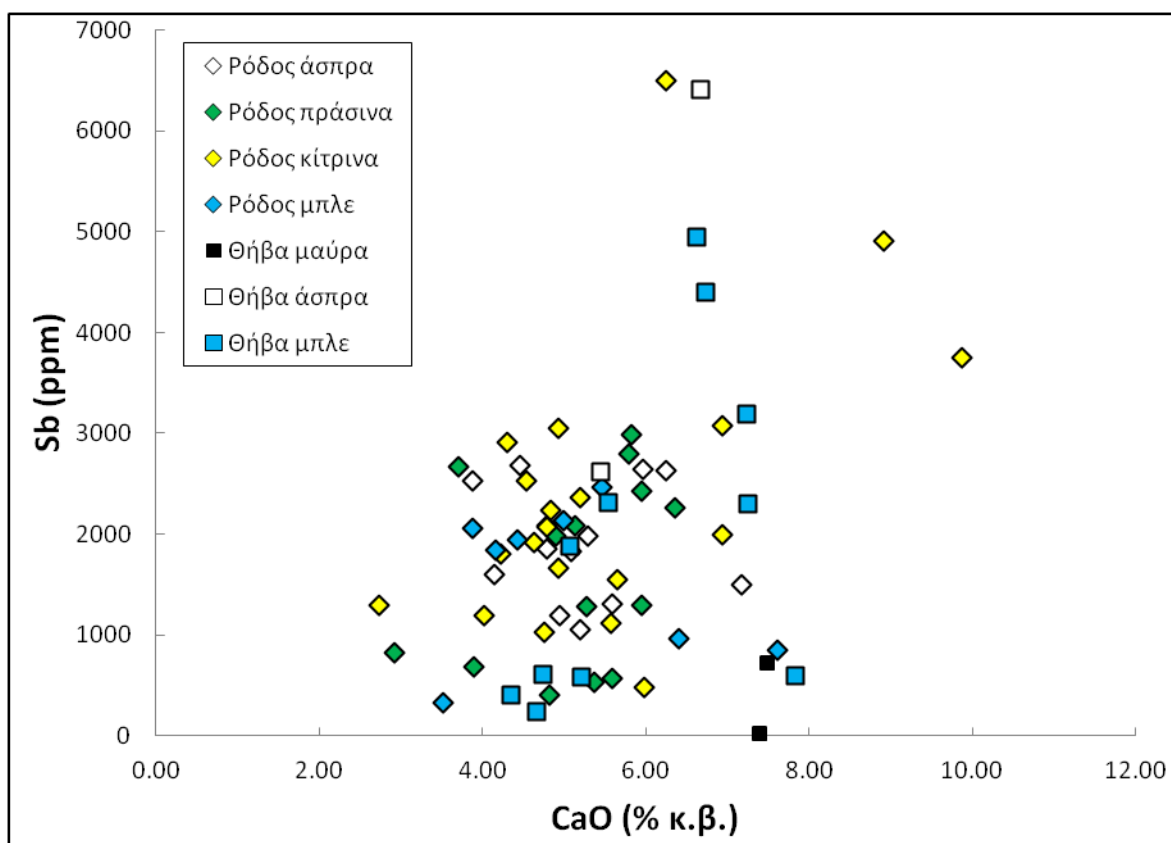
Το αντιμόνιο (Sb) είναι ένα χημικό στοιχείο το οποίο ανήκει στην ομάδα Va του περιοδικού πίνακα. Υπάρχει σε ποικίλες οξειδωτικές καταστάσεις (-3, 0, +3, +5), αλλά κυρίως εντοπίζεται στις καταστάσεις +3 και +5 σε διάφορα περιβαλλοντικά, βιολογικά και γεωχημικά δείγματα. Στη φύση εμφανίζεται κυρίως σε διάφορα ορυκτά, όπως ο στιβνίτης ή αντιμονίτης (Sb_2S_3) και ο βαλεντινίτης (Sb_2O_3), ο οποίος είναι προϊόν μετασχηματισμού του στιμπνίτη. Αυτά τα μείγματα του αντιμονίου εντοπίζονται συνήθως σε μεταλλεύματα χαλκού, αργύρου και μολύβδου (Filella et al 2002).

Το Sb είναι ένα στοιχείο, το οποίο, ανάλογα με το σθένος του, μπορεί να δράσει στις υάλους ως αδιαφανοποιητής (Sb^{3+}) ή αποχρωματιστής (Sb^{5+}). Αυτό γίνεται ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στον υαλοκλίβανο (αναγωγικές ή οξειδωτικές) (Ζαχαριάς και Οικονόμου 2010). Στην αρχαία υαλουργία ήδη από το 1500 π.Χ. ήταν σε χρήση αδιαφανοποιητές, με κύριο συστατικό το Sb στην περιοχή της Μέσης Ανατολής και της Αιγύπτου (Turner and Rooksby 1959), ενώ πολύ αργότερα στα ρωμαϊκά χρόνια χρησιμοποιούνταν ευρέως και το Mn (Foster and Jackson 2010). Οι αδιαφανοποιητές αυτοί είναι κυρίως ο κίτρινος αντιμονιούχος μολύβδος ($\text{Pb}_2\text{Sb}_2\text{O}_7$) και το άσπρο αντιμονιακό ασβέστιο ($\text{Ca}_2\text{Sb}_2\text{O}_7$ ή $\text{Ca}_2\text{Sb}_2\text{O}_6$).

Εκτός του στιβνίτη, αντιμόνιο εντοπίζεται και στον βιντχεμίτη (bindheimite) ($(\text{Pb}_2(\text{Sb,Bi})_2\text{O}_6(\text{O.OH}))$), ο οποίος μπορεί να συνεισφέρει και μολύβδο (Jackson 2005· Mass et al 1998· Biek and Bayley 1979). Βέβαια ως ορυκτό ο βιντχεμίτης είναι σπάνιος και πολλές φορές χρησιμοποιείται ένα ανάλογο κατασκευασμένο από τον άνθρωπο το οποίο προστίθεται στις υάλους (Shortland and Schroeder 2009). Μία άλλη ιδιότητα του Sb στις υάλους είναι ότι μπορεί να συμβάλλει εμμέσως στην απομάκρυνση των αδιάλυτων αερίων που σχηματίζονται μέσα στις υάλους (διάφορες φυσαλίδες) κάνοντας έτσι την ύαλο πιο διαυγή (Jackson 2005). Πιο συγκεκριμένα, όταν το οξείδιο του αντιμονίου προστίθεται στην τηγμένη ύαλο, το οξυγόνο που απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια της θερμικής μεταβολής του Sb_2O_5 προστίθεται στο σύνολο των αερίων που περιέχεται στο τήγμα, οδηγώντας στην ανάπτυξη μεγαλύτερων φυσαλίδων που έχουν τη δυνατότητα να «ανεβαίνουν» ευκολότερα στην επιφάνεια της υάλου (το ιξώδες του τήγματος έχει μικρότερη αντίσταση) και αυτό έχει ως αποτέλεσμα η ύαλος να είναι καθαρότερη (Greiff and Schuster 2008).

Το ποσοστό του Sb στα δείγματα της Ρόδου κυμαίνεται περίπου από 350 ppm μέχρι 3000 ppm με εξαίρεση 3 δείγματα, τα οποία έχουν τιμές $Sb > 3000$ ppm και ο μέσος όρος είναι 1958 ppm. Η διακύμανση στα δείγματα της Θήβας είναι πολύ μεγαλύτερη από μερικές δεκάδες ppm μέχρι 6500 ppm περίπου και ο μέσος όρος είναι 2082 ppm. Χαρακτηριστικό των ευρημάτων από τη Θήβα είναι πως από τα 15 δείγματα στα οποία εντοπίστηκε το Sb, η πλειονότητα είναι χρώματος μπλε (11 στα 15), χωρίς βέβαια να έχουν έντονη διαφάνεια. Επομένως μπορεί να υποθεθεί πως η ύπαρξη Sb στα δείγματα αυτά οφείλεται είτε σε προσμείξεις άλλων πρώτων υλών είτε σε φαινόμενα ανακύκλωσης. Από την άλλη πλευρά στα δείγματα της Ρόδου εντοπίζεται το Sb σχεδόν στα δείγματα όλων των χρωμάτων και ιδιαίτερα στα άσπρα και κίτρινα δείγματα. Σε όλα αυτά τα δείγματα δεν παρατηρείται διαφάνεια, πράγμα που σημαίνει πως στα συγκεκριμένα δείγματα το Sb δρα ως αδιαφανοποιητής (Sb^{+3}).

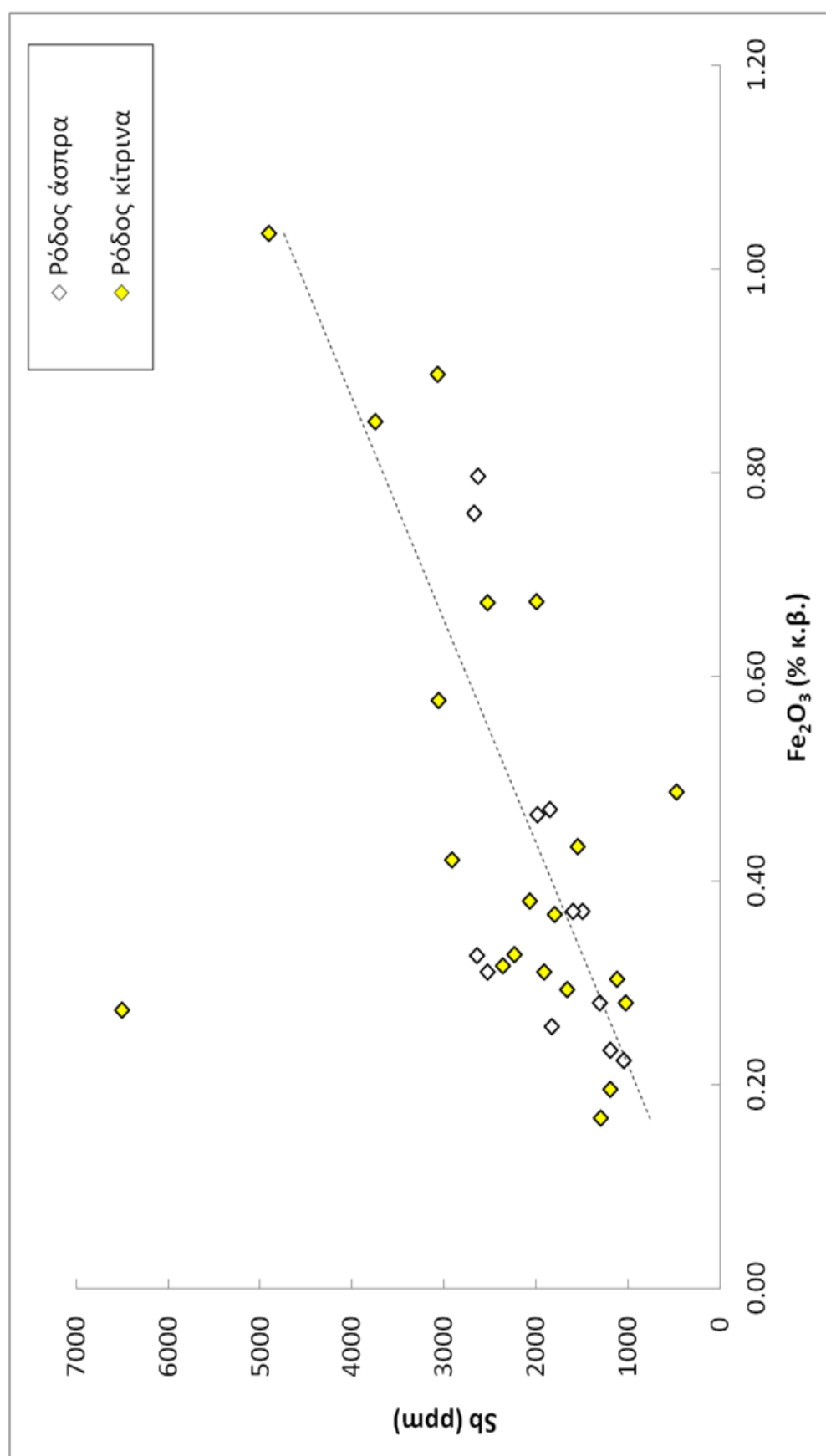
Στο παρακάτω διάγραμμα (γράφ. 23) παριστάνεται ο συσχετισμός του Sb με το CaO.



Γράφημα 23: Συσχετισμός Sb με CaO για τις δύο ομάδες δειγμάτων. Επιπλέον τα δείγματα έχουν διαχωριστεί με βάση το χρωματισμό τους.

Η διασπορά των δειγμάτων στο γράφημα αυτό (γράφ. 23) είναι έντονη χωρίς να προκύπτει κάποιος συσχετισμός μεταξύ των δύο στοιχείων. Η μεγάλη αυτή διασπορά πιθανώς να οφείλεται σε φαινόμενα ανακύκλωσης ή/και στην ετερογένεια των πηγών ασβεστίου, που, όπως ειπώθηκε παραπάνω, μπορεί να οφείλεται είτε στην ξεχωριστή πηγή (ασβεστόλιθος, όστρακοειδή) είτε στην πρόσμειξη άλλων πρώτων υλών (άμμος).

Στο παρακάτω διάγραμμα (γράφ. 24) εξετάζεται ο συσχετισμός του Sb με το Fe_2O_3 για τα άσπρα και κίτρινα δείγματα της Ρόδου καθώς για τα υπόλοιπα δεν προκύπτει κάποιος συσχετισμός.



Γράφημα 24: Συσχετισμός Sb με Fe_2O_3 για τα κίτρινα δείγματα της Ρόδου.

Παρατηρείται ότι υπάρχει ένας συσχετισμός με θετική κλίση των άσπρων και κίτρινων δειγμάτων της Ρόδου. Είναι πολύ πιθανό τα εν λόγω δείγματα να οφείλουν το χρωματισμό τους στην παρουσία του Sb. Το γεγονός ότι υπάρχει συσχετισμός, έστω και ασθενής, με κάποιο στοιχείο (έστω και αν αυτό είναι ο Fe_2O_3 και όχι κάποιο άλλο, όπως το Ca ή ο Pb τα οποία συνοδεύουν συνήθως το Sb), είναι συμβατός είτε με το σενάριο της προσθήκης Sb που συνοδεύει το σίδηρο είτε με το σενάριο της ύπαρξης Sb λόγω ανακύκλωσης. Στη φύση υπάρχουν διάφορα ορυκτά που περιέχουν ταυτόχρονα Sb και Fe σε διάφορες αναλογίες. Παραδείγματα τέτοιων ορυκτών είναι: ο μπερθιερίτης (berthierite FeSb_2S_4) (mindat.org 2011a), ο γκουντμουνδίτης (gudmundite FeSbS) (mindat.org 2011b) και ο γκαραβελίτης (garavelite FeSbBiS_4) (mindat.org 2011c). Όμως ένα σημαντικό ποσοστό του σιδήρου των υάλων (τυπικό περιεχόμενο της τάξης του 0.3-0.4 % κ.β.) οφείλεται σε οξείδια του σιδήρου.

Pb

Ο μόλυβδος ήταν σε χρήση περίπου από το 1500 π.Χ., κυρίως στην αιγυπτιακή υαλουργία αρχικά για τις διάφορες κίτρινες διακοσμήσεις των αδιαφανών υάλινων αγγείων που κατασκευάζονταν με την τεχνική του «πυρήνα» (Henderson 2000). Γραπτές αναφορές για τη χρήση μολύβδου στην αρχαία υαλουργία υπάρχουν στις πλάκες σφηνοειδούς γραφής της αρχαίας Μεσοποταμίας που χρονολογούνται περίπου στον 7^ο αι. π.Χ. (Brill 1970). Άλλη σημαντική, αν και πολύ μεταγενέστερη, ιστορική αναφορά για τη χρήση του μολύβδου στην αρχαία υαλουργία είναι σε κείμενο του Ηράκλειου κατά τον 12^ο αι. μ.Χ., στο οποίο αναφέρεται η προσθήκη κονιορτοποιημένου μολύβδου σε 2 μέρη ενώ το τρίτο μέρος της αναλογίας αποτελείται από άμμο (Henderson 2000).

Το ποσοστό του μολύβδου στις αρχαίες υάλους ποικίλλει από μερικά ppm μέχρι και αρκετές δεκάδες % κ.β. Οι υάλοι με υψηλά ποσοστά μολύβδου είναι ιδιαίτερα σπάνιες μέχρι τον 8^ο-10^ο αι. μ.Χ., όταν τις χρησιμοποιούσαν στην κατασκευή ψήφων και δαχτυλιδιών (Henderson and Warren 1986).

Ο φυσικός μόλυβδος είναι σπάνιος αλλά είναι σχετικά εύκολο να παραχθεί από ορυκτά, όπως τη γαλένα¹⁶ (σουλφίδιο του μολύβδου) ή από τον κερουσίτη (ανθρακικός μόλυβδος) (Nicholson and Shaw 2000). Τα συγκεκριμένα αυτά ορυκτά έχουν μία λάμψη-

¹⁶ Η γαλένα είναι ένα πολύ συνηθισμένο μεταλλικό σουλφίδιο, το οποίο πολύ συχνά συνδέεται με ορυκτά του ασημιού. Από τη γαλένα προκύπτει και το αιγυπτιακό κολ, μία βαφή ματιών η οποία χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα (Rapp 2009).

γυαλάδα και είναι εύκολο να εντοπιστούν (Moorey 1994). Διάφοροι ερευνητές δίνουν ως βασική πηγή του μολύβδου για την αρχαία Αίγυπτο το «βουνό του Μολύβδου» ή αλλιώς Gebel Rosas, το οποίο βρίσκεται νότια του Quseir στην ακτή της Ερυθράς Θάλασσας (Nicholson and Shaw 2000) χωρίς βέβαια να αποκλείονται και άλλες πηγές μολύβδου, όπως το Um Gheig και το Samiuki. Πρέπει επίσης να τονιστεί ότι σημαντική πηγή μολύβδου κατά την αρχαιότητα υπήρχε και στο Λαύριο (Τσαϊμού 1997). Ο κερουσίτης που αναφέρθηκε παραπάνω, δευτερογενές ορυκτό του μολύβδου, είναι σύνηθες προϊόν εξαλλοίωσης πρωτογενών ορυκτών του μολύβδου. Συχνά ανευρίσκονται δείγματα, τα οποία έχουν εξωτερικά επιφλοιώσεις κερουσίτη και πυρήνα γαληνίτη¹⁷. Σχετίζεται με αγγλεσίτη, μαλαχίτη, αζουρίτη, φωσγενίτη, πυρομορφίτη και γαληνίτη (Anthony et al 2003).

Επίσης ο μόλυβδος μπορεί να υπάρχει ως ορυκτή φάση σε αλκαλικούς άστριους ή πιθανόν ως οργανική φάση να απορροφάται από όστρακα μέσω του θαλάσσιου νερού (Freestone et al 2009).

Μία ακόμη ενδεχόμενη πηγή μολύβδου είναι και ο κίτρινος αντιμονιακός μόλυβδος ή αλλιώς κίτρινο της Νάπολης ($Pb_3(SbO_4)_2$). Πρόκειται για μία από τις αρχαιότερες τεχνητές χρωστικές ουσίες που πολλές φορές τη χρησιμοποιούσαν είτε για το χρωματισμό είτε τον αποχρωματισμό των υάλων. Ήταν διαθέσιμο κυρίως ως δευτερεύον προϊόν της βιομηχανίας του αργύρου (Rapp 2009).

Στην παρούσα μελέτη εντοπίστηκε μόλυβδος μόνον σε 5 δείγματα από τα 86 της Ρόδου, ενώ εντοπίστηκε σε 14 δείγματα της Θήβας από το σύνολο των 29 δειγμάτων. Στη Ρόδο ο μόλυβδος κυμαίνεται από 12 μέχρι 1182 ppm, ενώ στη Θήβα από 14 έως 954 ppm.

Όπως έχει προαναφερθεί στη μελέτη των ιχνοστοιχείων, σημαντικό ρόλο παίζει και το φαινόμενο της ανακύκλωσης, το οποίο συναντάται από την αρχαιότητα. Τα περισσότερα από τα συγκεκριμένα δείγματα, στα οποία έχει εντοπιστεί Pb, είναι χρώματος μπλε (ή κάποιας απόχρωσης του μπλε). Το γεγονός αυτό δεν μπορεί να είναι τυχαίο. Είναι γνωστό πως το μπλε χρώμα στις υάλους προσδίδεται με την παρουσία Cu ή/και Co. Έχει αναφερθεί ως ενδεχόμενη πηγή Co στις αρχαίες υάλους ο σκουτεριδίτης ο

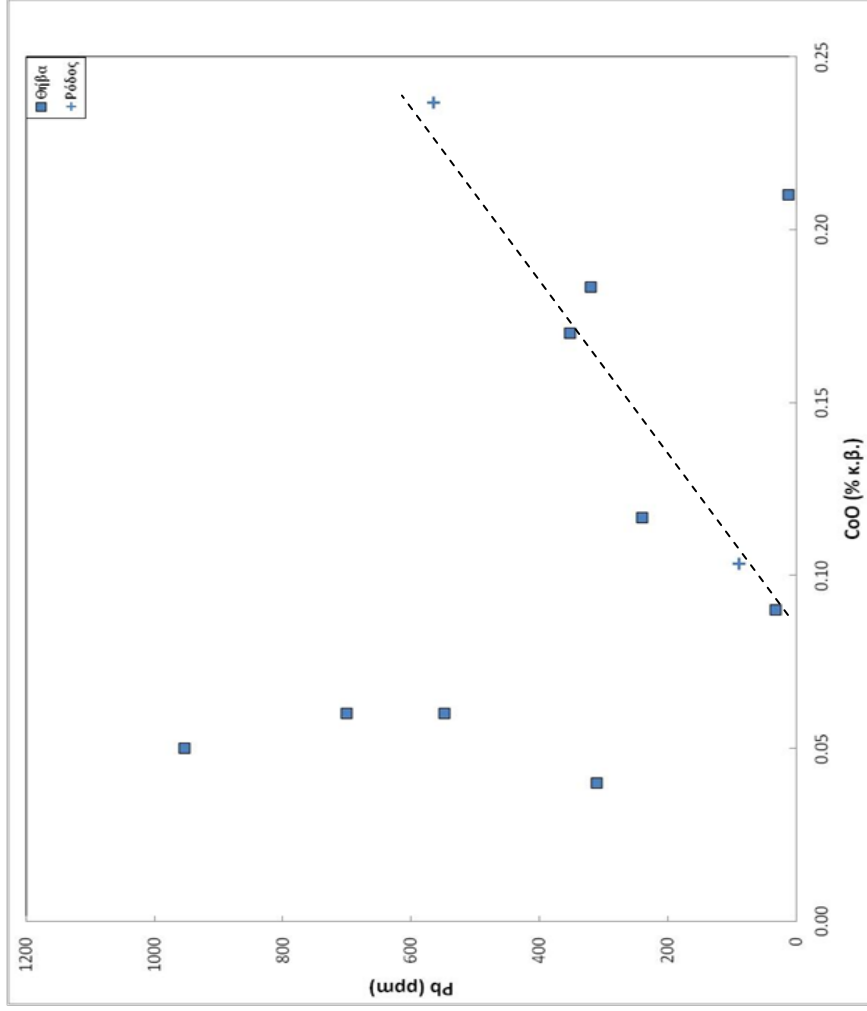
¹⁷ Η γαλένα (αγγλ. Galena) είναι ορυκτό και το κυριότερο μέταλλευμα του μολύβδου. Έχει χημικό τύπο PbS (θειούχος μόλυβδος).

οποίος, εκτός των άλλων μετάλλων, έχει και ως πρόσμειξη το Pb. Επομένως εμφανίζουν Pb είτε άμεσα μέσω της προσθήκης σκουτεριδίτη, ο οποίος περιέχει Pb, είτε έμμεσα με χρήση μπλε υαλοθραυσμάτων (Genga et al 2008), τα οποία χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία της πυροσυσσωμάτωσης. Μεγάλος αριθμός μπλε αντικειμένων κατά την αρχαιότητα (ειδικά μικρών αγγείων) ήταν κατασκευασμένος με την τεχνική του «πυρήνα»¹⁸. Η τεχνική του «πυρήνα» ήταν ευρέως γνωστή στις περιοχές της Μέσης Ανατολής και της Ανατολικής Μεσογείου και ιδιαίτερα στην Αίγυπτο από την εποχή της 18^{ης} Δυναστείας (Nicholson and Henderson 2000). Εκτός από το μπλε χρώμα τα μπλε αυτά αγγεία είχαν και τις γνωστές ζικ-ζακ ή/και ταινιωτές διακοσμήσεις χρώματος κίτρινου ή/και άσπρου. Το χρώμα των διακοσμήσεων αυτών οφείλεται στην ύπαρξη αδιάλυτων σωματιδίων Sb και Pb (Οικονόμου 2009· Ζαχαριάς κ.ά. 2011). Επομένως είναι πολύ πιθανό κατά την επαναχρησιμοποίηση αυτών των θραυσμάτων στο τελικό αντικείμενο, το οποίο είναι η ψήφος, να εμφανίζονται και κάποια ποσοστά Pb ή/και Sb στη σύστασή της, καθώς θεωρείται πολύ δύσκολος έως αδύνατος ο διαχωρισμός των διακοσμήσεων από το κυρίως σώμα αυτών των αγγείων¹⁹. Μάλλον δεν είναι καθόλου τυχαίο το γεγονός ότι οι 11 από τις 15 ψήφους της Θήβας, στις οποίες εντοπίστηκε το Sb, είναι χρώματος μπλε (οι άλλες δύο είναι άσπρες και δύο μαύρες). Παρομοίως 10 από τις 14 ψήφους της Θήβας, στις οποίες εντοπίζεται Pb, είναι και αυτές μπλε.

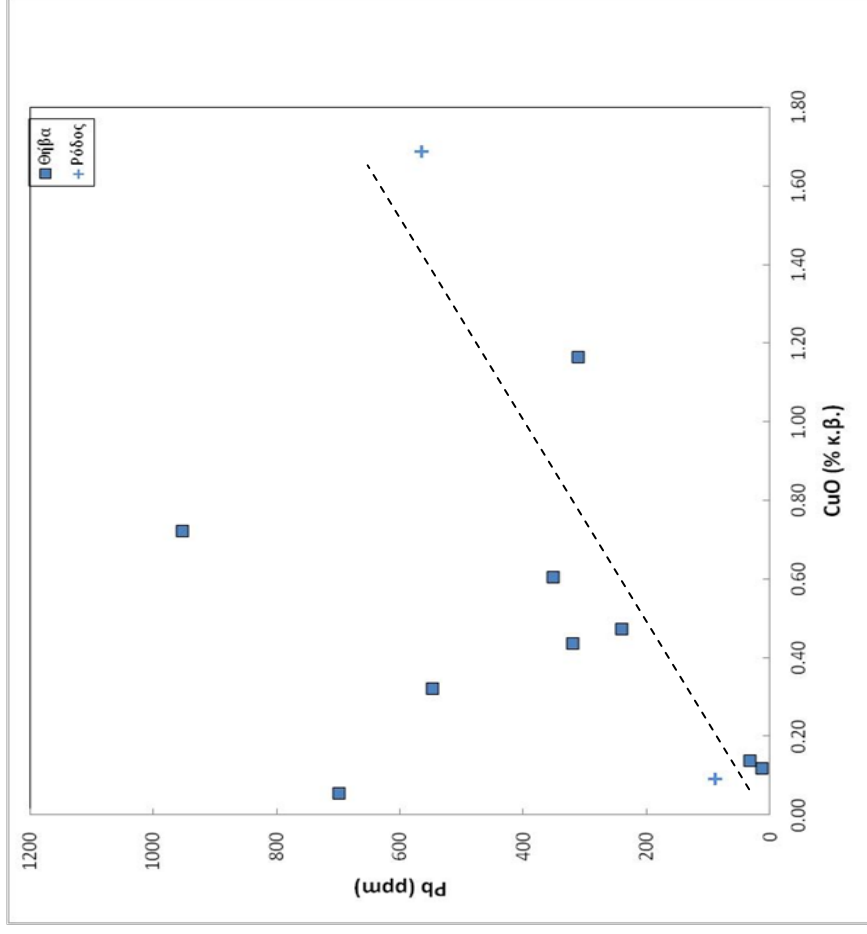
Στα δύο γραφήματα που ακολουθούν (γράφ. 25, 26) παρατηρείται ένας αδρός συσχετισμός των δύο οξειδίων Co και Cu, στα οποία οφείλεται το μπλε χρώμα σε συνάρτηση με τον Pb που εντοπίστηκε στα δείγματα της Θήβας. Στα γραφήματα αυτά παρουσιάζονται επίσης και δύο δείγματα της Ρόδου (R14 και R70), στα οποία εντοπίστηκαν τα τρία στοιχεία (Cu, Co, Pb).

¹⁸ Πρόκειται για την αρχαιότερη μέθοδο παρασκευής υάλινων αγγείων που ανάγεται στον 16^ο αι. π.Χ., με συνεχή εφαρμογή έως την ύστερη Ελληνιστική εποχή (Grose 1989).

¹⁹ Η επαναχρησιμοποίηση της τεχνικής του «πυρήνα» στο β' μισό του 8^{ου} αι. π.Χ. για την κατασκευή αγγείων στη Μεσοποταμία είναι γνωστή στη Ρόδο, όπως διαπιστώνεται από την ανασκαφική έρευνα στην Κάμειρο, όπου βρέθηκαν 5 πολύχρωμα αλάβαστρα τα οποία χρονολογούνται στον 7^ο αι. π.Χ. Παρόμοια παραδείγματα βρίσκονται και στην Ερέτρια, στο Γόρδιο, στη Νινευή, στο Nippur, στην Ur και Ashur καθώς και στην Καρχηδόνα (Τριανταφυλλίδης 2002α).



Γράφημα 25: Συσχετισμός του Pb με το CoO για τα μπλε δείγματα της Ρόδου και της Θήβας.



Γράφημα 26: Συσχετισμός του Pb με το CuO για τα μπλε δείγματα της Ρόδου και της Θήβας.

Co-Cu-Fe-Mn

Το κοβάλτιο (Co) και ο χαλκός (Cu) εντοπίζονται σε λίγα δείγματα τόσο στη συλλογή της Ρόδου όσο και στη συλλογή της Θήβας. Πιο συγκεκριμένα στην Ρόδου το Co εντοπίζεται σε 4 δείγματα και κυμαίνεται από 0,10-0,24 % κ.β. και ο Cu σε 7 δείγματα και κυμαίνεται από 0,09-1,69 % κ.β. Αντίστοιχα στα δείγματα της Θήβας το Co εντοπίζεται σε 11 δείγματα και κυμαίνεται από 0,04-0,21% κ.β. και ο Cu σε 12 δείγματα και κυμαίνεται από 0,04-1,16 % κ.β. Τα δείγματα αυτά, στα οποία εντοπίστηκε ταυτόχρονα και το Co και ο Cu, είναι όλα χρώματος μπλε διαφόρων αποχρώσεων από μπλε πράσινο μέχρι μπλε σκούρο και οφείλουν το χρωματισμό τους στην ύπαρξη αυτών των οξειδίων.

Σε πολλές περιπτώσεις έχει παρατηρηθεί η ταυτόχρονη χρήση Co και Cu για το χρωματισμό υαλωδών αντικειμένων (Walton et al 2009). Στην Αίγυπτο, στα πρώιμα υάλινα αντικείμενα (κυρίως στις φαγεντιανές), η επίτευξη του μπλε χρώματος γινόταν κυρίως με τη χρήση του Cu από την 1^η Δυναστεία (3100-2686 π.Χ.), ενώ τουλάχιστον μετά την 18^η Δυναστεία (1550-1292 π.Χ.) μέχρι την 20^η (1190-1085 π.Χ.) ο χρωματισμός του μπλε επιτυγχάνονταν με χρήση Co (Tite and Shortland 2003). Η πρώτη χρήση κοβαλτίου έχει εντοπιστεί σε πολύ πρώιμες υάλους που χρονολογούνται από τη εποχή του Τούθμωση του 3ου (1479-1425 π.Χ.) (Lilyquist and Brill 1993).

Το Co πολλές φορές συνοδεύεται και με άλλα συστατικά. Συνήθη άλλα στοιχεία που συνοδεύουν το Co είναι το Al, το Mg και το Mn. Όταν συνοδεύεται από αυτά τα στοιχεία τότε πιθανή πηγή Co είναι στυπτηρίες. Οι στυπτηρίες μπορούν να έχουν ποικιλία στοιχείων (όπως Al, Na, K, Mg) και η χρήση τους ήταν ευρεία κατά την αρχαιότητα. Στην Αίγυπτο έχουν εντοπιστεί πηγές στυπτηρίας κοντά στις οάσεις της Δυτικής ερήμου οι οποίες χρησιμοποιούνταν και στο παρελθόν (Lucas and Harris 1962). Πιο συγκεκριμένα στις οάσεις Dakhla και Kharga εντοπίστηκαν στυπτηρίες με υψηλά ποσοστά Co στη σύνθεσή τους (βλ. ενδεικτικές τιμές στυπτηριών στους πίν. 7 και 8) (Shortland et al 2006).

Όαση Kharga	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	MnO	Co (ppm)	Ni (ppm)	Zn (ppm)
KH 17F	11.6	0.03	3.5	0.02		1.82	260	220	390
KH 17FA	11.5	0.04	3.4	0.02		1.80	260	220	390
P1	0.3	0.11	15.5	0.05	0.01	2.97	950	2500	15000

Πίνακας 7: Τυπικές χημικές αναλύσεις πηγών στυπτηριών στην όαση Kharga της Αιγύπτου (Shortland et al 2006).

Όαση Dakhla	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	MnO	Co (ppm)	Ni (ppm)	Zn (ppm)
K3	9.9	0.4	3.5	0.01	0.01	0.52	1800	870	2600
K6	10.9	4.1	4.1	0.09		0.68	1800	1100	3300
P4	12.1	3.8	3.8	0.09	1.31	0.66	960	870	650

Πίνακας 8: Τυπικές χημικές αναλύσεις πηγών στυπτηριών στην όαση Dakhla της Αιγύπτου (Shortland et al 2006).

Επίσης έχει αναφερθεί πως, εκτός της στυπτηρίας που περιέχει κοβάλτιο, άλλη πιθανή πηγή κοβαλτίου μπορεί να είναι κάποιο ορυκτό του κοβαλτίου το οποίο έχει και υψηλά ποσοστά μαγγανίου (Tite et al 2007).

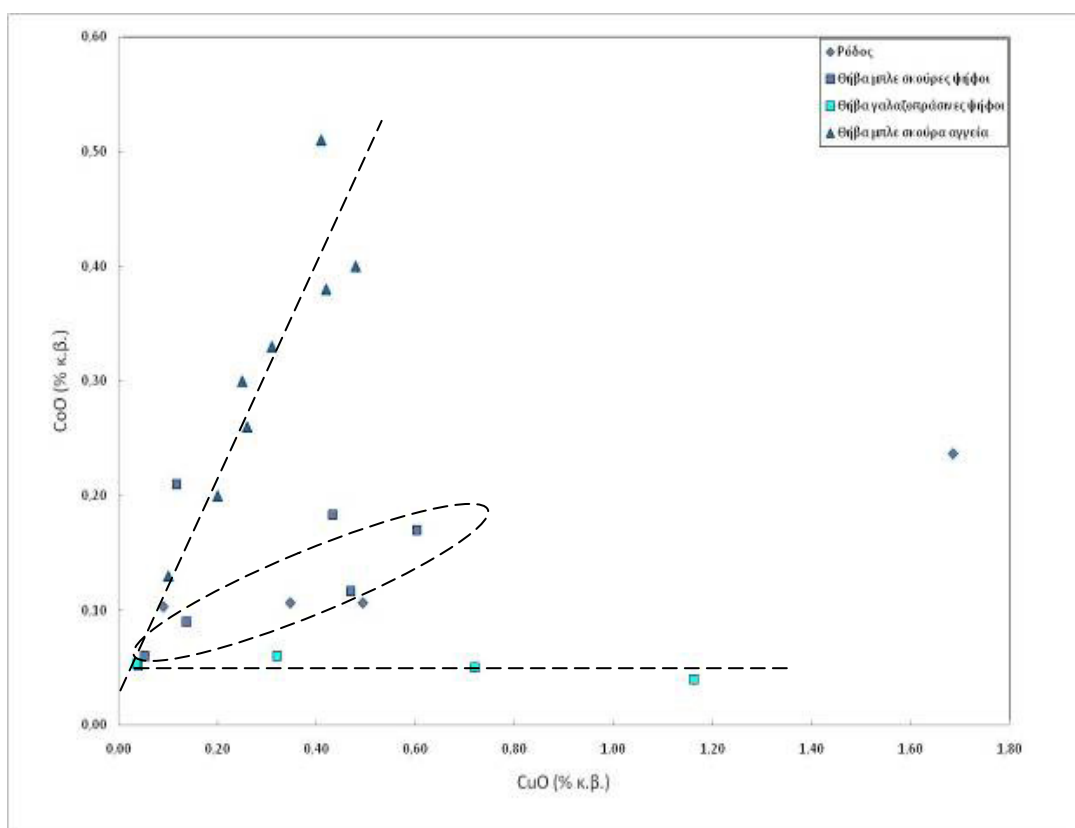
Σε πρόσφατη ανάλυση μπλε αρχαίων υάλινων αγγείων από την περιοχή της Θήβας (Οικονόμου 2009) εντοπίστηκαν αδιάλυτα σωματίδια με ιδιαίτερη χημική σύσταση (βλ. ενδεικτικές τιμές στον πίν. 9).

Σωματίδιο 1		Σωματίδιο 2		Σωματίδιο 3	
Fe ₂ O ₃	80,44	Al ₂ O ₃	9,46	Al ₂ O ₃	9,85
CoO	16,36	Fe ₂ O ₃	72,74	Fe ₂ O ₃	9,13
		CoO	15,22	CoO	1,10

Πίνακας 9: Χημική ανάλυση αδιάλυτων σωματιδίων, που εντοπίστηκαν σε μπλε υάλινα αγγεία από τη Θήβα, που υποδεικνύει πιθανή πρώτη ύλη κοβαλτίου (Οικονόμου 2009).

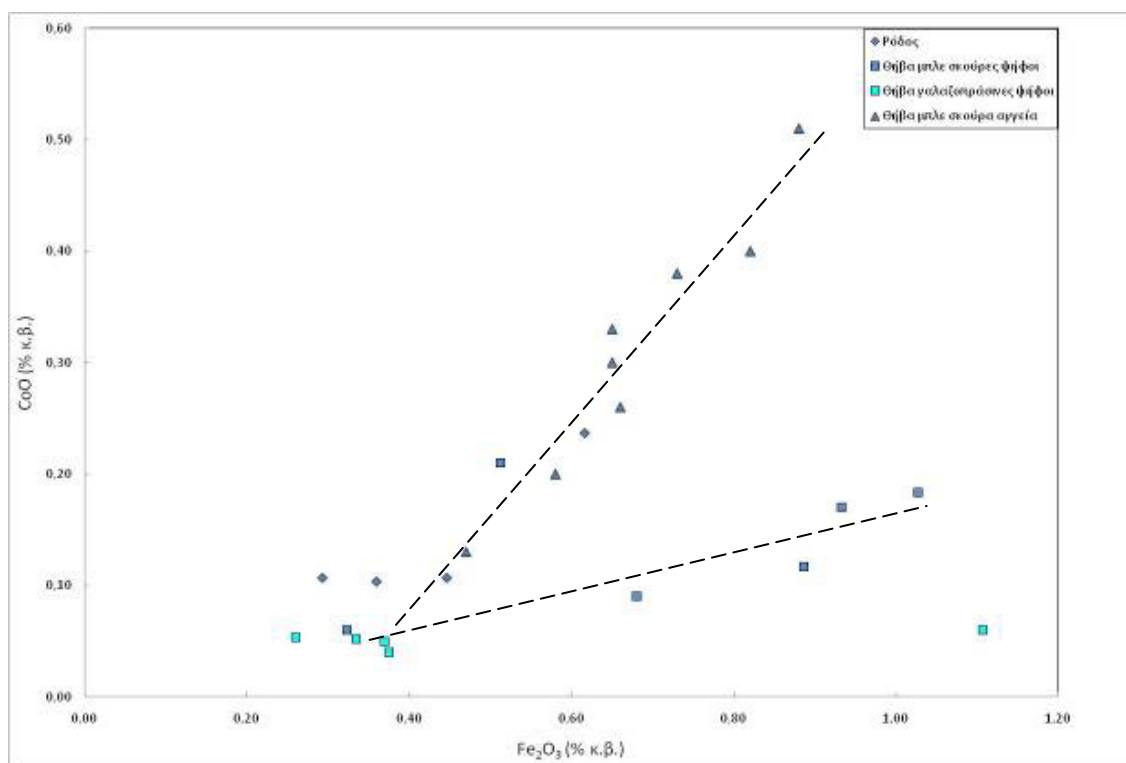
Τα ανωτέρω υποδεικνύουν ότι η πηγή του κοβαλτίου τυπικώς (σωματίδιο 1,2) περιέχει $\text{CoO}/\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3 \approx 1/5/x$ (όπου $x=0-0,7$). Αξιοσημείωτη είναι η απουσία SO_3 που μάλλον αποκλείει κάποια συττηρία ως απώτερη πηγή CoO . Δεδομένου ότι η ύαλος περιέχει συνολικά 0,3 % κ.β. CoO θα έπρεπε να περιέχει και τουλάχιστον $5 \times 0,3 = 1,5$ % Fe_2O_3 , αλλά η χημική ανάλυση του δείγματος υποδεικνύει ότι το συνολικό Fe_2O_3 είναι μόνον 0,65 % κ.β., οπότε η συμβολή της πηγής του CoO σε Fe_2O_3 είναι πιθανώς μόλις 0,2-0,3%. Αυτό είναι δυνατό να σημαίνει ότι η πηγή κοβαλτίου είναι ετερογενής ως προς τη σύσταση και κατά μέσο όρο $\text{CoO}/\text{Fe}_2\text{O}_3 \sim 1$.

Ο συσχετισμός του Cu και του Co , που εντοπίστηκαν ταυτόχρονα στην πλειονότητα των μπλε δειγμάτων τόσο της Ρόδου όσο και της Θήβας, απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα (γράφ. 27). Στο διάγραμμα αυτό συμπεριλαμβάνονται και δείγματα θραυσμάτων υάλινων αγγείων Κλασικής περιόδου που προέρχονται από την περιοχή της Θήβας (Οικονόμου 2009).



Γράφημα 27: Οι σκούρες μπλε και οι μπλε πράσινες ψήφοι καθώς και τα σκούρα μπλε αγγεία καταλαμβάνουν διαφορετικές θέσεις στο διάγραμμα $\text{CoO} - \text{CuO}$.

Από το διάγραμμα φαίνεται ότι τόσο οι ψήφοι από τη Ρόδο και τη Θήβα όσο και τα αγγεία από τη Θήβα καταλαμβάνουν ξεχωριστές περιοχές στο διάγραμμα και παρουσιάζουν διαφορετικό συσχετισμό με βάση τα δύο αυτά οξείδια. Ο συσχετισμός των δύο οξειδίων στις σκούρες μπλε ψήφους είναι σχετικά αδύναμος και η κλίση της ευθείας είναι μικρότερη σε σχέση με τα αγγεία. Αυτό μπορεί να σημαίνει πως είτε η συνταγή μεταξύ των δύο συλλογών είναι διαφορετική είτε χρησιμοποιούνται πηγές κοβαλτίου με διαφορετική σύσταση, που οφείλεται στην ετερογένεια της πηγής. Στα αγγεία η ευθεία πλησιάζει στη μονάδα και αυτό αντανακλά εισαγωγή παρόμοιων περίπου ποσοτήτων τόσο κοβαλτίου όσο και χαλκού και επίσης η ευθεία τέμνει τον άξονα του CoO περίπου στο 0,04%. Στην περίπτωση των μπλε πράσινων παρατηρείται σταθερή ποσότητα CoO περίπου στο 0,05% καθώς η ποσότητα του CuO κυμαίνεται. Μπορεί λοιπόν να υποθεθεί ότι παρασκευάζεται μία βασική μπλε ύαλος η οποία έχει χαμηλά ποσοστά και στα δύο οξείδια (περίπου της τάξης από 0,03% μέχρι 0,05%) και μετά η απόχρωση ρυθμίζεται με επιπλέον προσθήκη είτε μόνο CuO (η περίπτωση των μπλε πράσινων ψήφων) είτε με συνδυασμό CuO-CoO (η περίπτωση των υπόλοιπων ψήφων και αγγείων).



Γράφημα 28: Παρατηρείται ένας θετικός συσχετισμός για τις σκούρες μπλε ψήφους καθώς επίσης και για την υποομάδα των μπλε αγγείων.

Στο διάγραμμα CoO με Fe₂O₃ (γράφ. 28) διακρίνεται πάλι ο θετικός συσχετισμός που υπάρχει τόσο στις σκούρες μπλε ψήφους της Θήβας όσο και στα μπλε αγγεία. Τα δείγματα από τη Ρόδο, καθώς και οι μπλε πράσινες ψήφοι της Θήβας, παρουσιάζουν σχετικά σταθερές τιμές στο CoO (~0,10 % κ.β. και ~0,05% κ.β. αντίστοιχα), ενώ το ποσοστό του Fe₂O₃ κυμαίνεται. Η διαφορετική κλίση των ευθειών των αγγείων και των ψήφων οφείλεται πάλι είτε στη χρήση διαφορετικών πηγών Co είτε στην ετερογένεια της πηγής του Co, όπως αυτό έχει προκύψει από τη μελέτη των αδιάλυτων σωματιδίων Co που έχουν βρεθεί στο σώμα των αγγείων (Οικονόμου 2009). Ένα άλλο στοιχείο που προκύπτει από το παραπάνω διάγραμμα είναι ότι η ευθεία των μπλε αγγείων προεκτεινόμενη τέμνει τον άξονα του Fe₂O₃ περίπου στην τιμή 0,3% κ.β., γεγονός το οποίο είναι συμβατό με το σενάριο που έχει υποτεθεί παραπάνω για τη χρήση βασικής ύαλου αναφοράς R (βλ. γράφ. 11).

Επιπρόσθετα στις σκούρες μπλε και μπλε πράσινες ψήφους της Θήβας, εκτός των άλλων ιχνοστοιχείων, εντοπίστηκε και Mn, το οποίο κυμαίνεται από 18-3531 ppm με μέσο όρο 820 ppm. Επίσης εντοπίστηκε και σε 21 δείγματα της Ρόδου και κυμαίνεται σε τιμές από 128 έως 11950 ppm με μέσο όρο 3797 ppm, οι οποίες είναι υψηλότερες από αυτές της Θήβας.

Το Mn χρησιμοποιήθηκε στην αρχαία υαλουργία κυρίως ως αποχρωματιστής (μαζί με το Sb) (Heide et al 2000). Η χρήση του μαγγανίου ως αποχρωματιστής μπορεί πολλές φορές να δώσει μία μοβ απόχρωση στην ύαλο, ενώ το αντιμόνιο προσδίδει μία κιτρινωπή (Henderson 2000). Η παρουσία του Mn στην ύαλο οξειδώνει το σίδηρο (ο οποίος είναι παρών λόγω πρόσμειξης στις πρώτες ύλες) απομακρύνοντας την πρασινωπή απόχρωση, που οφείλεται στην παρουσία του τελευταίου (Silvestri et al 2008). Ένας δείκτης, που φανερώνει αν το Mn χρησιμοποιείται ως αποχρωματιστής, είναι ο λόγος Mn/(Fe₂O₃)_{TOT} > 2 (Silvestri et al 2005).

Στα δύο επόμενα γραφήματα (γράφ. 29, 30) παρουσιάζεται ο συσχετισμός τόσο του Co όσο και του Cu με το Mn.

Από τα διαγράμματα φαίνεται να υπάρχει ένας θετικός συσχετισμός του Co και του Cu με το Mn μόνο για τις σκούρες μπλε ψήφους. Η απουσία συσχετισμού στις μπλε πράσινες ψήφους μπορεί να δικαιολογηθεί καλύτερα με την υπόθεση ότι το Mn προέρχεται μόνο από την πηγή του Co. Οι μπλε πράσινες ψήφοι έχουν ποσοστό Co σταθερό (σε αντίθεση με το ποσοστό του Cu), ενώ το ίδιο συμβαίνει και με το ποσοστό του Mn.

Η σημαντικότητα του θετικού συσχετισμού του Mn με το Co δεν είναι η ίδια με το συσχετισμό του Mn με το Cu. Ο συσχετισμός του Mn με το Co έχει να κάνει με την πηγή του τελευταίου, η οποία περιέχει στα συστατικά της και Mn. Από την άλλη πλευρά ο συσχετισμός του Cu με το Mn είναι έμμεσος. Η πηγή του Cu δεν περιέχει Mn, αλλά, επειδή ο Cu προστίθεται σε αναλογία με το Co (το οποίο περιέχει Mn), το αποτέλεσμα είναι ένας προφανής θετικός συσχετισμός μεταξύ Cu και Mn.

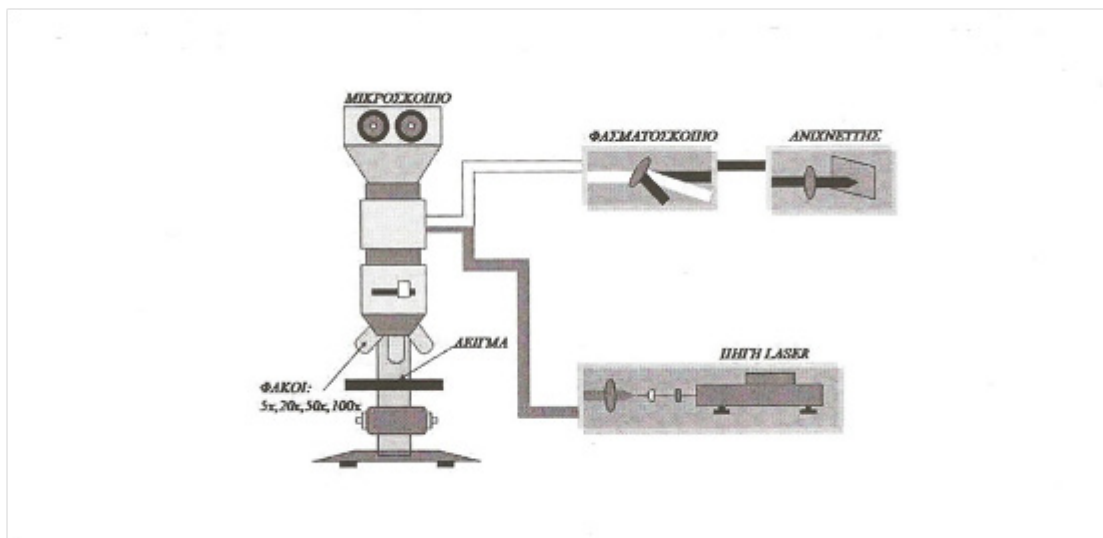
4.3.3 Μελέτη με φασματοσκοπία Raman

Από τα 86 δείγματα της Ρόδου επελέγησαν 23 με κριτήριο το χρωματισμό τους και εξετάστηκαν με τη φασματοσκοπία Raman. Από αυτά τα 23 δείγματα δημιουργήθηκαν 6 ομάδες οι οποίες παριστάνονται στον παρακάτω πίνακα (πίν. 10).

	Ομάδα Α	Ομάδα Β	Ομάδα Γ	Ομάδα Δ	Ομάδα Ε	Ομάδα ΣΤ
Δείγμα	R.10	R.8	R.5	R.9	R.30	R.13
	R.15	R.31	R.18	R.17	R.32	R.43
	R.36	R.33	R.39	R.35	R.38	
	R.37	R.40		R.45	R.46	
	R.42					
Χρωματισμός- Διαφάνεια	Κίτρινο- λεμονί, σχεδόν διαφανή	Άσπρα και ελαφρώς μπλε, σχεδόν διαφανή	Μπλε πράσινα, ημιδιαφανή	Ελαφρώς πράσινα- μπλε, διαφανή	Ελαφρώς μπλε, διαφανή	Ελαφρώς λαδί- πράσινα, διαφανή

Πίνακας 10: Διαχωρισμός των προς εξέταση δειγμάτων σύμφωνα με τον χρωματισμό τους.

Τα φάσματα Raman μετρήθηκαν με φασματόμετρο micro-Raman (εικ. 25) (μ-Raman) System RM Renishaw 1000 με λέιζερ (της εταιρείας Elforlight) γραμμής διέγερσης 532 nm (Nd-YAG). Η ισχύς διέγερσης της δέσμης ήταν 60 mW, ενώ η διαχεόμενη δέσμη συλλέχθηκε από οπτικό μικροσκόπιο Leica, εξοπλισμένο με φακούς 5x, 20x, 50x και 100x. Το φασματόμετρο βαθμονομήθηκε με βάση το φάσμα Si με χαρακτηριστική κορυφή στα 520 cm^{-1} .



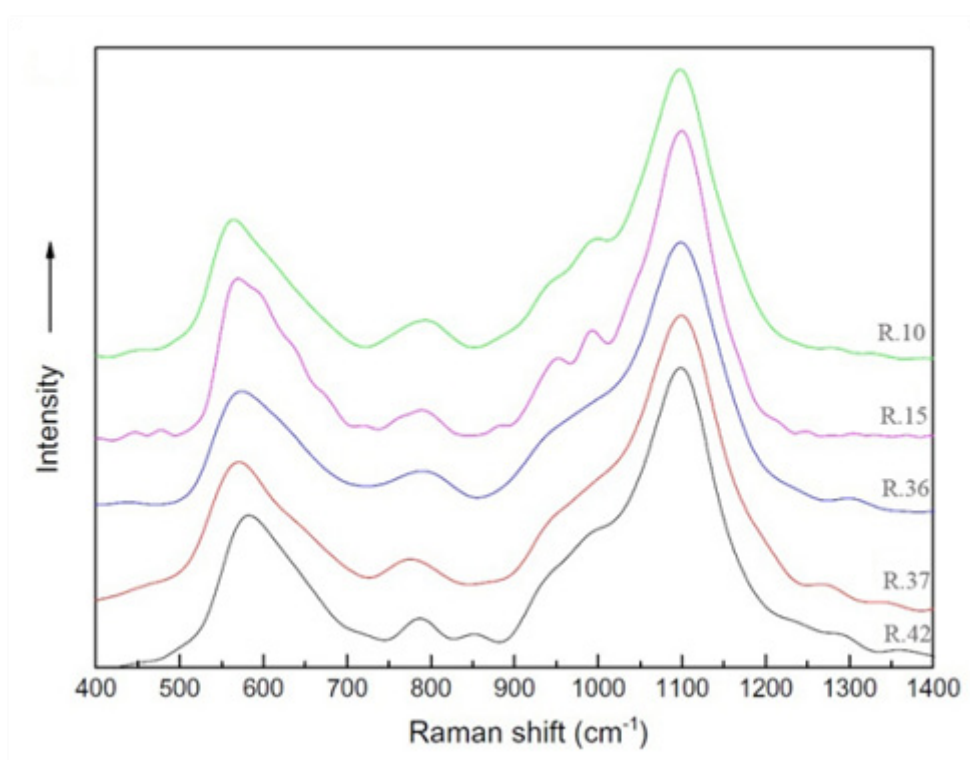
Εικόνα 25: Σχηματική αναπαράσταση φασματόμετρου Raman.

Η προσέγγιση στην παρούσα εργασία βασίζεται σε μελέτη που έχει αναπτύξει ο Colomaban (Liem et al 2002· Colomaban 2003· Colomaban et al 2003· Colomaban et al 2004· Colomaban et al 2006a· Colomaban et al 2006b) με την οποία μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τις θερμοκρασίες επεξεργασίας των υάλων. Γενικά η μέθοδος που θα ακολουθηθεί είναι έμμεση και λαμβάνει υπόψη προσεγγιστικές υποθέσεις (Colomaban 2003· Sayre and Smith 1961). Παρόλα αυτά είναι ιδανική για τη μελέτη υάλων, εφυαλωμάτων, σμάλτων και σχετικών υλικών, αφού είναι μη καταστρεπτική σε αντίθεση με τις πιο άμεσες και πιο ακριβείς μεθόδους που περιλαμβάνουν δειγματοληψία και θέρμανση (DTA-TGA).

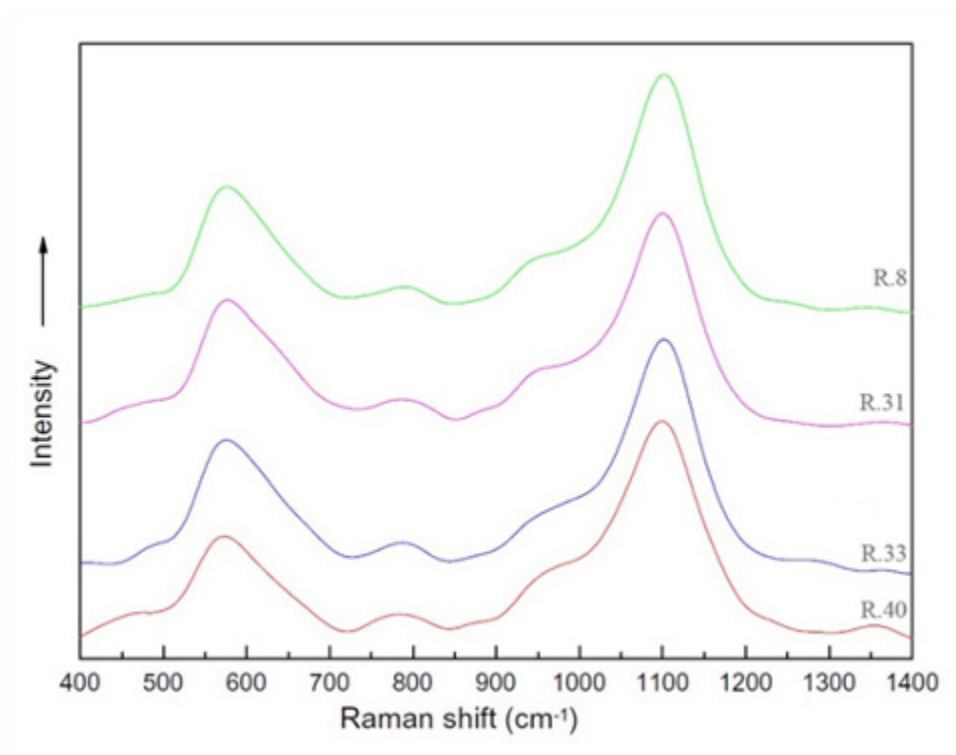
Τα φάσματα Raman των υάλων παρουσιάζουν, ανάλογα με τη σύστασή τους, διάφορες κορυφές, ανάμεσα στις οποίες είναι και οι κορυφές που εντοπίζονται περίπου στα 500 cm^{-1} και στα 1000 cm^{-1} . Οι κορυφές αυτές υποδηλώνουν τις δονήσεις κάμψης και τάσης αντίστοιχα του δεσμού Si-O. Πιο συγκεκριμένα ο λόγος του εμβαδού που υπάρχει «κάτω» από τις κορυφές (σημειώνεται ως A_{500} και A_{1000} αντίστοιχα) αποκαλύπτει πληροφορίες σχετικές με τη σύνδεση-συνδεσιμότητα του τροποποιημένου πυριτικού δικτύου και τελικά στοιχεία σχετικά με τη θερμοκρασία επεξεργασίας των υάλων (Liem et al 2002· Colomaban 2003· Colomaban et al 2006b· Prinsloo and Colomaban 2008).

Τα φάσματα Raman των δειγμάτων που μετρήθηκαν παριστάνονται στα γραφήματα 31-36. Από τα φάσματα αυτά και με τη βοήθεια του στατιστικού πακέτου

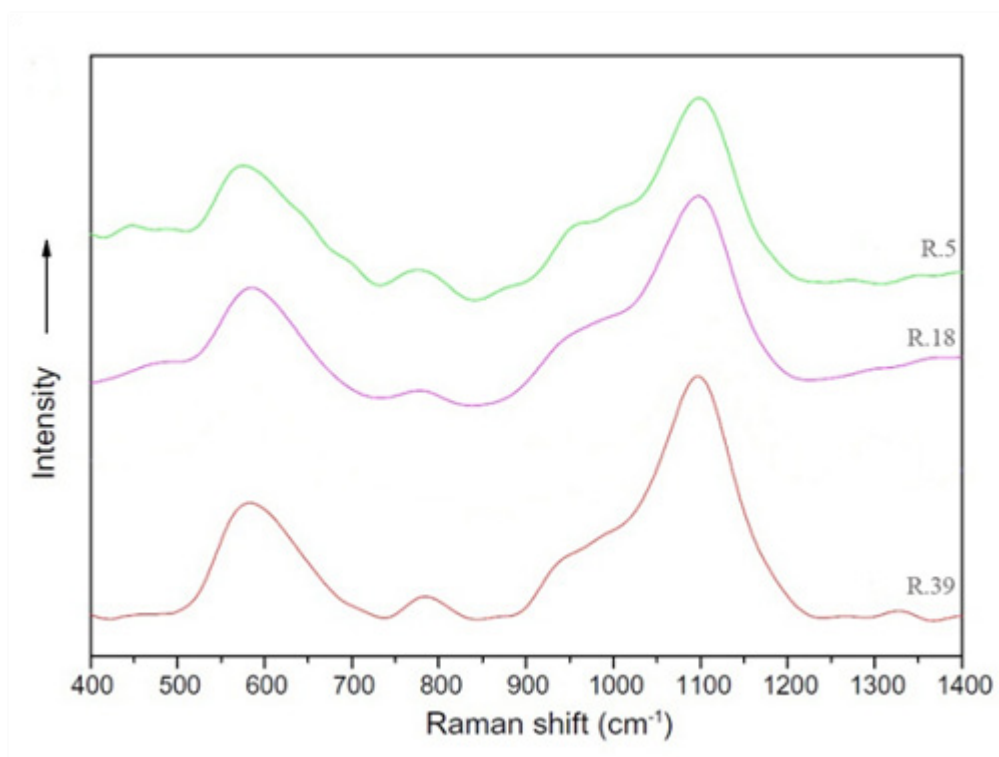
Origin υπολογίστηκε για κάθε δείγμα ο «δείκτης Raman» ή αλλιώς Raman Index (R.I.). Πρόκειται ουσιαστικά για το λόγο των εμβαδών των κορυφών A_{500}/A_{1000} . Εκτός από το δείκτη Raman υπολογίστηκε επίσης και ο χημικός δείκτης Chemical Index (C.I.), ο οποίος ουσιαστικά είναι λόγος των mole των τροποποιητών δικτύου προς τους υαλοσχηματιστές. Στη συγκεκριμένη περίπτωση ο C.I. υπολογίστηκε: $C.I. = (0,5Na_2O + 0,5K_2O + CaO)/(SiO_2 + 0,5Al_2O_3)$. Οι τιμές τόσο του R.I. όσο και του C.I. παρουσιάζονται στον πίνακα 11.



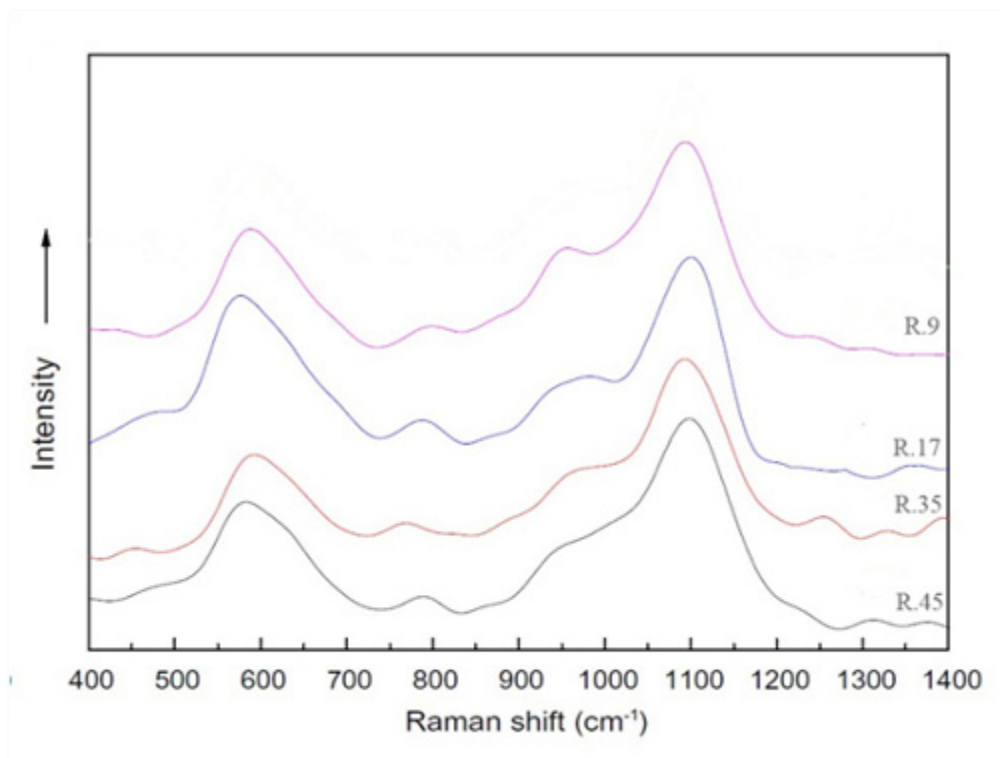
Γράφημα 31: Χαρακτηριστικά φάσματα Raman της ομάδας Α των δειγμάτων.



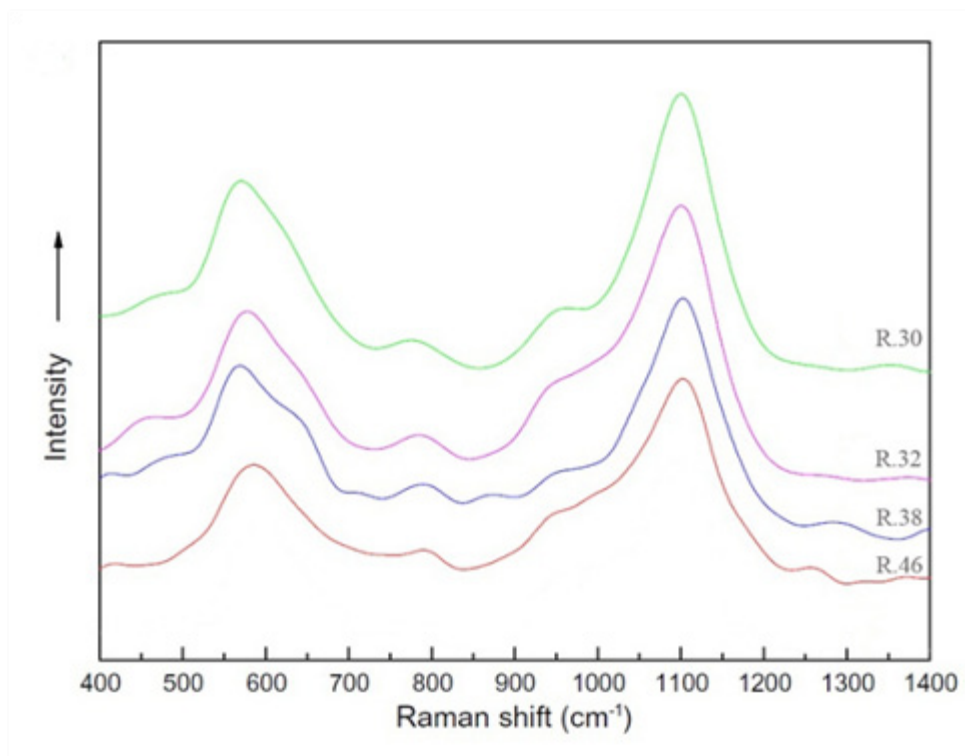
Γράφημα 32: Χαρακτηριστικά φάσματα Raman της ομάδας Β των δειγμάτων.



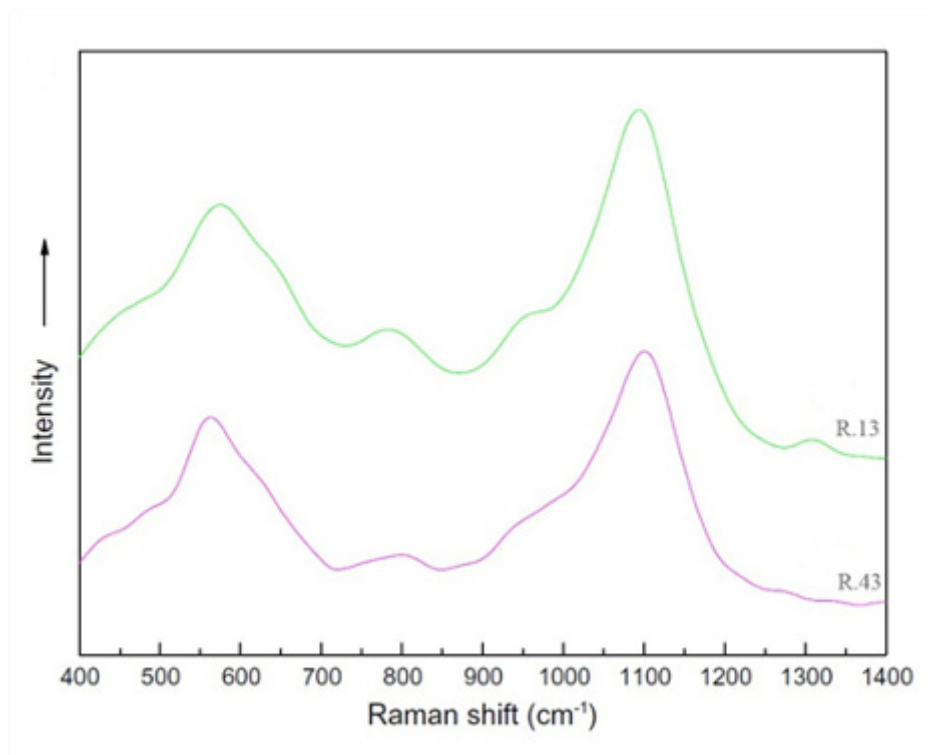
Γράφημα 33: Χαρακτηριστικά φάσματα Raman της ομάδας Γ των δειγμάτων.



Γράφημα 34: Χαρακτηριστικά φάσματα Raman της ομάδας Δ των δειγμάτων.



Γράφημα 35: Χαρακτηριστικά φάσματα Raman της ομάδας Ε των δειγμάτων.

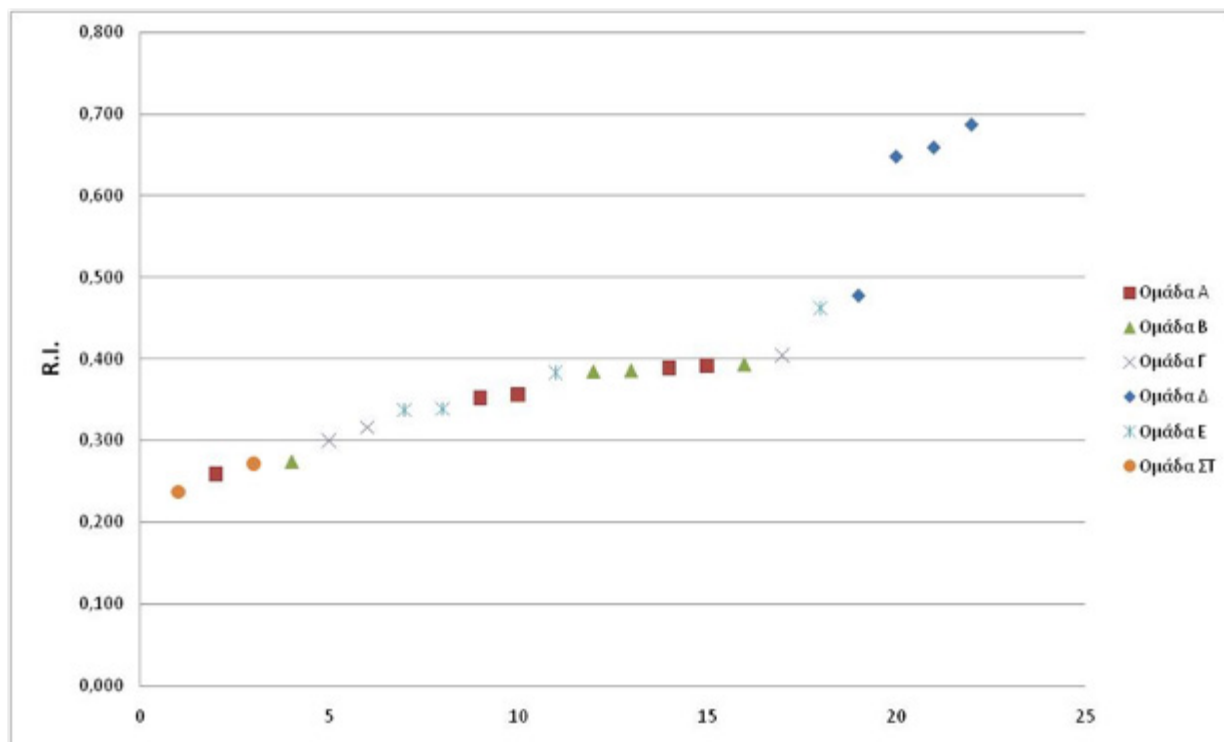


Γράφημα 36: Χαρακτηριστικά φάσματα Raman της ομάδας ΣΤ των δειγμάτων.

	Ομάδα Α					Ομάδα Β				Ομάδα Γ		
Αριθμός Δείγματος	R.10	R.15	R.36	R.37	R.42	R.8	R.31	R.33	R.40	R.5	R.18	R.39
R.I.	0,352	0,356	0,389	0,259	0,391	0,384	0,386	0,393	0,274	0,316	0,300	0,404
C.I.	0,184	0,207	0,181	0,194	0,238	0,058	0,222	0,206	0,195	0,217	0,232	0,233
	Ομάδα Δ					Ομάδα Ε				Ομάδα ΣΤ		
Αριθμός Δείγματος	R.9	R.17	R.35	R.45		R.30	R.32	R.38	R.46	R.13	R.43	
R.I.	0,477	0,687	0,648	0,659		0,383	0,337	0,339	0,462	0,237	0,272	
C.I.	0,227	0,214	0,236	0,234		0,249	0,214	0,227	0,222	0,225	0,223	

Πίνακας 11: Τιμές Chemical Index (C.I.) και Raman Index (R.I.) των δειγμάτων.

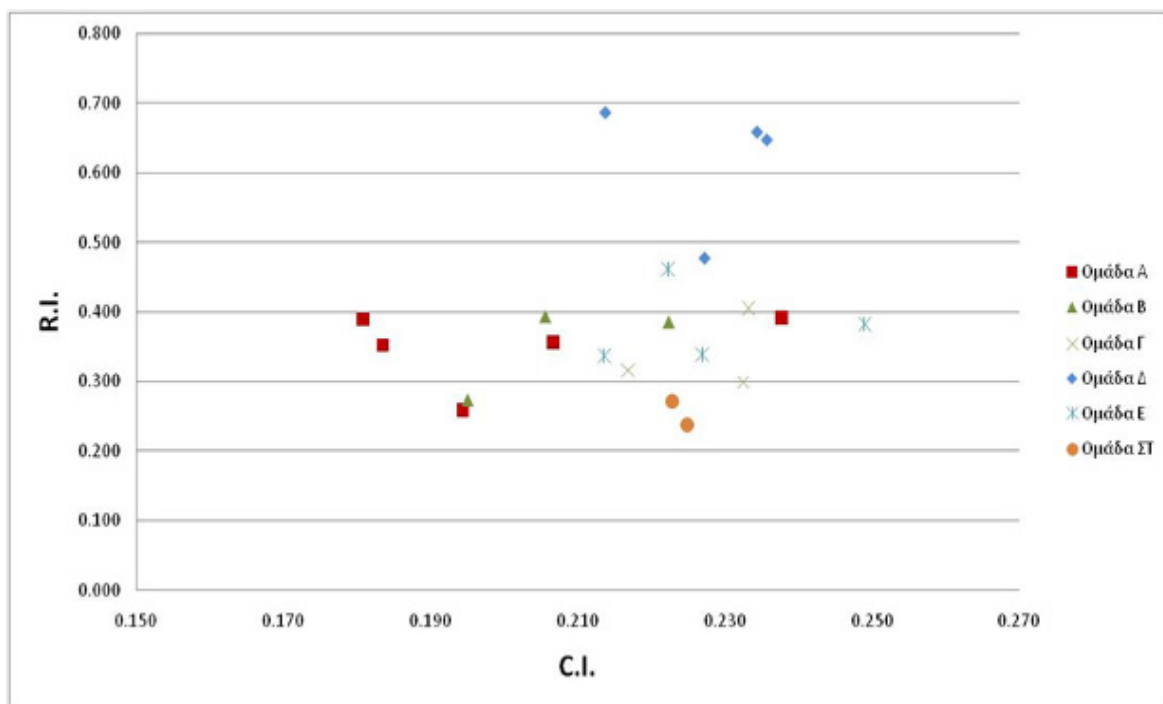
Στο παρακάτω γράφημα (γράφ. 37) παρουσιάζεται ο R.I. των δειγμάτων.



Γράφημα 37: Ο Raman Index (R.I) για το σύνολο των 23 δειγμάτων.

Από το γράφημα (γράφ. 37) προκύπτει ότι οι πρώτες 6-8 ύαλοι σύμφωνα με τον Colomaban (Colomaban 2003· Colomaban et al 2006b· Prinsloo and Colomaban 2008) έχουν επεξεργαστεί σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες μικρότερες των 600 °C ($A_{500}/A_{1000} \leq 0,35$), ενώ οι υπόλοιπες έχουν επεξεργαστεί σε υψηλότερες θερμοκρασίες, οι οποίες παραμένουν σε τιμές χαμηλότερες των 1000 °C.

Εάν ο R.I. και ο C.I. παρέχουν παρόμοιες πληροφορίες, τότε θα πρέπει να συνδέονται με έναν μονότονο αντίστροφο τρόπο. Αυτή η παραδοχή βρίσκει εφαρμογή σε πιο σκληρά υλικά (πορσελάνες κ.λπ.), ενώ δεν εφαρμόζεται με ακρίβεια σε κοινές ύαλους (Colomaban 2003). Όπως φαίνεται στο παρακάτω γράφημα (γράφ. 38), ο συσχετισμός μεταξύ των δύο δεικτών είναι ήπια αρνητικός στην περίπτωση των δειγμάτων της Ρόδου. Το ότι ο συσχετισμός μεταξύ των δύο αυτών δεικτών δεν είναι ισχυρός μπορεί να είναι αποτέλεσμα τόσο των προσεγγιστικών υποθέσεων που έχουν ληφθεί υπόψη στον ορισμό τους όσο και των έμφυτων διαφορών μεταξύ του μέσου δικτύου (average network) και του R.I.



Γράφημα 38: Συσχετισμός του Raman Index σε συνάρτηση με τον Chemical Index.

Από τη σχέση μεταξύ των δύο δεικτών (R.I. και C.I.), όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα (γράφ. 38), σημειώνονται οι εξής παρατηρήσεις:

α) Μεταξύ των 7 πιο «σκληρών» υάλων σύμφωνα με το δείκτη C.I. (δείγματα R.8, R.36, R.10, R.37, R.40, R.33 και R.15) τα 5 βρίσκονται στη μέση από τα «σκληρά» δείγματα σύμφωνα με τον R.I., ενώ τα άλλα 2 βρίσκονται στην περιοχή των «μαλακών» δειγμάτων.

β) Τρία από τα δείγματα της ομάδας Δ (R.9, R. 35 και R.45) καταλαμβάνουν τρεις συνεχόμενες υψηλές θέσεις στο διάγραμμα R.I. και επίσης έχουν παρόμοιους δείκτες C.I. Το τελευταίο υποδεικνύει παρόμοια χημική σύσταση μεταξύ των δειγμάτων (συμπέρασμα με βάση τον C.I.) και παρόμοιες συνθήκες επεξεργασίας (συμπέρασμα με βάση τον C.I. και τον R.I.). Το τέταρτο δείγμα της ομάδας Δ (R.17) είναι το πιο σκληρό σύμφωνα με την κατάταξη R.I. και το ένατο ακόμη πιο σκληρό σύμφωνα με την κατάταξη C.I. Αυτό σημαίνει ότι το R.17 προέρχεται από διαφορετική και σκληρότερη φουρνιά (batch) πρώτων υλών, η οποία επεξεργάσθηκε σε υψηλότερη θερμοκρασία.

Συμπερασματικά οι δύο δείκτες R.I. και C.I. μπορούν να συνδυαστούν για τον εντοπισμό διαφορών μεταξύ δειγμάτων, τα οποία έχουν παρόμοια εμφάνιση και προέρχονται από το ίδιο αρχαιολογικό περιβάλλον. Ακόμα και η χρήση μόνο του δείκτη R.I. μπορεί να οδηγήσει στα ίδια συμπεράσματα (ο δείκτης C.I. μπορεί να επιβεβαιώσει

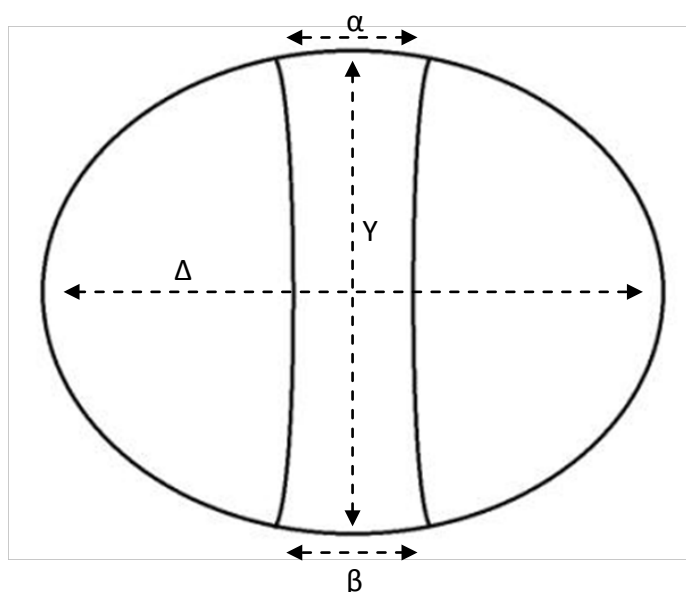
τους διάφορους ισχυρισμούς). Βέβαια ορθότερη και πιο ασφαλής θα ήταν η χρήση και των δύο δεικτών κυρίως όταν τα δείγματα ποικίλλουν (σε σχέση με το χρώμα, το μέρος από όπου έχουν προέλθει και τη χρονολόγησή τους).

4.3.4 Μακροσκοπικές-μικροσκοπικές παρατηρήσεις

Εξωτερικά χαρακτηριστικά-μακροσκοπική μελέτη

Τα προς μελέτη δείγματα παρουσιάζουν ποικιλομορφία τόσο σε σχέση με το χρωματισμό τους όσο και με το σχήμα τους. Τα δείγματα της Ρόδου στην πλειονότητά τους είναι ημίσεα τμήματα ψήφων (61 από τα 86 δείγματα). Τα υπόλοιπα (20 από τα 86) έχουν φακοειδές σχήμα. Υπάρχουν και 5 δείγματα τα οποία έχουν ακανόνιστο σχήμα²⁰. Τα δείγματα αυτά ταξινομούνται σε σχέση με το χρωματισμό τους ως εξής: πράσινα διαφανή ($n=24$), κίτρινα διαφανή ($n=23$), μπλε ανοιχτά διαφανή ($n=15$), λευκά διαφανή ($n=11$), λαδί διαφανή ($n=4$), καφέ διαφανή ($n=1$), μπλε πράσινα-τυρκουάζ ($n=8$).

Οι διαστάσεις όλων των δειγμάτων μετρήθηκαν με παχύμετρο ακριβείας (βερνιέρο). Συγκεκριμένα στα ημίσεα δείγματα μετρήθηκαν 4 διαστάσεις, όπου ήταν δυνατό. Οι διαστάσεις αυτές παριστάνονται στην εικόνα 26 και σημειώνονται με Δ , Υ , α και β . Πρόκειται για τη μεγάλη οριζόντια διάμετρο (Δ), το ύψος του τμήματος (Υ) (διαμπερής οπή για την ανάρτηση της ψήφου), καθώς επίσης και για τις δύο εσωτερικές διαμέτρους του τμήματος, την πάνω (α) και την κάτω (β).

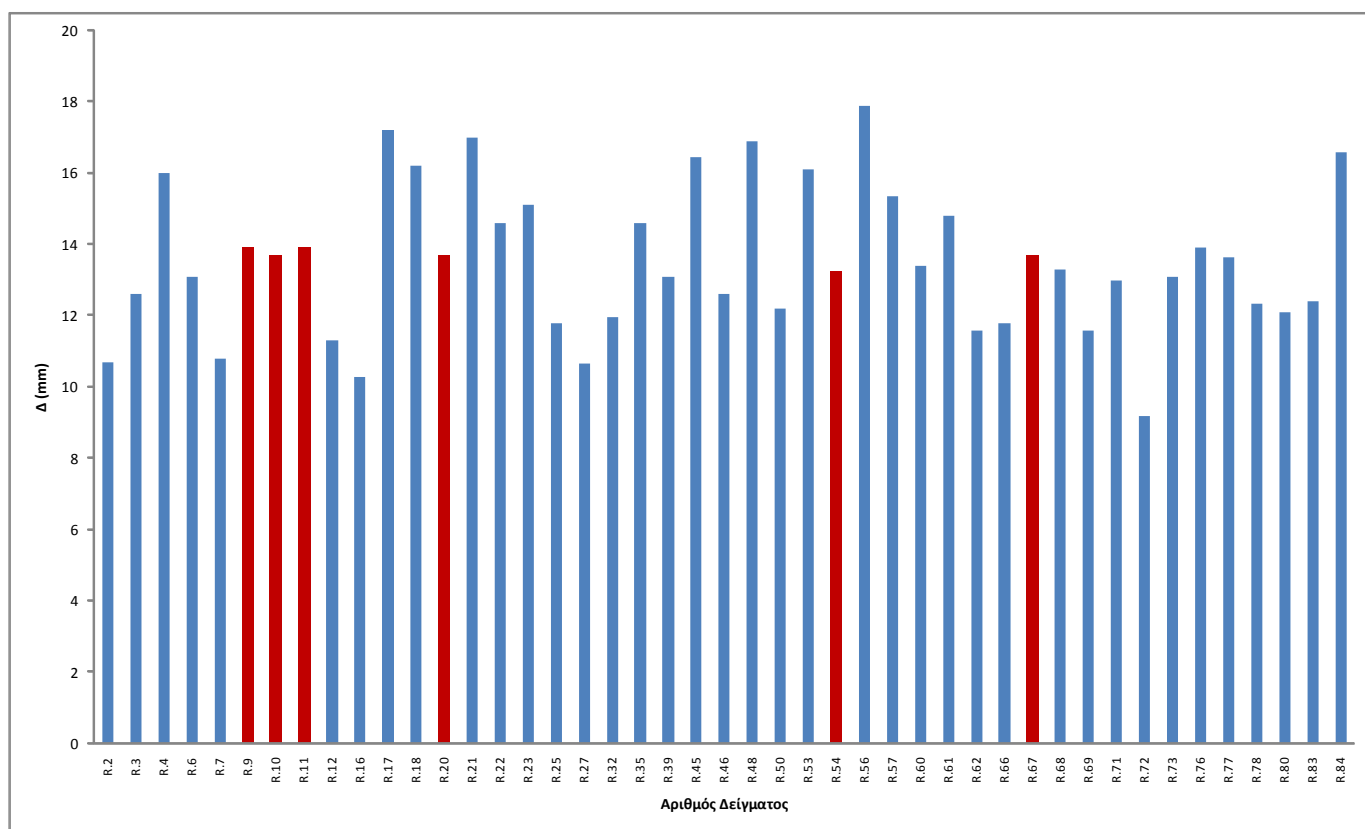


Εικόνα 26: Οι διαστάσεις οι οποίες υπολογίστηκαν με τη βοήθεια παχυμέτρου ακριβείας.

²⁰ Ένα είναι θραύσμα αγγείου (R43), ένα είναι πιθανότατα υαλοπερίσσειμα (R81), δύο είναι θραύσματα από επίπεδες ράβδους (R13 και R63) και ένα τμήμα κυλινδρικής ψήφου (R29).

Οι τιμές που δεν είναι συμπληρωμένες οφείλονται στο γεγονός ότι η θραύση των συγκεκριμένων ψήφων ήταν σε μεγάλο βαθμό, ώστε να μην υπάρχει δυνατότητα υπολογισμού των διαστάσεων. Επίσης υπάρχουν και 13 δείγματα τα οποία έχουν ακανόνιστα σχήματα και δεν επιτρέπουν τον υπολογισμό καμίας από τις 4 διαστάσεις.

Στόχος της μέτρησης αυτών των διαστάσεων είναι η εύρεση κοινών ομάδων ψήφων, ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τον τρόπο κατασκευής τους. Από το σύνολο των δειγμάτων της Ρόδου ξεχωρίζουν έξι δείγματα τα οποία έχουν παρόμοιες διαστάσεις και χρωματισμό. Η εξάδα αυτή αποτελείται από τα δείγματα R9, R10, R11, R20, R54 και R67 (γράφ. 39), και οι διαστάσεις τους παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (πίν. 12).



Γράφημα 39: Στο γράφημα παρουσιάζονται τα δείγματα σε συνάρτηση με τη διάμετρο Δ. Ξεχωρίζουν με κόκκινο χρώμα οι έξι ψήφοι με περίπου ίδια διάμετρο.

Δείγμα	Δ (mm)	Υ (mm)	A (mm)	B (mm)
R9	13,9	11,8	3,0	
R10	13,7	13,0		
R11	13,9	12,5		
R20	13,7	12,0	3,2	3,5
R54	13,3	11,1		
R67	13,7	10,9		

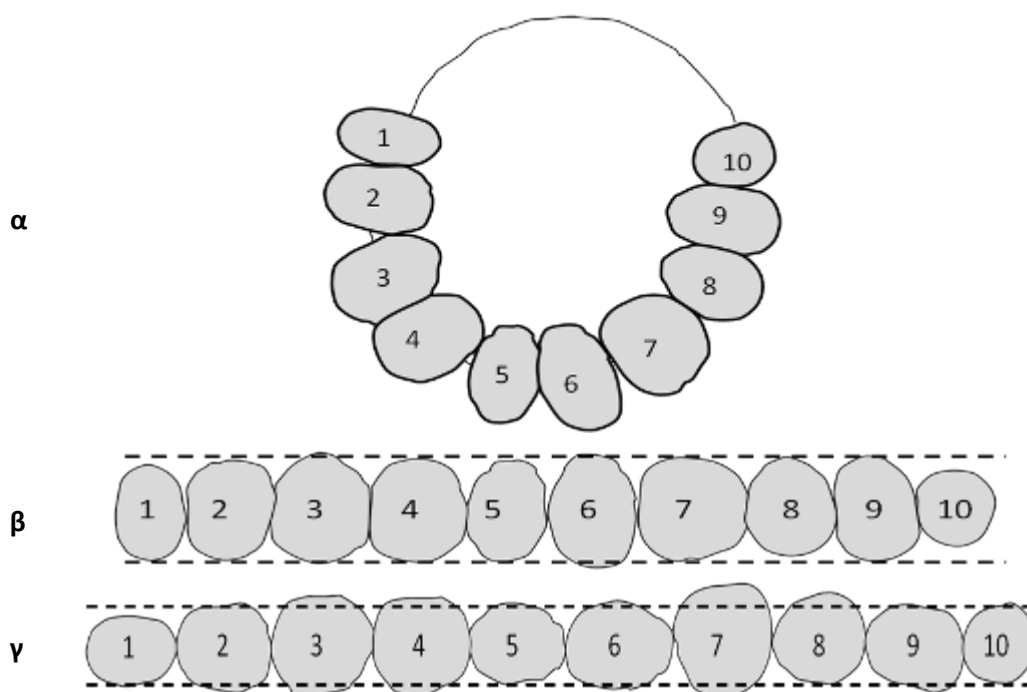
Πίνακας 12: Οι διαστάσεις Δ, Υ, Α και Β για τα έξι χαρακτηριστικά δείγματα της Ρόδου.

Η τιμή της διαμέτρου Δ είναι $13,7 \pm 0,1$ mm (με εξαίρεση το δείγμα R54 που έχει διάμετρο 13,3 mm, ενδεχομένως επειδή δεν είναι ακριβώς μισή η ψήφος), ενώ το ύψος του τρήματος κυμαίνεται σε μεγαλύτερο βαθμό (από 10,9 μέχρι 13,0 mm). Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι κατά τη διαδικασία κατασκευής των ψήφων υπήρχε καλύτερος έλεγχος ως προς τη μία διάσταση (Δ). Από το γεγονός αυτό συμπεραίνεται ότι γινόταν χρήση κάποιας μήτρας ή ζεύγους μητρών, με τις οποίες, ενώ το πλάτος της ψήφου παρέμενε σταθερό ή σχεδόν σταθερό, το ύψος της μεταβαλλόταν ανάλογα με τη διαδικασία διάτρησης ή τη διαδικασία έγχυσης της υάλου στη μήτρα κ.λπ. Εξάλλου ένα αισθητικά ωραίο περιδέрайο βασίζεται στην ομοιομορφία του πλάτους των ψήφων και όχι τόσο στο ύψος των ψήφων καθεαυτών. Ένα τέτοιο απλοποιημένο παράδειγμα φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (εικ. 27), όπου εκτιμάται ότι το περιδέрайο αυτό έχει ελκυστική όψη, επειδή σχεδόν όλες οι ψήφοι έχουν παρόμοιο μέγεθος στη διάμετρο Δ, ενώ το ύψος κάθε μίας ψήφου διαφέρει κατά πολύ.



Εικόνα 27: Περιδέрайο με αρχαίες ψήφους. Χαρακτηριστικό είναι ότι η διάσταση του Υ έχει μεγάλη διακύμανση σε σχέση με τη διάσταση Δ.

Πιο εύκολα γίνεται αυτό αντιληπτό βλέποντας τα σχήματα (εικ. 28) που προέκυψαν από το περιδέραιο της εικόνας 27 με τη βοήθεια λογισμικού επεξεργασίας εικόνας.



Εικόνα 28: α) Το περίγραμμα του περιδεραιού της εικόνας 27, β) Διάταξη των ψήφων παράλληλα ως προς τη διάμετρο Δ, γ) Διάταξη των ψήφων παράλληλα ως προς το ύψος Υ.

Στα παραπάνω σχήματα οι ψήφοι του περιδεραιού τοποθετήθηκαν η μία πλάι στην άλλη σε σχέση τόσο με τη διάμετρό τους (Δ)(εικ. 28β) όσο και με το ύψος τους (Υ) (εικ. 28γ). Γίνεται πλέον φανερό πως η διάμετρος (Δ) ελέγχεται σαφώς καλύτερα σε σχέση με το ύψος (Υ) και αισθητικά το αποτέλεσμα της εικόνας 28β είναι πιο συμμετρικό σε σχέση με αυτό της εικόνας 28γ.

Οι δύο οπές του τρήματος παρουσιάζουν διαφορετικό σχήμα στις ψήφους αυτές. Το ένα άκρο έχει σχήμα καμπύλο, ενώ το άλλο είναι πιο επίπεδο²¹. Από την ομάδα αυτών των έξι ψήφων στις τέσσερις (R9, R10, R20 και R54) διακρίνεται με ευκολία το καμπύλο σχήμα του τρήματος στο πάνω μέρος τους (εικ. 29 και 30).

²¹ Εφεξής ο χαρακτηρισμός «πάνω μέρος» αναφέρεται στο τμήμα της ψήφου όπου το άκρο του τρήματος έχει καμπύλο σχήμα, ενώ αντίθετα ο χαρακτηρισμός «κάτω μέρος» αφορά το τμήμα της ψήφου όπου το άκρο του τρήματος έχει επίπεδο σχήμα.



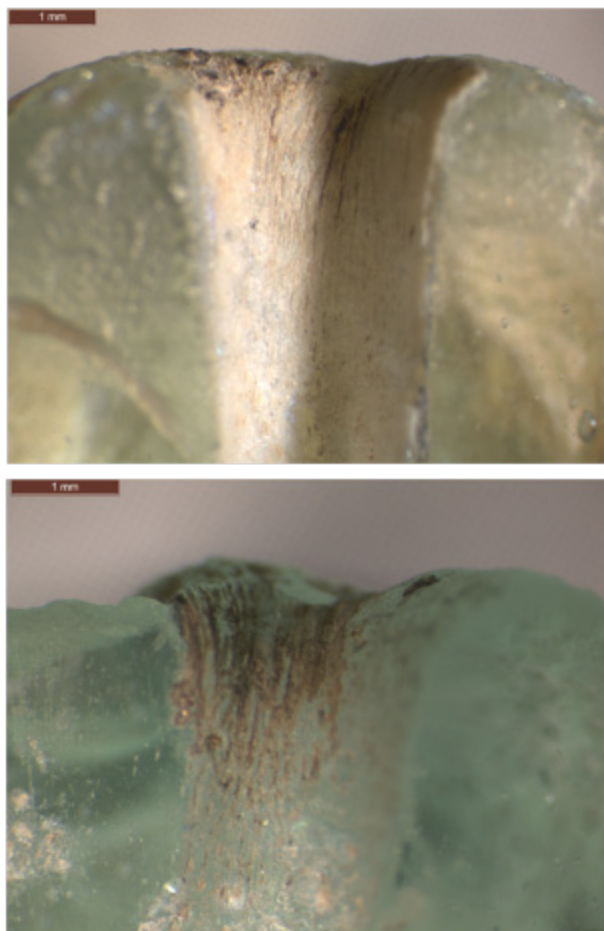
Εικόνα 29: Τα δείγματα R.9, R.10, R.20, R.54. Χαρακτηριστικό των δειγμάτων αυτών είναι ότι έχουν παρόμοια διάμετρο, ενώ το ύψος έχει μεγαλύτερη διακύμανση.



Εικόνα 30: Δείγμα R.20. Χαρακτηριστικές είναι οι διαφορετικές μορφές του πάνω μέρους της ψήφου και του κάτω. Στο πάνω μέρος παρατηρείται μία καμπύλη περιοχή, ενώ στο κάτω μέρος η περιοχή είναι επίπεδη.

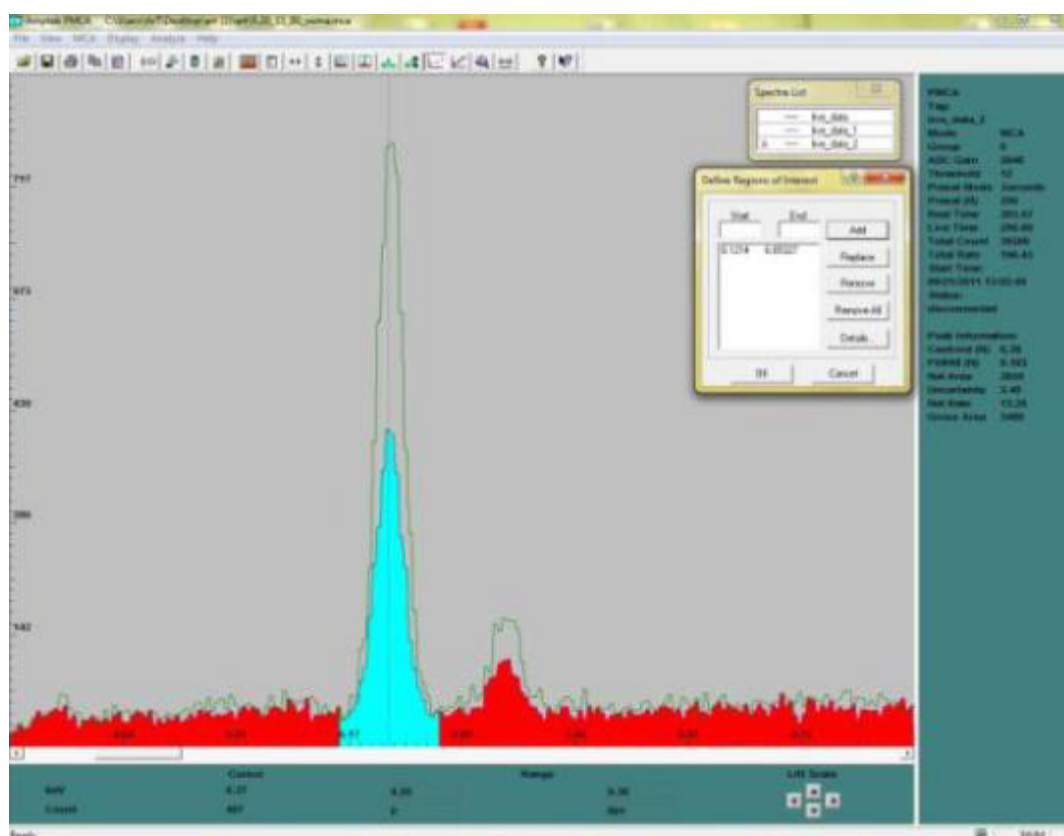
Αυτή η παρατήρηση οδηγεί στην υπόθεση ότι η διαμόρφωση του κεντρικού αυλού έγινε με κάποιο αιχμηρό εργαλείο-επίμηκες έμβολο, ενώ πιθανώς το κάτω μέρος των ψήφων βρισκόταν σε σταθερό επίπεδο σημείο. Η υπόθεση αυτή σε συνδυασμό με το γεγονός ότι τα δείγματα εμφανίζουν σταθερή διάμετρο (Δ) οδηγεί στο συμπέρασμα ότι για την κατασκευή των συγκεκριμένων ψήφων χρησιμοποιήθηκε κάποιο καλούπι (μήτρα) και η διάτρηση έγινε από πάνω. Σύμφωνα λοιπόν με την εκτίμηση αυτή, το μέγεθος της ψήφου (διάμετρος Δ) είναι σχεδόν σταθερό, ενώ το ύψος (διάσταση Υ) κυμαίνεται επειδή η επάνω επιφάνεια δεν περιορίζεται από τη μήτρα.

Από τον Kÿzÿkerman προτείνεται μία μέθοδος κατασκευής ψήφων με συναφή τρόπο (βλ. σ. 24, εικ. 5, 6). Άλλο ένα στοιχείο που οδηγεί στην υπόθεση της χρήσης ενός εργαλείου για τη διάτρηση των ψήφων είναι και η ύπαρξη παράλληλων αυλακιών στο πάνω μέρος του τρήματος (εικ. 31). Τα αυλάκια αυτά υπάρχουν κατά μήκος του τρήματος σε απόσταση περίπου 2,5-4 mm από το πάνω άκρο. Μπορούν καλύτερα να ερμηνευθούν ως το αρνητικό της επιφάνειας κάποιου εργαλείου που χρησίμευε είτε για τη διάτρηση αυτή καθαυτή είτε για τη διόρθωση της διάτρησης και κατ' επέκταση του τρήματος. Κάποια από τα αυλάκια έχουν ένα σκούρο υλικό κατάλοιπο το οποίο είναι δύσκολο να χαρακτηριστεί (λόγω της θέσης και της περιορισμένης ποσότητάς του). Το στοιχείο αυτό μπορεί να είναι είτε κάποιο απανθρακωμένο υπόλειμμα ενός οργανικού υλικού είτε κάποιο άλλο υλικό, όπως π.χ. κάποιο μαύρο μεταλλικό οξείδιο.



Εικόνα 31: Χαρακτηριστικά αυλάκια στην αρχή του τρήματος στα δείγματα R.20 (πάνω) και R.54 (κάτω).

Λόγω της μορφολογίας της ψήφου ήταν αδύνατη η μελέτη του τρήματος με το σαρωτικό μικροσκόπιο, το οποίο θα έδινε και πιο ασφαλή συμπεράσματα σχετικά με τον προσδιορισμό του σκούρου αδιάγνωστου υλικού το οποίο υπάρχει στα αυλάκια του τρήματος. Με τη μέθοδο του φθορισμού ακτίνων Χ έγινε δυνατή η συγκριτική ανάλυση μεταξύ του τρήματος και του κυρίως σώματος των δύο (R.20, R.54) από τις τρεις ψήφους που παρουσιάζουν αυτή την ιδιομορφία. Σύμφωνα με το φάσμα των ακτίνων Χ (εικ. 32) παρατηρείται πως και στις δύο περιπτώσεις, τα φάσματα που προέρχονται από το τρήμα των ψήφων παρουσιάζουν αυξημένη ποσότητα σιδήρου σε σχέση με το καθαρό δείγμα. Οι μετρήσεις αυτές έγιναν με τις ίδιες ακριβώς συνθήκες τόσο για το κυρίως σώμα της ψήφου όσο και για το τρήμα. Επίσης έγιναν και στις δύο ενέργειες (στα 15 kV και στα 40 kV) με τις οποίες μπορεί να γίνει διαχωρισμός μεταξύ ιχνοστοιχείων και κύριων και δευτερευόντων στοιχείων.



Εικόνα 32: Για το δείγμα R.20 η κορυφή του Fe τόσο για το κυρίως σώμα της ψήφου (τυρκουάζ περιοχή) όσο και για το πάνω μέρος του τρήματος (πράσινη γραμμή).

Συγκεκριμένα στην εικόνα του φάσματος (φάσμα από το κυρίως σώμα της ψήφου) παρατηρείται πως στην κορυφή Ka του σιδήρου (στα 6,40 keV) υπάρχουν 2650 cps (Counts Per Second) σε αντίθεση με το δεύτερο φάσμα (φάσμα από το τρήμα της ψήφου), όπου η κορυφή του σιδήρου έχει 5428 cps, δηλαδή έχει διπλάσια τιμή στο ποσοστό του σιδήρου. Από τις εικόνες των φασμάτων παρατηρείται και κάτι αντίστοιχο στις κορυφές Kb του σιδήρου. Ανάλογα αποτελέσματα φαίνονται και στην ανάλυση των φασμάτων της ψήφου R54 (σώμα: 3539 cps, τρήμα: 5250 cps).

Τα τρία από τα δείγματα (R20, R54, R67) παρουσιάζουν αυλάκια τα οποία ξεχωρίζουν πολύ καθαρά στο πάνω μέρος (δηλ. στο μέρος όπου είναι καμπύλο το άκρο του τρήματος). Στο δείγμα R10 διακρίνεται μόνο ένα αχνό αυλάκι, καθώς η επιφάνεια του τρήματος είναι πολύ διαβρωμένη. Τέλος στο δείγμα R9 εντοπίστηκαν αυλάκια τα οποία βρίσκονται στο κάτω μέρος της ψήφου (δηλ. το επίπεδο), ενώ στο δείγμα R11 δεν εντοπίστηκαν αυλάκια. Όλα αυτά τα δεδομένα οδηγούν στο συμπέρασμα ότι τα δύο άκρα του τρήματος επεξεργάζονταν με διαφορετικό τρόπο και γι' αυτό το λόγο έχουν και διαφορετική μορφή.

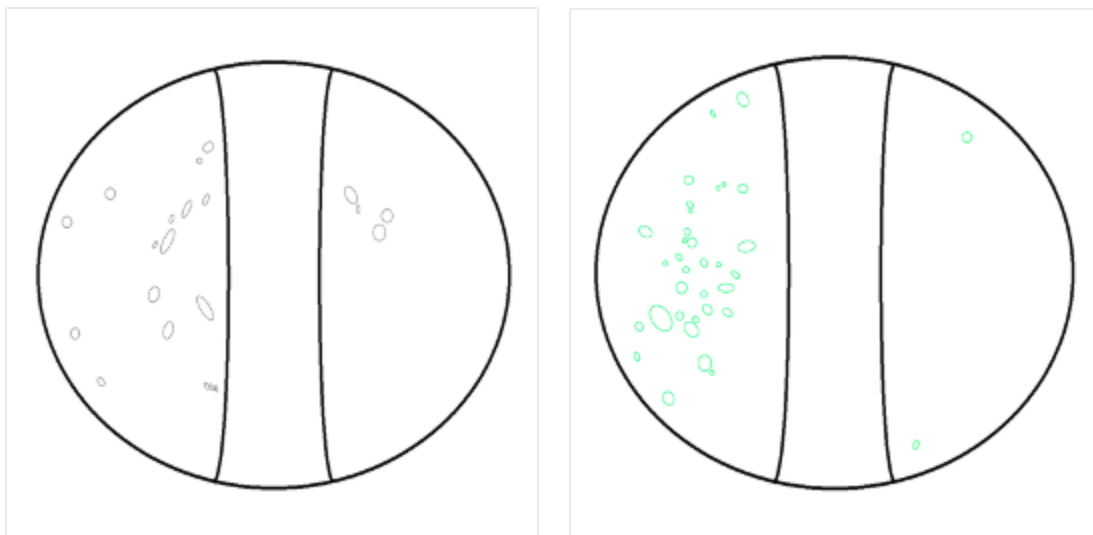
Μικροσκοπικές παρατηρήσεις

Εκτός από τη μορφή του τρήματος στα άκρα, η οποία παρατηρήθηκε με τη βοήθεια οπτικού μικροσκοπίου, στη συγκεκριμένη ομάδα ψήφων έγινε μικροσκοπική παρατήρηση και του κυρίως σώματός τους. Στο κυρίως σώμα των ψήφων ξεχωρίζουν 3 περιοχές παρατήρησης. Το εξωτερικό κυρτό μέρος της ψήφου και οι δύο (επίπεδες συνήθως) πλευρές εκατέρωθεν του τρήματος. Και τα τρία αυτά μέρη παρουσιάζουν μεγάλη διάβρωση και δεν είναι δυνατή η μικροσκοπική μελέτη όλων των επιφανειών. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε η «καθαρή» επιφάνεια που προέκυψε ύστερα από συγκεκριμένη επεξεργασία (βλ. σ. 80).

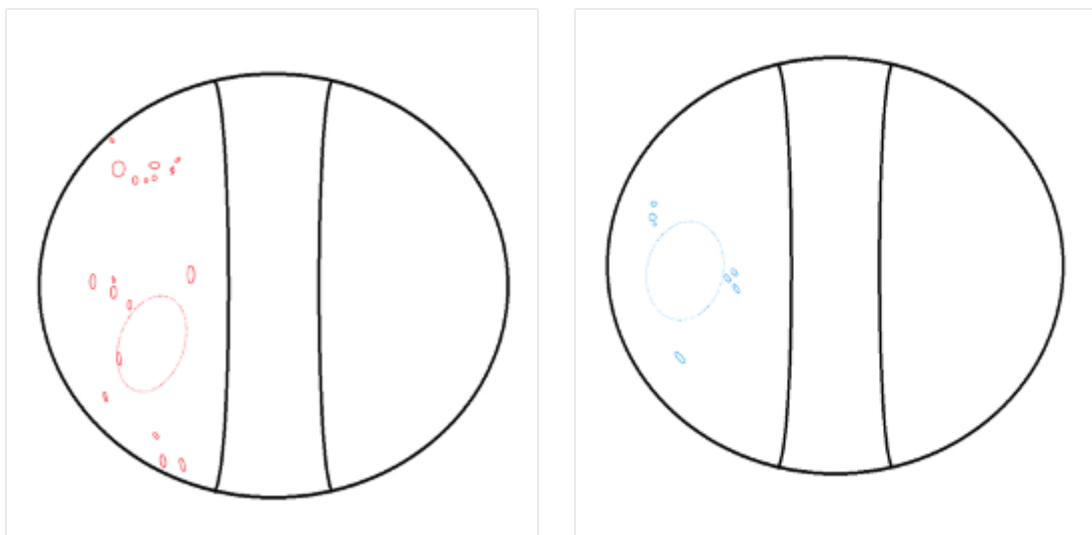
Από την εξέταση των «καθαρών» επιφανειών με τη βοήθεια στερεοσκοπίου²² παρατηρήθηκαν πολλές φυσαλίδες αέρα διαφόρων σχημάτων και μεγεθών (για τις ψήφους που μελετήθηκαν και τις φυσαλίδες που εντοπίστηκαν βλ. Παράρτημα III). Στην πλειονότητα είναι στρογγυλές και ελλειψοειδείς. Με τη χρήση προγραμμάτων

²² Το στερεοσκόπιο που χρησιμοποιήθηκε ήταν τύπου Leica MZ-75, με ψηφιακή κάμερα Leica DFC-425C, στο Εργαστήριο Μηχανικής Ευφύων Αισθητήρων και Μη Καταστροφικής Αξιολόγησης, του Τμήματος Μηχανικών Επιστήμης των Υλικών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.

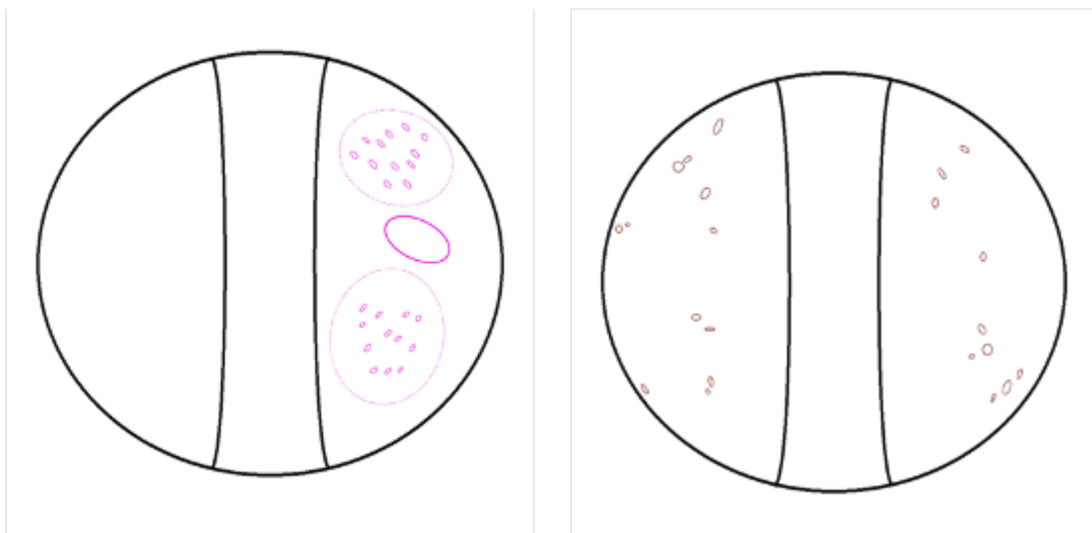
επεξεργασίας εικόνας (Adobe Photoshop CS3, Paint Pro) έγινε δυνατή η αποτύπωση των φυσαλίδων σε σχήματα τα οποία αντιπροσωπεύουν τις προς εξέταση ψήφους (εικ. 33, 34, 35).



Εικόνα 33: Δείγματα R9,R10 από αριστερά προς τα δεξιά.



Εικόνα 34: Δείγματα R11,R20 από αριστερά προς τα δεξιά.



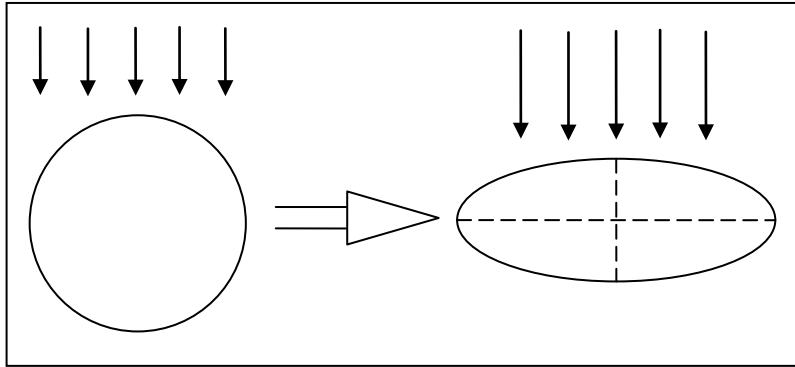
Εικόνα 35: Δείγματα R54, R67 από αριστερά προς τα δεξιά.

Παρατηρείται πως η πλειονότητα των φυσαλίδων έχει ελλειψοειδές σχήμα, το οποίο οφείλεται στην εφαρμογή πιέσεων-δυνάμεων στην εξωτερική επιφάνεια της υάλου. Η εφαρμογή των πιέσεων αυτών έγινε κατά τη διάρκεια της κατασκευής του αντικειμένου, χωρίς να μπορεί να αποκλειστεί η πιθανότητα το σχήμα των φυσαλίδων να έχει δημιουργηθεί κατά τη διάρκεια της πρωτογενούς υαλουργίας. Μετά την τήξη των πρώτων υλών οι αρχαίοι υαλουργοί δίνουν το σχήμα στο τελικό αντικείμενο με διάφορες μεθόδους (βλ. παραπάνω, σ. 20 κ.εξ.) με τις οποίες ασκούσαν πιέσεις στα δείγματα, ενώ τα εφέλκυαν. Η διαδικασία αυτή γινόταν σε ένα εύρος τιμών θερμοκρασίας από τους 500 °C περίπου μέχρι τους 1000 °C (Henderson 2000). Κατά την τήξη των πρώτων υλών τα διάφορα εγκλείσματα αέρα²³ έχουν την τάση να μετακινούνται από τον πυρήνα της υάλου προς την επιφάνεια λόγω της θέρμανσης. Η ταχύτητα της μετακίνησης αυτής εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η θερμοκρασία τήξης, ο χρόνος τήξης καθώς και το ιξώδες του τήγματος. Όσες από αυτές τις φυσαλίδες δεν διαφεύγουν προς την επιφάνεια, καθώς ελαττώνεται η θερμοκρασία του τήγματος, «παγώνουν» και υπάρχουν στο εσωτερικό της υάλου ως εγκλείσματα, στα οποία οφείλεται, εκτός των άλλων, η ελάττωση του βαθμού διαφάνειας της υάλου (Henderson 2000).

Κατά τη διάρκεια της τήξης των πρώτων υλών δεν ασκείται κάποια πίεση στο τήγμα και αυτό έχει ως συνέπεια τη δημιουργία σφαιρικών φυσαλίδων (ενδεχομένως

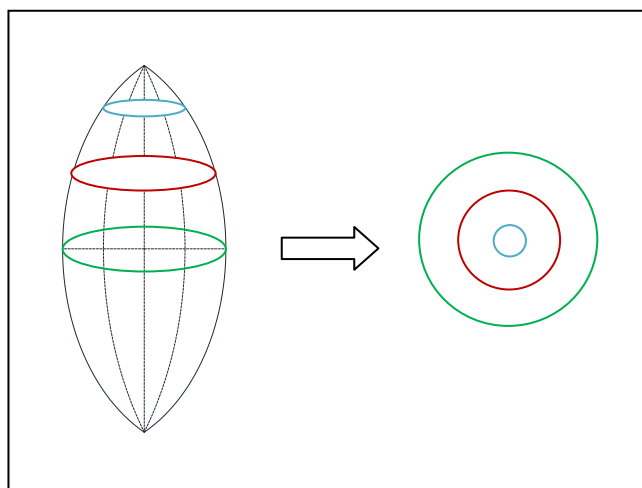
²³ Τα εγκλείσματα αέρα δημιουργούνται κατά την τήξη των πρώτων υλών. Καθώς κονιορτοποιούνται οι πρώτες ύλες και τοποθετούνται στα δοχεία τήξης, αφήνουν κενά μεταξύ τους, τα οποία στη συνέχεια κατά την τήξη γίνονται φυσαλίδες αέρα.

και ελαφρώς ελλειπτικών λόγω της κίνησης τους προς την επιφάνεια). Ο απλούστερος συστηματικός τρόπος δημιουργίας των ελλειπτικών φυσαλίδων αντιστοιχεί στην εφαρμογή πιέσεων-δυνάμεων παράλληλων στον μικρό άξονα της έλλειψης (εικ. 36).



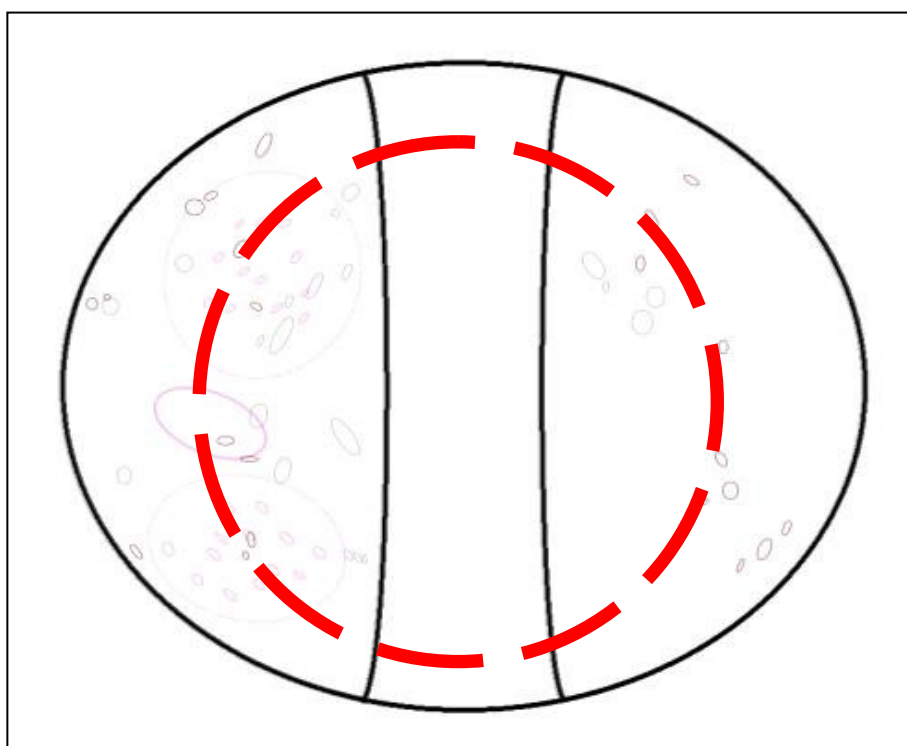
Εικόνα 36: Ανάλογα με την κατεύθυνση της πίεσης-δύναμης, που ασκείται πάνω σε μία φυσαλίδα αέρα, δημιουργείται το ελλειψοειδές σχήμα.

Από την παρατήρηση των σχημάτων δεν διαπιστώνεται κάποια συνολική κατεύθυνση των φυσαλίδων. Μία γενική παρατήρηση που ισχύει είναι πως οι φυσαλίδες που είναι πολύ κοντά στην εξωτερική επιφάνεια των ψήφων έχουν κυρίως ελλειψοειδές σχήμα (π.χ. βλ. δείγμα R11 και R67) χωρίς να αποκλείονται και οι κυκλικές φυσαλίδες (π.χ. βλ. δείγμα R9 και R10). Θα πρέπει να σημειωθεί πως οι φυσαλίδες βρίσκονται μέσα στον τρισδιάστατο χώρο της υάλινης ψήφου και αυτό καθιστά αρκετά δύσκολη και περίπλοκη την παρατήρηση με οπτικό μικροσκόπιο, αφού οι φυσαλίδες προβάλλονται σε δισδιάστατο επίπεδο (εικ. 37). Αυτό μπορεί να σημαίνει πως η παρατήρηση μίας ελλειψοειδούς φυσαλίδας, της οποίας ο μεγάλος άξονας έχει κατεύθυνση κατακόρυφη προς το οπτικό πεδίο του μικροσκοπίου, μπορεί να φαίνεται στρογγυλή με διάμετρο το μήκος του μικρού άξονα της έλλειψης. Επίσης όταν η φυσαλίδα βρίσκεται σε κατεύθυνση υπό γωνία ουσιαστικά γίνεται παρατήρηση της προβολής της στο οπτικό επίπεδο του μικροσκοπίου, προσθέτοντας έτσι μία επιπλέον παράμετρο σχετική με την κατεύθυνση της πίεσης-δύναμης που ασκήθηκε, ώστε η φυσαλίδα να πάρει το συγκεκριμένο σχήμα και κατεύθυνση.



Εικόνα 37: Η παρατήρηση στο αριστερό σχήμα γίνεται κατακόρυφα και παράλληλα με τον μεγάλο άξονα του ελλειψοειδούς και στο δεξιό σχήμα απεικονίζεται το αποτέλεσμα που βλέπει ο παρατηρητής.

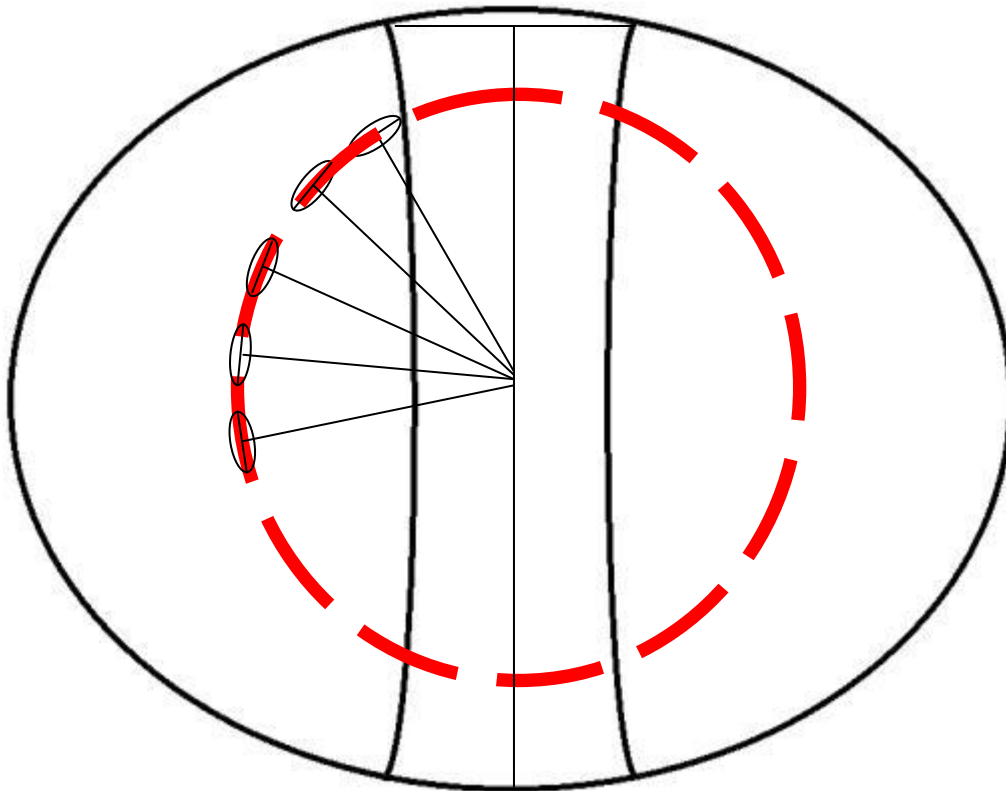
Από το σύνολο των 6 αυτών ψήφων ξεχωρίζουν οι μισές (R9, R54 και R67) στις οποίες οι φυσαλίδες τους φαίνεται να έχουν συγκεκριμένη φορά και κατεύθυνση.



Εικόνα 38: Τοποθέτηση των φυσαλίδων των δειγμάτων R9, R54 και R67 σε ένα κοινό σχήμα.

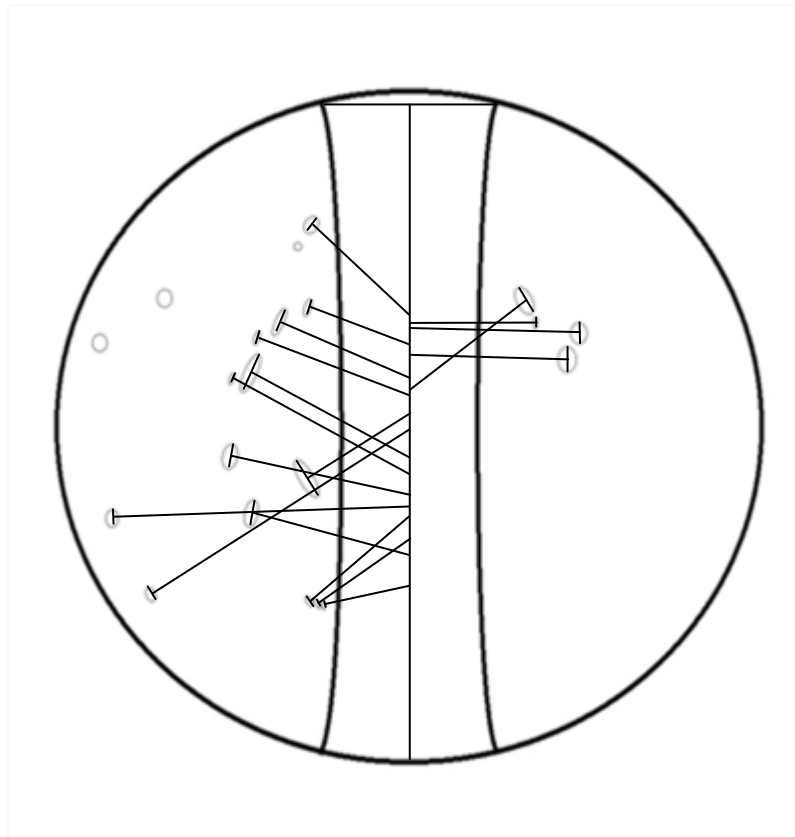
Όπως παριστάνεται στο σχέδιο της παραπάνω εικόνας (εικ. 38), στο οποίο έχουν τοποθετηθεί όλες οι φυσαλίδες από τις τρεις ψήφους, υπάρχει στις περισσότερες από αυτές η τάση να έχουν κατεύθυνση η οποία δηλώνεται με τον κόκκινο κύκλο. Στο πάνω μισό της ψήφου και αριστερά του τρήματος οι φυσαλίδες έχουν μία κατεύθυνση $\sim 45^\circ$, ενώ ακριβώς δεξιά του τρήματος έχουν την ακριβώς αντίθετη κατεύθυνση $\sim 135^\circ$. Το ίδιο ακριβώς συμβαίνει και στο κάτω μισό της ψήφου με τις φυσαλίδες αριστερά του τρήματος σε κατεύθυνση $\sim 135^\circ$ και τις άλλες δεξιά του τρήματος στην αντίθετη κατεύθυνση $\sim 45^\circ$. Η δεξιά επιφάνεια παρουσιάζει λιγότερες φυσαλίδες λόγω δυσκολίας παρατήρησης από την εκτεταμένη διάβρωση.

Στην περίπτωση που οι μεγάλοι άξονες των φυσαλίδων σχημάτιζαν τον τέλειο κύκλο και είχαν κατεύθυνση παράλληλη με τον κύκλο της εικόνας 39, τότε οι κάθετες ευθείες στο μέσο του μεγάλου άξονα της κάθε ελλειψοειδούς φυσαλίδας θα έπεφταν σε συγκεκριμένο σημείο, στο κέντρο του κύκλου.

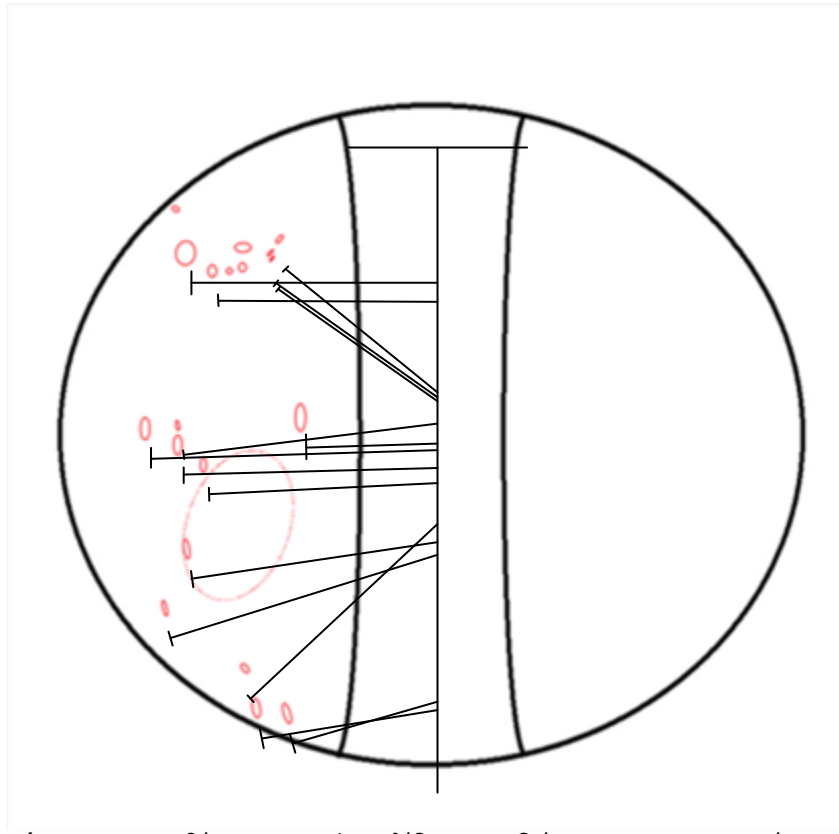


Εικόνα 39: Οι κάθετες ευθείες πάνω στο μέσον μεγάλο άξονα κάθε έλλειψης τέμνονται στο ίδιο σημείο, όταν οι ελλείψεις εντάσσονται σε ένα κύκλο.

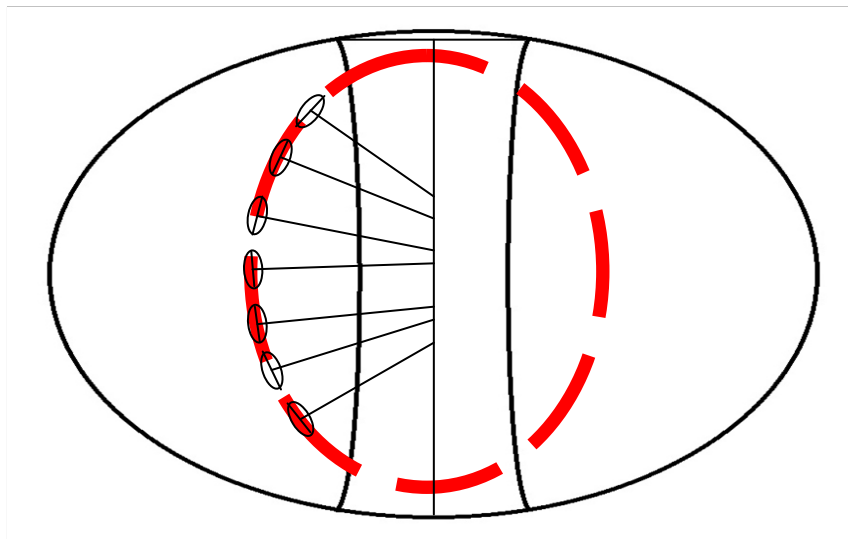
Ωστόσο, οι κάθετες προβολές των φυσαλίδων των συγκεκριμένων ψήφων στον κεντρικό άξονα δεν πέφτουν ακριβώς στο κέντρο. Συγκεκριμένα, στο δείγμα R9 (εικ. 40) οι προβολές ακολουθούν μία πορεία διαφορετικών σημείων πάνω στον κεντρικό άξονα και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μη διευθέτησή τους σε κύκλο. Όπως υποδεικνύεται στο σχέδιο της εικ. 42, οι φυσαλίδες αυτές βρίσκονται σε μία ελλειψοειδή διάταξη με το μεγάλο άξονα της έλλειψης παράλληλο με το τμήμα της ψήφου. Παρόμοια χαρακτηριστικά διάταξης εμφανίζουν οι φυσαλίδες του δείγματος R11 (εικ. 41).



Εικόνα 40: Κατευθύνσεις των φυσαλίδων στο δείγμα R.9 και η τομή τους με την κάθετη στο μέσο του τμήματος.

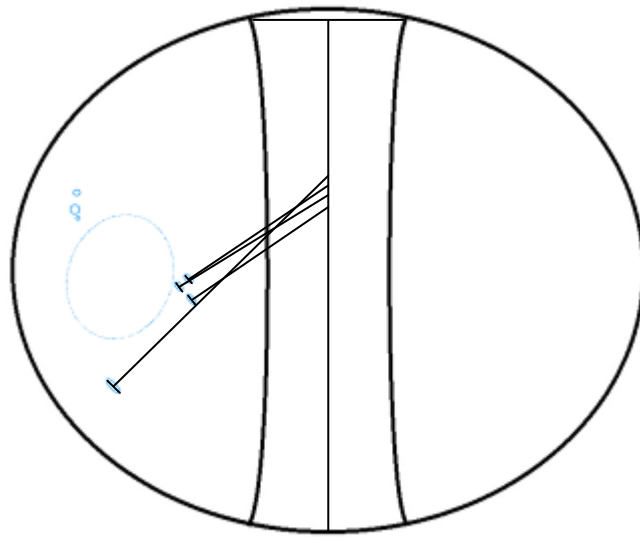


Εικόνα 41: Κατευθύνσεις των φυσαλίδων στο δείγμα R.11 και η τομή τους με την κάθετη στο μέσο του τρήματος.

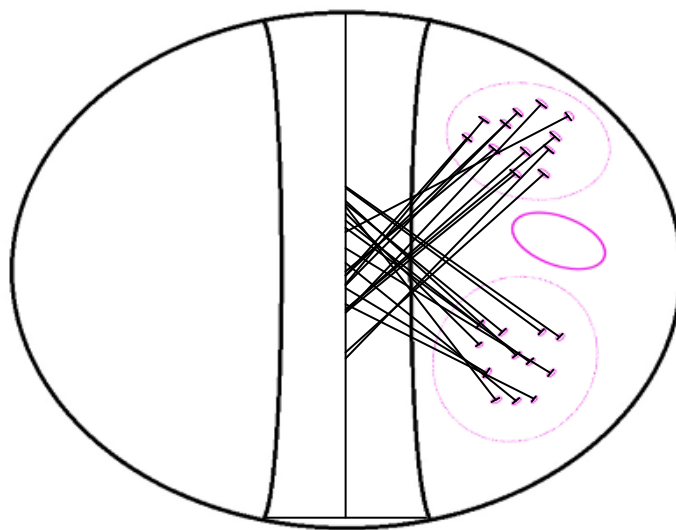


Εικόνα 42: Όταν οι κατευθύνσεις των φυσαλίδων εντάσσονται σε μία έλλειψη, τότε οι κάθετες ευθείες πάνω στο μεγάλο άξονα κάθε έλλειψης τέμνουν την κάθετη στο μέσο του τρήματος σε διαφορετικά σημεία.

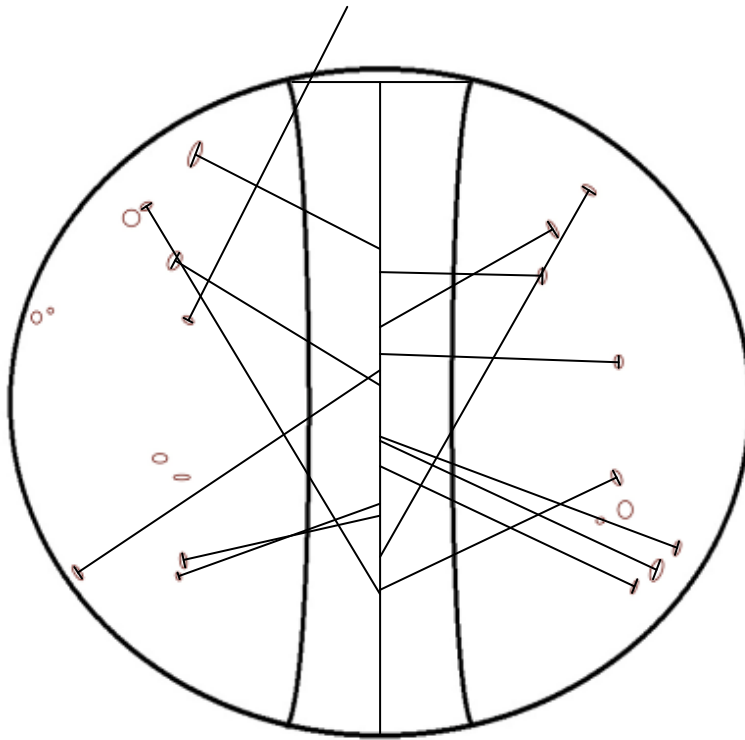
Αντίθετα στα δείγματα R20, R54 και R67 (εικ. 43, 44 και 45) οι προβολές των φυσαλίδων πάνω στον κεντρικό άξονα του τρήματος φαίνεται να διασταυρώνονται. Στην εικ. 46 για να διασταυρωθούν αυτές οι προβολές θα πρέπει οι φυσαλίδες να έχουν μία ελλειψοειδή διάταξη με κατεύθυνση προς το μεγάλο άξονα της έλλειψης κάθετη στον άξονα του τρήματος. Με αυτόν τον τρόπο οι προβολές των φυσαλίδων, οι οποίες βρίσκονται στο πάνω μισό της ψήφου, έχουν κατεύθυνση προς τα κάτω, ενώ το αντίθετο παρατηρείται στις προβολές των φυσαλίδων, οι οποίες είναι κάτω από τη μέση, με συνέπεια να τέμνονται μεταξύ τους.



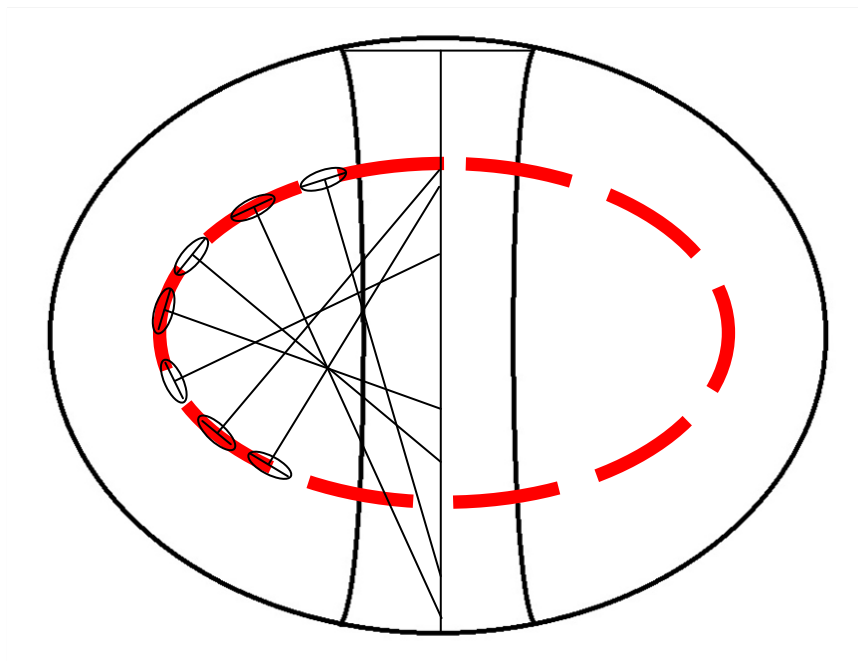
Εικόνα 43: Οι κατευθύνσεις των φυσαλίδων στο δείγμα R.20 και η τομή τους με την κάθετη στο μέσο του τρήματος.



Εικόνα 44: Οι κατευθύνσεις των φυσαλίδων στο δείγμα R.54 και η τομή τους με την κάθετη στο μέσο του τρήματος.

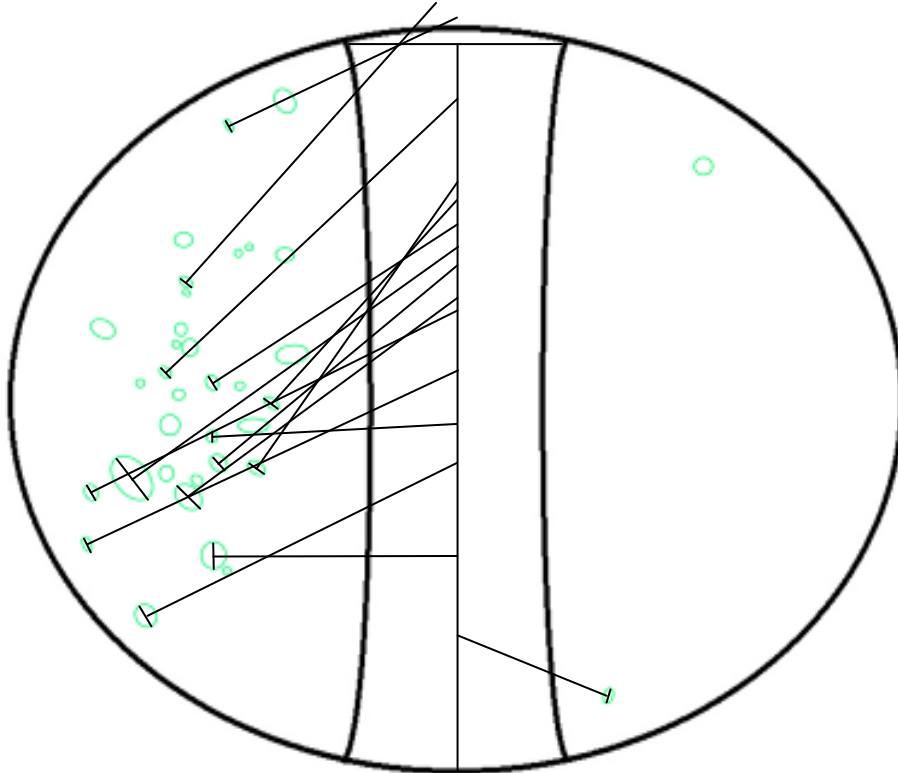


Εικόνα 45: Οι κατευθύνσεις των φυσαλίδων στο δείγμα R.67 και η τομή τους με την κάθετη στο μέσο του τρήματος.



Εικόνα 46: Ιδιαίτερα πολύπλοκο σχήμα, όταν οι κατευθύνσεις των φυσαλίδων εντάσσονται σε έλλειψη της οποίας ο μεγάλος άξονας είναι κάθετος στο τρήμα.

Τέλος στο δείγμα R10 (εικ. 47) η διάταξη των περισσότερων φυσαλίδων είναι παρόμοια με τη διάταξη των φυσαλίδων, όταν οι κατευθύνσεις τους ανήκουν σε έλλειψη της οποίας ο μεγάλος άξονας είναι κάθετος στο τρήμα (εικ. 46). Η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι σε κάποιες από τις φυσαλίδες, οι οποίες βρίσκονται πάνω από τη μέση, οι προβολές τους έχουν και αυτές κατεύθυνση προς τα πάνω με συνέπεια οι προβολές να μην τέμνονται.

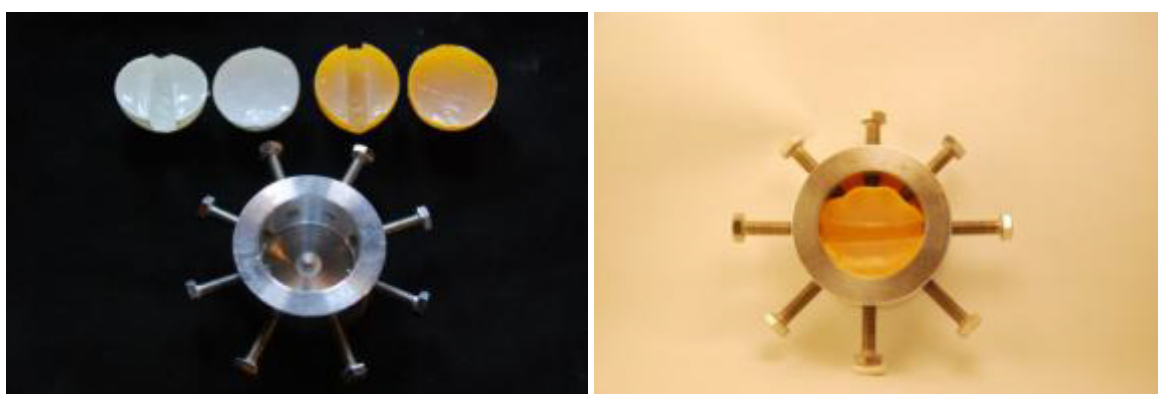


Εικόνα 47: Οι κατευθύνσεις των φυσαλίδων στο δείγμα R.20 και η τομή τους με την κάθετη στο μέσο του τρήματος.

Προσομοίωση της μεθόδου διάτρησης ψήφων

Με βάση τα παραπάνω σχεδιαγράμματα και τον ιδιαίτερο σχηματισμό των φυσαλίδων καθώς και τη συγκεκριμένη κατεύθυνσή τους, έγινε μία προσπάθεια προσομοίωσης της μεθόδου διάτρησης των συγκεκριμένων ψήφων.

Το αρχικό πείραμα δεν απέφερε ιδιαίτερα καλά αποτελέσματα. Αρχικά για την κατανόηση της κατεύθυνσης των φυσαλίδων έγινε προσπάθεια με τη βοήθεια ομοιωμάτων ημίσεων ψήφων κατασκευασμένων από σιλικόνη. Η επιλογή της σιλικόνης έγινε, διότι προσομοιάζει με τον καλύτερο τρόπο προς το τήγμα υάλου και δίνει έτσι τη δυνατότητα εφαρμογής τάσεων και πιέσεων πάνω στο ομοίωμα και εξαγωγής χρήσιμων συμπερασμάτων. Αρχικά πλαστικές ημισφαιρικές μήτρες γεμίστηκαν με σιλικόνη και αφέθηκαν περίπου ένα μήνα σε ξηρό περιβάλλον, ώστε να στερεοποιηθεί όλη η σιλικόνη σε όλο το βάθος της μήτρας. Στη συνέχεια με τη βοήθεια μίας βάσης αλουμινίου η οποία ακτινικά έφερε βίδες, εφαρμόζονταν πιέσεις στη σιλικόνη σε διαφορετικά σημεία (εικ. 48).



Εικόνα 48: Ομοιώματα ημίσεων ψήφων από σιλικόνη και βάση αλουμινίου για εφαρμογή πιέσεων.

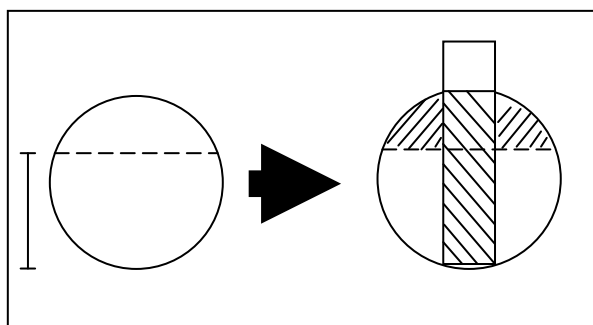
Πάνω στις σιλικόνες σημειώθηκαν υποθετικές «φυσαλίδες», ώστε, ανάλογα με την εφαρμογή πίεσης, οι «φυσαλίδες» να παίρνουν συγκεκριμένη κατεύθυνση. Με τον τρόπο αυτό ασκούσαν πιέσεις διαφορετικών κατευθύνσεων στο εξωτερικό κέλυφος της υποτιθέμενης φυσαλίδας χωρίς να έχουμε τα αναμενόμενα αποτελέσματα, αφού και οι πιέσεις δεν γινόταν ομοιόμορφα σε όλη την επιφάνεια της «ψήφου».

Σε δεύτερη φάση το πείραμα έγινε σε δύο διαστάσεις και με τη χρήση σφήνας η οποία έπαιζε το ρόλο του εργαλείου διάτρησης των ψήφων. Κατασκευάστηκαν δίσκοι σιλικόνης πάχ. 1 cm και διαμ. 4,5 cm (εικ. 49) καθώς επίσης και μία ξύλινη βάση-μήτρα μέσα στην οποία εμπίεστηκε η σιλικόνη. Η μήτρα είχε για καπάκια 2 τεμάχια plexiglass για να μην παραμορφώνεται η σιλικόνη κατά την εμπίεση. Το άνοιγμα και η σφήνα της βάσης έχουν αναλογικά το μέγεθος της πραγματικής αρχαίας ψήφου.



Εικόνα 49: Δίσκοι σιλικόνης, ξύλινη βάση και σφήνα.

Σύμφωνα με αυτή τη θεώρηση μία μήτρα, η οποία ήταν κατασκευασμένη από κάποιο υλικό, πιθανόν πηλό, γεμίζονταν αρχικά μόνον με τήγμα υάλου. Ακολουθούσε τήξη και επανάληψη της διαδικασίας μέχρι την πλήρωση της κοιλότητας με τήγμα έως το επιθυμητό ύψος. Καθώς η ύαλος ήταν ακόμα ρευστή, η διάτρηση γινόταν με κάποιο σφηνοειδές εργαλείο. Η μήτρα γεμίζονταν μέχρι κάποιο σημείο τέτοιο ώστε ο όγκος της σφήνας να ισούται με τον όγκο που απομένει για να γεμίσει ολόκληρος ο όγκος της μήτρας (εικ. 50).



Εικόνα 50: Η εύρεση του ορίου στο οποίο ο όγκος της σφήνας, που εισέρχεται μέσα στο υλικό, είναι ίσος με τον όγκο που απαιτείται για να γεμίσει όλη η μήτρα.

Για να βρεθεί το σημείο αυτό κάθε ξύλινη μήτρα γεμίστηκε πλήρως με νερό. Μετά την εισχώρηση της σφήνας μέσα από το άνοιγμα, το πλεονάζον υγρό βγήκε από την οπή. Στη συνέχεια με την αφαίρεση της σφήνας το νερό, που έχει απομείνει, δείχνει και το σημείο (σημείο με ύψος h) στο οποίο ο όγκος της σφήνας είναι ίσος με τον όγκο που απαιτείται για να γεμίσει η μήτρα. Σε αυτό το ύψος κόπηκαν και οι δίσκοι σιλικόνης ώστε κατά την εμπύεση να γεμίσουν ολόκληρη τη μήτρα. Τέλος, πάνω στη σιλικόνη ζωγραφίστηκαν κύκλοι οι οποίοι έπαιζαν το ρόλο των φυσαλίδων και η παραμόρφωσή τους θα έδειχνε την παραμόρφωση των φυσαλίδων.

Το πείραμα αυτό είχε μεν θετικά αποτελέσματα, αλλά όχι ολοκληρωμένα. Συγκεκριμένα κατά την εμπύεση της σιλικόνης να μεν σχηματοποιούνταν οι κύκλοι ανάλογα με τη μορφή της πίεσης που δέχονταν, αλλά δεν ήταν εφικτό να «παγώσει» η σιλικόνη σε αυτή τη θέση λόγω της ελαστικότητάς της η οποία την έφερνε στην αρχική της κατάσταση. Επιπλέον δεν ήταν δυνατό πρακτικά να εμπίεστεί η σιλικόνη σε ολόκληρο το μήκος της σφήνας χωρίς να σκιστεί ή να κατασραφεί η σφήνα.

Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε άλλο υλικό και συγκεκριμένα πλαστελίνη η οποία προσομοιάζει προς τις ιδιότητες του τήγματος υάλου έτσι ώστε, με την εφαρμογή του εμβόλου (σφήνας), να παραμορφώνεται πλαστικά και όχι ελαστικά και, μετά την εφαρμογή πίεσης, να παραμένει «παγωμένη» στην τελική της κατάσταση.

Από τη χρήση μήτρας και πλαστελίνης και την εφαρμογή πίεσης με σφήνα τα αποτελέσματα είναι εμφανή (εικ. 51).



Εικόνα 51: Πίεση σε δύο στάδια, στο πρώτο μέχρι τη μέση της μήτρας, ενώ στο δεύτερο πλήρως.

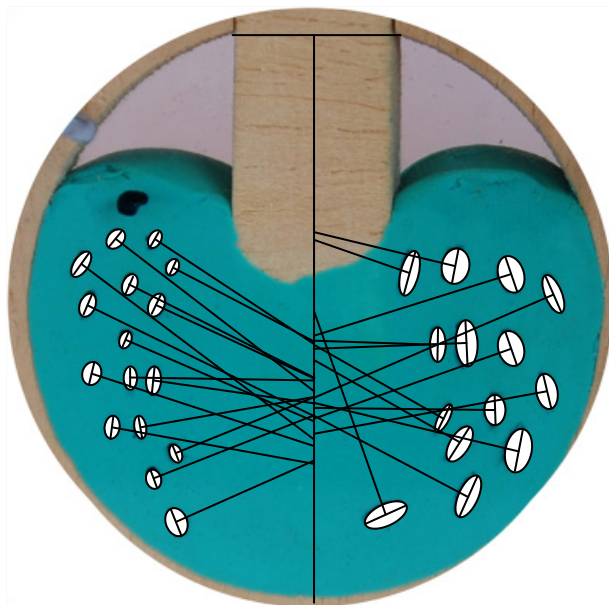
Οι «φυσαλίδες», όπως παριστάνονται και στις εικόνες (εικ. 51, 52), κατά τη διάρκεια της εμπέσης ουσιαστικά δέχονται τέτοιες δυνάμεις, ώστε αναγκάζονται να έχουν μία κίνηση προς τα πάνω καθώς έτσι κινείται όλο το υλικό για να γίνει δυνατή η πλήρωση του κενού από τον όγκο της σφήνας. Καθώς γίνεται αυτή η κίνηση, οι «φυσαλίδες» αποκτούν ελλειψοειδές σχήμα το οποίο γίνεται εντονότερο όσο η σφήνα βυθίζεται έως το κατώτερο σημείο (εικ. 52).



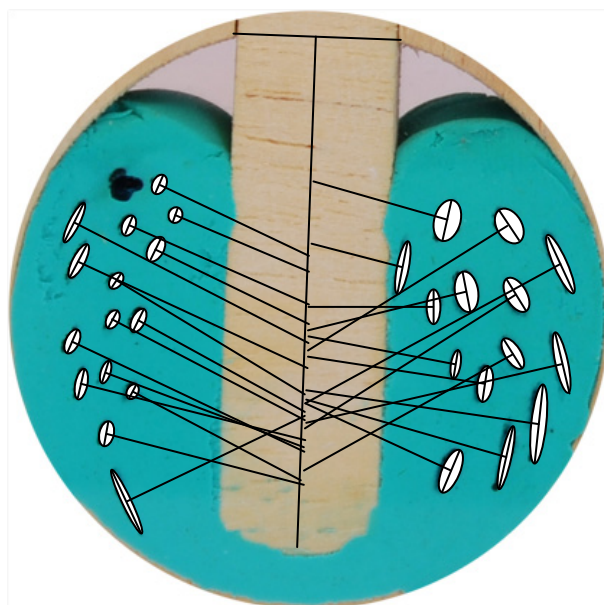
Εικόνα 52: Τα δύο στάδια εμπέσης και το τελικό σχήμα που αποκτούν οι «φυσαλίδες».

Ας σημειωθεί ότι με τη βοήθεια προγράμματος επεξεργασίας εικόνας στις ζωγραφισμένες φυσαλίδες τοποθετήθηκαν περιγράμματα, ώστε να είναι πιο ευδιάκριτες (εικ. 52-54). Στα σχήματα αυτά τοποθετήθηκαν επίσης κάθετες ευθείες στο μεγάλο

άξονα της κάθε έλλειψης με σκοπό τον προσδιορισμό της κατεύθυνσής τους σε αντιστοιχία με τα σχήματα που παρουσιάστηκαν παραπάνω (εικ. 39-47).



Εικόνα 53: Εμπίεση μέχρι τη μέση της μήτρας.



Εικόνα 54: Εμπίεση σε όλο το μήκος της μήτρας.

Από τα δύο σχήματα (εικ. 53, 54) διαπιστώνεται πως, όταν η διάτρηση γίνεται μέχρι το μέσον, τότε οι κατευθύνσεις των «φυσαλίδων» (δηλαδή ουσιαστικά οι ευθείες που είναι κάθετες στον μεγάλο άξονα κάθε έλλειψης) τέμνονται σε μεγάλο βαθμό μεταξύ τους. Αντίθετα, στην περίπτωση που η σφήνα εισέρχεται σε όλο το μήκος της μήτρας οι κατευθύνσεις κυρίως των ελλείψεων, που βρίσκονται στο αριστερό μέρος, είναι ίδιες χωρίς να τέμνονται. Παρόμοια εικόνα παρουσιάζεται και στη δεξιά πλευρά όπου η διαφορά της μεσαίας διάτρησης σε σχέση με την ολόκληρη έγκειται στο γεγονός ότι οι κατευθύνσεις των «φυσαλίδων» τείνουν να γίνουν παράλληλες, δηλαδή ο βαθμός τμήσης τους σταδιακά ελαττώνεται.

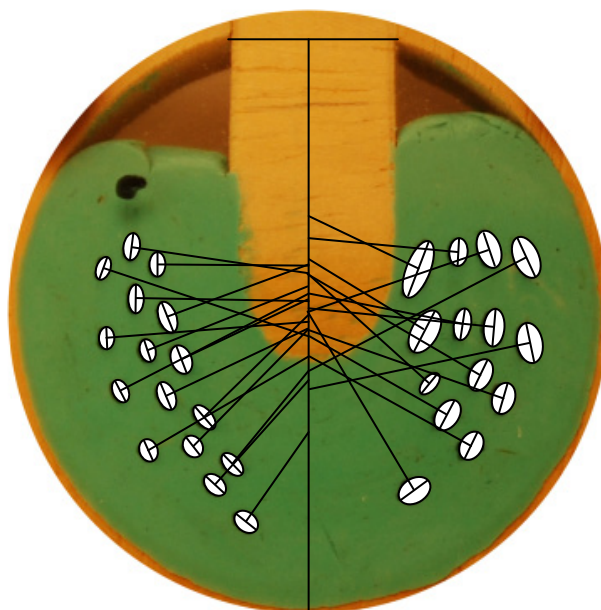
Στη συνέχεια το πείραμα επαναλήφθηκε με σφήνα η οποία δεν είχε επίπεδη άκρη, όπως η προηγούμενη, αλλά τριγωνική. Τα αποτελέσματα αυτής της διάτρησης διακρίνονται στην εικόνα 55.



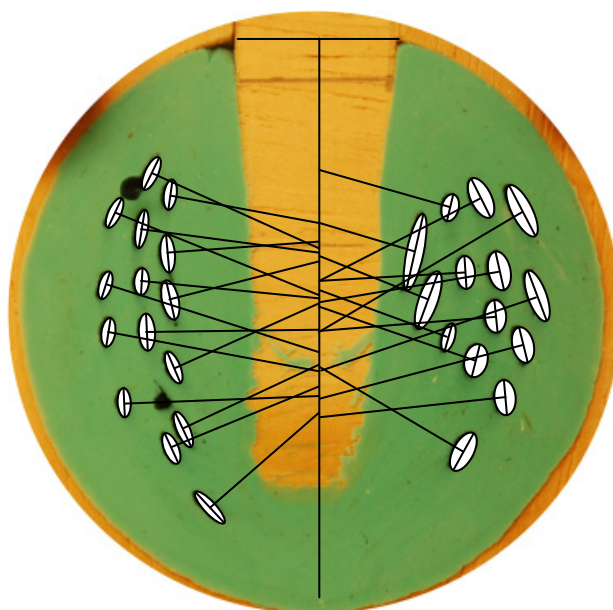
Εικόνα 55: Εμπύση σε δύο στάδια, στο πρώτο μέχρι τη μέση, ενώ στο δεύτερο σε όλο το μήκος της μήτρας. Η σφήνα έχει οξύ άκρο.

Με την ίδια διαδικασία, δηλ. με την τοποθέτηση περιγραμμάτων στις ζωγραφισμένες «φυσαλίδες» της εικ. 55, δημιουργήθηκαν τα σχήματα με τις κατευθύνσεις των «φυσαλίδων» που παρουσιάζονται παρακάτω (εικ. 56, 57).

Και σ' αυτή την περίπτωση παρατηρείται πως, καθώς η σφήνα εισέρχεται στο υλικό, οι κατευθύνσεις των «φυσαλίδων» έχουν την τάση να γίνονται πιο παράλληλες.



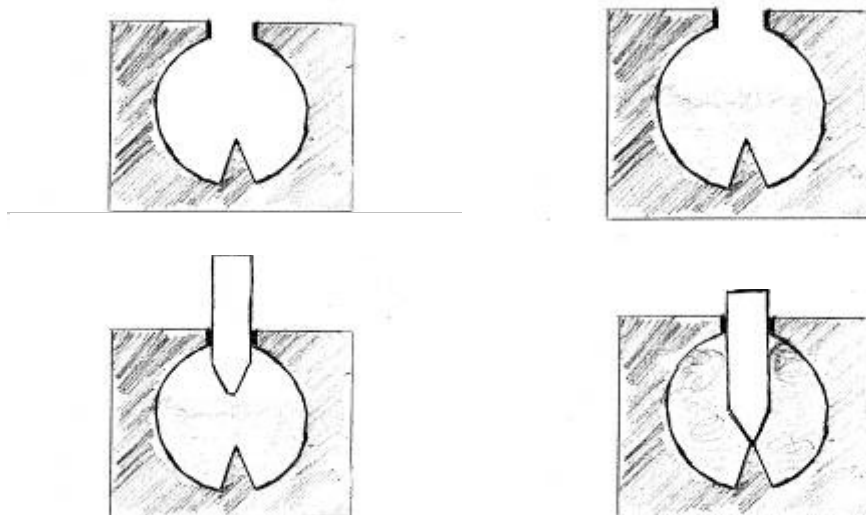
Εικόνα 56: Εμπίεση μέχρι τη μέση της μήτρας.



Εικόνα 57: Εμπίεση σε όλο το μήκος της μήτρας.

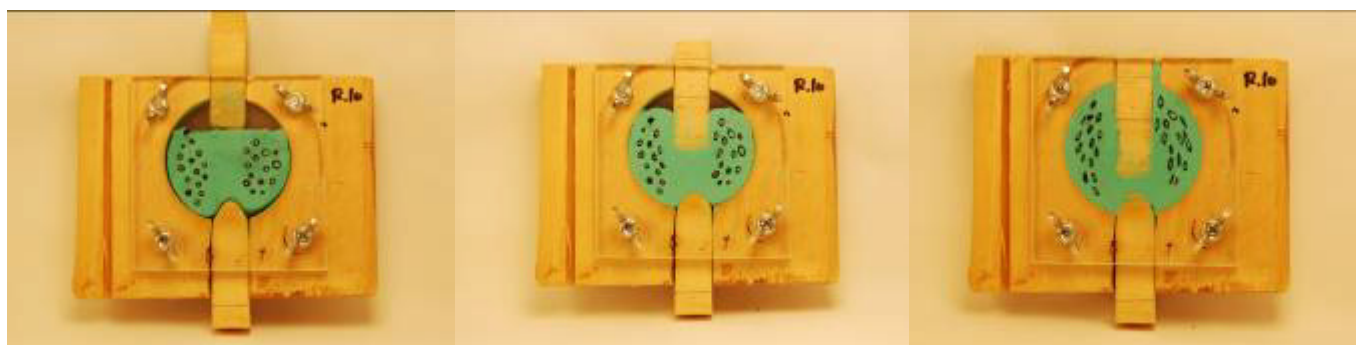
Ένα άλλο πιθανό σενάριο διάτρησης των ψήφων αυτών είναι με τη χρήση μήτρας η οποία στο κάτω μέρος της θα φέρει ανεστραμμένη μία ακίνητη σφήνα-ακμή (εικ. 58). Η διάτρηση και σε αυτή την περίπτωση γινόταν με μία κινητή σφήνα η οποία εισέρχονταν στο τήγμα από μία οπή. Αυτό το σενάριο είναι συμβατό με το γεγονός ότι η

κάτω οπή διάτρησης σε μερικά από τα δείγματα φαίνεται να είναι επίπεδη, χωρίς καμπυλότητα (π.χ. βλ. δείγματα R.20 και R.54).



Εικόνα 58: Σχέδιο της μήτρας η οποία στο κάτω μέρος φέρει μία ακμή που χρησιμεύει στη δημιουργία της κάτω οπής της ψήφου. Η σφήνα εισέρχεται μέχρι να συναντήσει την ακμή ώστε να δημιουργηθεί το τρήμα.

Με βάση αυτή τη θεώρηση έγινε αντίστοιχο πείραμα με την ξύλινη μήτρα και δύο σφήνες, την πάνω και μία σταθερή κάτω (εικ. 59). Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε πάλι σε δύο στάδια: στο πρώτο η σφήνα εισχωρεί μέχρι τη μέση και στο δεύτερο μέχρι να συναντήσει την άλλη ακίνητη σφήνα.



Εικόνα 59: Εμπέση σε δύο στάδια, στο πρώτο μέχρι τη μέση, ενώ στο δεύτερο συνεχίστηκε μέχρι η πάνω σφήνα να ενωθεί με την κάτω.

Το σχήμα των «φυσαλίδων» και σε αυτή την περίπτωση είναι αρκετά παρόμοιο με τις άλλες δύο περιπτώσεις διάτρησης (με άκρο σφήνας επίπεδο και με ακμή). Συγκεκριμένα παρατηρούνται «φυσαλίδες» οι οποίες έχουν ελλειψοειδές σχήμα. Οι κατευθύνσεις των μεσοκάθετων στον μεγάλο άξονα των ελλείψεων πέφτουν σε διάφορα σημεία του μέσου του τμήματος χωρίς να εξάγεται από αυτή την κατανομή κάποιο αποτέλεσμα διαφορετικό από τις άλλες δύο περιπτώσεις.

Παρόλα αυτά το σενάριο αυτό θα πρέπει να απορριφθεί μολονότι το σχήμα των «φυσαλίδων» είναι παρόμοιο με τις φυσαλίδες που εντοπίστηκαν στις ψήφους. Η ύπαρξη της κάτω ακμής θα είχε ως αποτέλεσμα το τμήμα να μην είναι σε όλο το μήκος του ενιαίο. Θα έπρεπε στο σημείο που ενώνεται η κινητή με την ακίνητη σφήνα να διαπιστώνεται κάποια ένδειξη ελαττώματος στο τμήμα. Ύστερα από προσεκτική παρατήρηση του τμήματος σε όλες τις ψήφους, με τη βοήθεια οπτικού μικροσκοπίου και στερεοσκοπίου, δεν βρέθηκε κάποιο ίχνος το οποίο θα έδινε την εντύπωση πως η οπή έγινε με τον προτεινόμενο τρόπο.

Συμπερασματικά φαίνεται από τη μελέτη των φυσαλίδων, καθώς επίσης και με τη βοήθεια των ξύλινων μητρών και της προσομοίωσης της υάλου με πλαστελίνη, πως η διαδικασία κατασκευής των συγκεκριμένων ψήφων έγινε με διαφορετικό τρόπο από αυτόν που προτείνεται από την αρχαιολογική έρευνα και αναφέρεται στον κατάλογο των ψήφων από τη Ρόδο (βλ. Παράρτημα Ι.1 στήλη: Παρατηρήσεις/Περιγραφή για τα δείγματα R.9, R.10, R.11, R.20, R.54 και R.67). Συγκεκριμένα, η κατασκευή επιτυγχάνονταν όχι με αναδίπλωση, αλλά με τη χρήση μήτρας ώστε να διατηρείται σταθερή η μία διάσταση της ψήφου (διάμετρος) και η διάτρησή της γινόταν με τη χρήση εργαλείου (ίσως μεταλλικού) το οποίο εισέρχονταν κάθετα στη μάζα της υάλου. Η προτεινόμενη διαδικασία δικαιολογεί το σχήμα των φυσαλίδων και τη συγκεκριμένη κατεύθυνσή τους. Με τη χρήση της πλαστελίνης και της ξύλινης μήτρας αποδείχθηκε με ποιον τρόπο μπορούν να πάρουν οι φυσαλίδες το συγκεκριμένο σχήμα και κατεύθυνση.

Βέβαια, όπως φαίνεται και από τις εικόνες της προσομοίωσης, οι «φυσαλίδες» δεν έχουν ακριβώς την ίδια κατεύθυνση με τις πραγματικές φυσαλίδες των υάλων. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε πολλούς παράγοντες. Από τους πιο σημαντικούς είναι η τυχαία τοποθέτηση των ζωγραφισμένων «φυσαλίδων» πάνω στην πλαστελίνη σε σχέση με τις φυσαλίδες που εντοπίστηκαν μέσα στις υάλους. Επίσης να τονιστεί ότι η προσομοίωση

αυτή, για λόγους ευκολίας στην απεικόνιση, έγινε σε δύο διαστάσεις, παρόλο που οι εντοπισθείσες φυσαλίδες βρέθηκαν σε τρεις διαστάσεις. Απλοποιώντας το πρόβλημα αυτό, θεωρήθηκε πως το σχήμα των φυσαλίδων, που εντοπίστηκαν με το μικροσκόπιο, ήταν αυτό που πραγματικά φαινόταν και όχι μία προβολή τους στο δισδιάστατο οπτικό επίπεδο παρατήρησης. Όλοι αυτοί οι παράγοντες επηρεάζουν κατά κάποιο τρόπο την τελική κατεύθυνση των φυσαλίδων. Παρόλα αυτά είναι εμφανές από τις εικόνες (εικ. 51, 52, 55, 59) ότι η μορφή των «φυσαλίδων» είναι παρόμοια με τη μορφή των πραγματικών φυσαλίδων που εντοπίστηκαν με τη βοήθεια του στερεοσκοπίου.

4.4 Εφυαλώματα

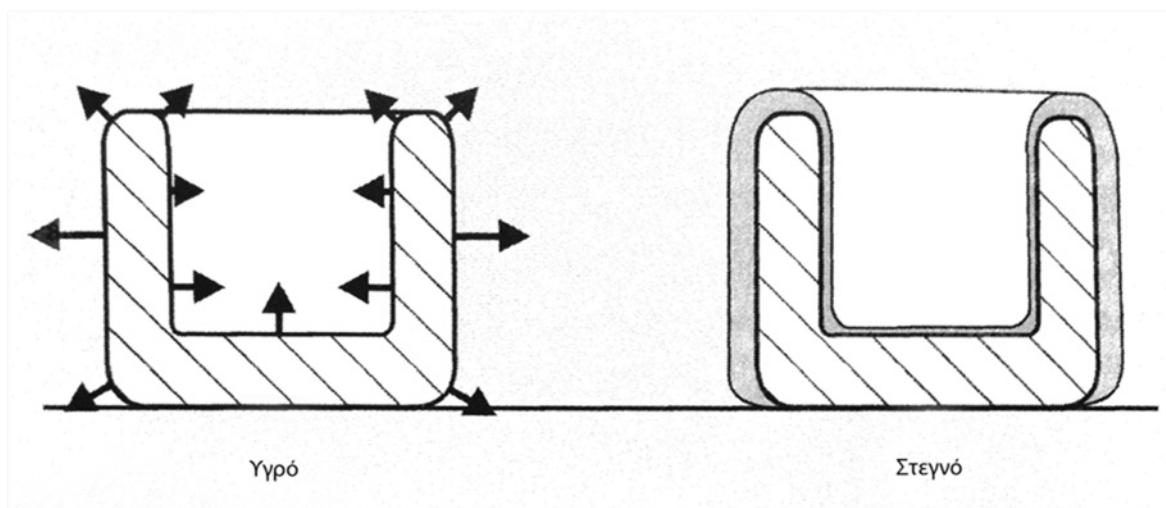
Στην παρούσα εργασία εξετάστηκαν 10 δείγματα φαγεντιανών με τη χρήση Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης (SEM-EDX). Η εξέτασή τους περιελάμβανε δύο στάδια: στο πρώτο έγινε μορφολογική εξέταση και στο δεύτερο χημική ανάλυση. Εξετάστηκαν τόσο το κυρίως σώμα του κάθε δείγματος όσο και η διακόσμησή του, δηλαδή το εφυάλωμα. Η τελευταία εξετάστηκε σε τομή και επιφανειακά στο εξωτερικό της μέρος. Τα δείγματα δεν υπέστησαν κάποια ιδιαίτερη επεξεργασία παρά μόνο αφαιρέθηκε ένα μικρό κομμάτι από το κυρίως σώμα και τοποθετήθηκε με τέτοιο τρόπο πάνω σε ειδικούς δειγματοφορείς, ώστε να είναι ορατή η τομή του. Στη συνέχεια τα δείγματα σε τομή επικαλύφθηκαν με γραφίτη (επιγραφίτωση), ώστε να γίνουν πιο αγωγιμα και να επιτρέπουν πιο ευκρινείς φωτογραφίες. Σε πολλές περιπτώσεις κατά τη διάρκεια της ανάλυσης των τομών των δειγμάτων δεν ήταν δυνατή η διάκριση του εφυαλώματος από το κυρίως σώμα. Λόγω αυτής της ιδιαιτερότητας διεξήχθησαν αναλύσεις και στο εξωτερικό μέρος του εφυαλώματος, όπου ήταν δυνατόν, με την αφαίρεση μικρών επιφανειακών θραυσμάτων.

Τα δείγματα αυτά προέρχονται από τον αποθέτη του Ιερού της Ιαλυσίας Αθηνάς στη Ρόδο και χρονολογούνται στον 7^ο και τον 6^ο αι. π.Χ. Η πλειονότητα των δειγμάτων είναι τμήματα από ειδώλια (δείγματα E.1-E.6, E.8), υπάρχει επίσης ένα τμήμα από αρυβαλλοειδές ληκύθιο E.7, ένα τμήμα κυλινδρικής πυξίδας E.9 και ένα τμήμα σφαιρικού αρυβάλλου E.10. Τα εφυαλώματα έχουν διάφορα χρώματα, όπως πράσινο (n=7) και λευκό (n=3). Τα θραύσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στο Παράρτημα (Παράρτημα I.3). Παρουσιάζουν μεγάλη ψαθυρότητα και η εξαγωγή δείγματος (π.χ. για παρατήρηση τομής) ήταν δύσκολη. Επίσης λόγω της ψαθυρότητας δεν υπέστησαν κατεργασία, όπως καθαρισμό, λείανση κ.λπ., οπότε πρέπει κυρίως στις επιφανειακές αναλύσεις του εφυαλώματος, να ληφθεί υπόψη και ενδεχόμενη διάβρωση της προς ανάλυση επιφάνειας.

Στην έως τώρα βιβλιογραφία προτείνονται τρεις τρόποι εφυάλωσης για φαγεντιανές: η εξάνθιση, η εφαρμογή και η συγκόλληση. Η αγγλική ορολογία των τριών αυτών μεθόδων αντίστοιχα είναι : *Efflorescence*, *Application* και *Cementation* (Wulff et al

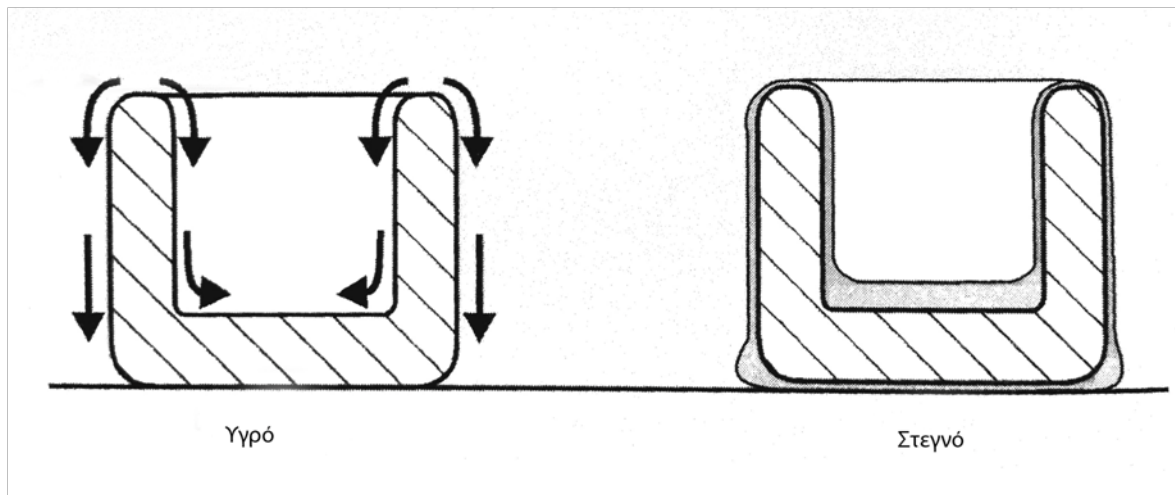
1968· Kaczmarczyk and Hedges 1983· Vandiver 1983· Tite et al 1983· Tite and Bimson 1986· Tite 1987· Tite et al 2007· Rehren 2008) (Μανιάτης 2009).

Εξάνθιση (efflorescence) (εικ. 60): πρόκειται για μέθοδο κατά την οποία τα αλκαλικά και μεταλλικά οξείδια αναμειγνύονται με τα υπόλοιπα υλικά του πυρήνα. Κατά τη διάρκεια που το κατασκευασμένο αντικείμενο στεγνώνει, άλατα κατευθύνονται ακτινικά προς την επιφάνειά του δημιουργώντας έτσι ένα δεύτερο στρώμα. Αυτό το στρώμα κατά τη θέρμανση του αντικειμένου τήκεται και ενώνεται με τα σωματίδια του χαλαζία, του οξειδίου του ασβεστίου και των μεταλλικών οξειδίων σχηματίζοντας έτσι μία στιλπνή υαλωμένη επιφάνεια. Η μέθοδος αυτή σε αρχαία αντικείμενα δημιουργεί ένα ανομοιογενές εφυάλωμα με κυμαινόμενο πάχος στα διάφορα σημεία του αντικειμένου.



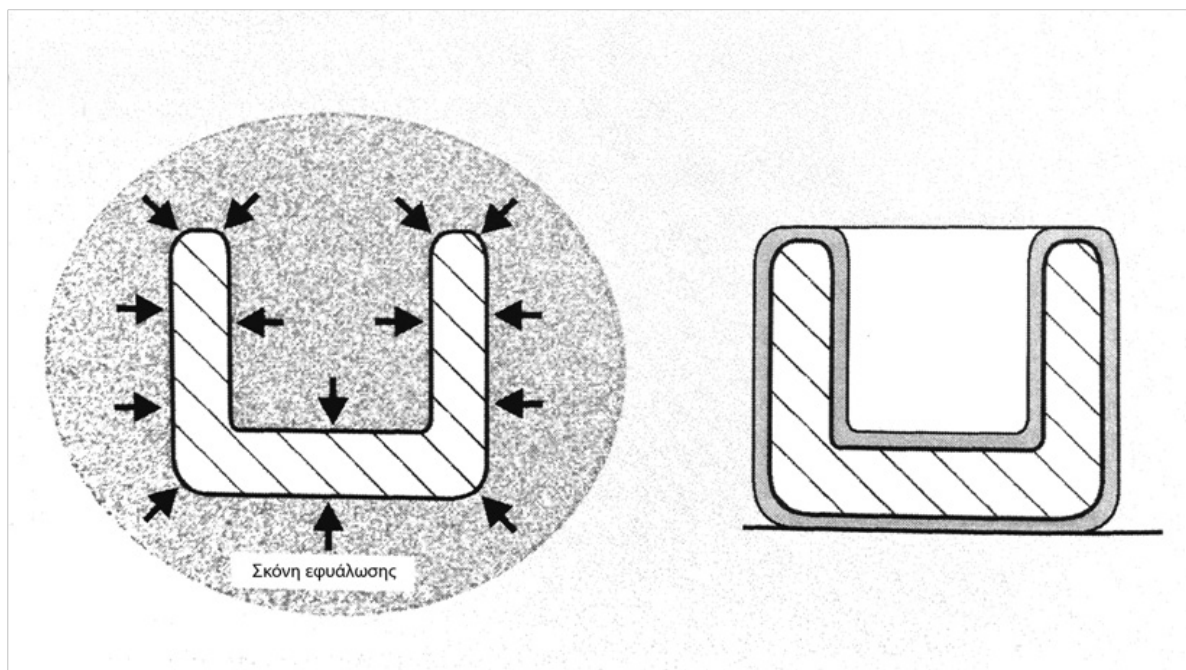
Εικόνα 60: Η μέθοδος της εξάνθισης (Μανιάτης 2009).

Εφαρμογή (application) (εικ. 61): πρόκειται για τη μέθοδο κατά την οποία τα υλικά του εφυαλώματος (SiO_2 , αλκαλικά οξείδια, μεταλλικά οξείδια) αναμειγνύονται με νερό σχηματίζοντας ένα διάλυμα μέσα στο οποίο εμβαπτίζεται το αντικείμενο. Επίσης το μείγμα αυτό μπορεί να εφαρμοστεί πάνω στο κυρίως σώμα με τη χρήση εργαλείων, όπως πινέλου, σπάτουλας κ.λπ. Με αυτόν τον τρόπο συνήθως δημιουργείται εφυάλωμα μεγάλου πάχους.



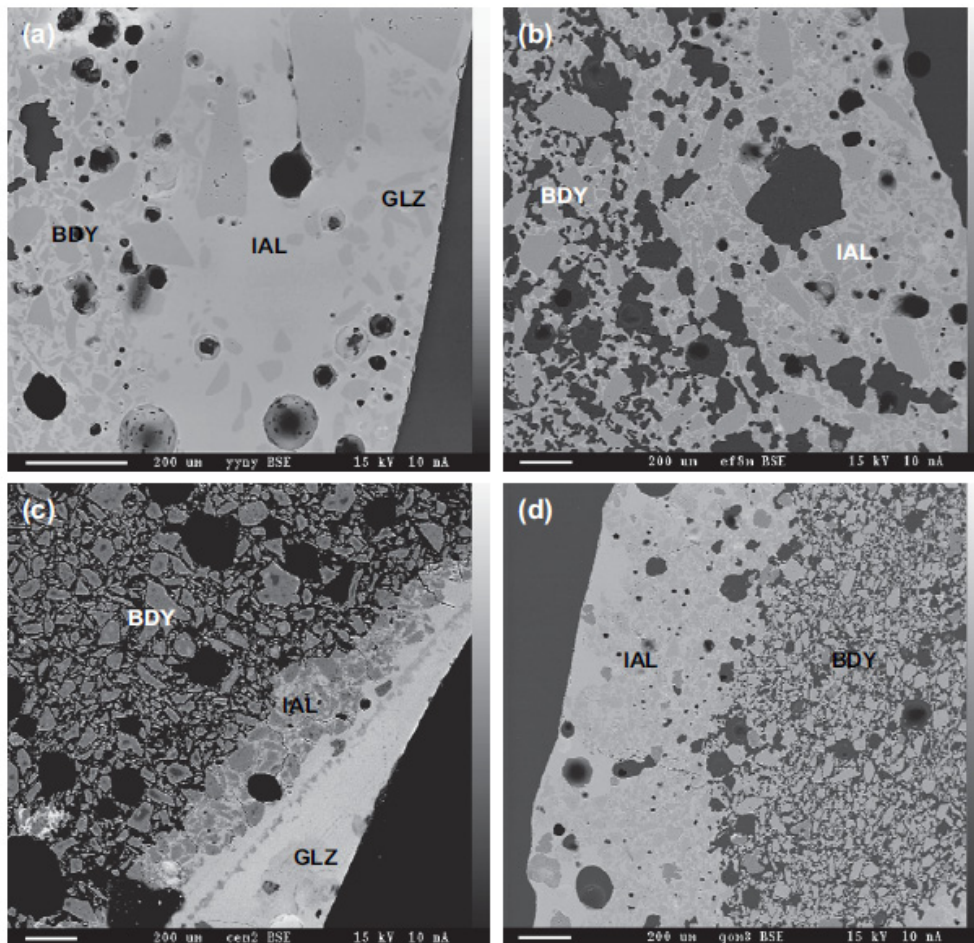
Εικόνα 61: Η μέθοδος της εφαρμογής (Μανιάτης 2009).

Συγκόλληση (cementation) (εικ. 62): πρόκειται για τη μέθοδο κατά την οποία τα υλικά του εφυαλώματος κονιορτοποιούνται σε πολύ λεπτούς κόκκους και το αντικείμενο θάβεται μέσα στη σκόνη. Αλλιώς η μέθοδος αυτή ονομάζεται και Qom από την ομώνυμη πόλη της Περσίας, όπου κατασκεύαζαν φαγεντιανή τη δεκαετία του 1960. Το εφυάλωμα με αυτή τη μέθοδο δημιουργεί ένα λεπτό ομοιογενές στρώμα.



Εικόνα 62: Η μέθοδος της συγκόλλησης (Μανιάτης 2009).

Σε πρόσφατη μελέτη (Tite et al 2007) αποδεικνύεται ότι η φαγεντιανή αποτελείται από τρία μέρη (εικ. 63): α) από την εξωτερική εφυαλωμένη – υαλώδη επιφάνεια, β) από το ενδιάμεσο στρώμα, το οποίο αποτελείται από σωματίδια χαλαζία που ενώνονται με κάποιο υαλώδες υλικό και γ) από το κυρίως σώμα. Στην παρούσα εργασία σε κανένα δείγμα δεν ήταν ευδιάκριτα αυτά τα τρία διαφορετικά στρώματα. Διακρινόταν μόνο τα δύο, δηλ. το κυρίως και το ενδιάμεσο στρώμα το οποίο και θεωρείται ως το εφυάλωμα.



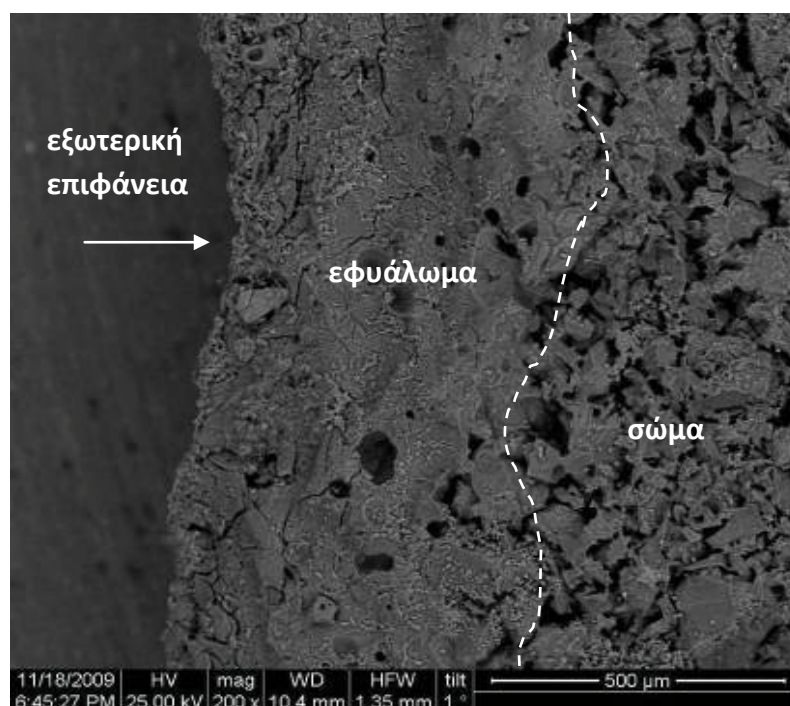
Εικόνα 63: Εικόνες ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης τομών της εξωτερικής εφυαλωμένης-υαλώδους επιφάνειας GLZ, του ενδιάμεσου στρώματος IAL και του κυρίως σώματος BDY (Tite et al 2007).

Δείγμα Ε.1

Η χημική ανάλυση του δείγματος Ε.1 παριστάνεται στον παρακάτω πίνακα (πίν. 13). Στην ανάλυση αυτή παρουσιάζεται τόσο η χημική ανάλυση του κυρίως σώματος της φαγεντιανής όσο και η ανάλυση της διακόσμησης. Η εξωτερική διακόσμηση μελετήθηκε με δύο τρόπους. Στην πρώτη περίπτωση αναλύθηκε η τομή, ενώ στη δεύτερη αναλύθηκε η εξωτερική επιφάνεια της διακόσμησης. Τα σημεία ανάλυσης διακρίνονται στην εικόνα 64.

	Σώμα	Εξ. Διακόσμηση (τομή)	Εξ. Διακόσμηση (επιφάνεια)
Na₂O	3,88	1,62	0,05
MgO	2,20	3,40	4,62
Al₂O₃	5,77	7,09	4,96
SiO₂	77,74	70,33	57,54
SO₃	δ.α.	0,37	0,63
Cl	0,20	0,38	0,39
K₂O	1,10	1,44	1,15
CaO	2,84	9,83	20,70
TiO₂	0,57	0,48	1,56
Fe₂O₃	5,72	4,47	5,48
CuO	δ.α.	0,59	3,54

Πίνακας 13: Χημική ανάλυση του δείγματος Ε.1.



Εικόνα 64: Διακρίνεται καθαρά η διαφορά της μορφολογίας τόσο στο εφυάλωμα όσο και στο κυρίως σώμα του δείγματος Ε.1.

Από την ανάλυση του κυρίως σώματος παρατηρείται ποσοστό SiO_2 77,74% κ.β. Στο δείγμα E.1 παρατηρούνται επίσης υψηλές τιμές σε αργιλία και σίδηρο (5,77% και 5,72% κ.β. αντίστοιχα).

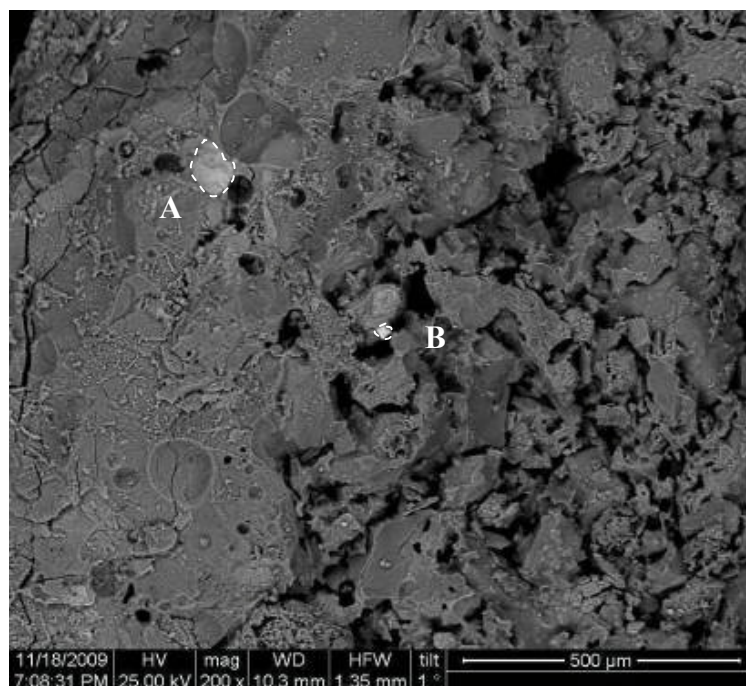
Μεγάλες αποκλίσεις παρατηρούνται στα ποσοστά των οξειδίων της διακόσμησης σχετικά με τον τρόπο ανάλυσης. Έτσι η εξωτερική επιφάνεια παρουσιάζει χαμηλά ποσοστά SiO_2 (57,54% κ.β.) και υψηλά ποσοστά CaO και CuO (20,70% και 3,54% κ.β.) σε σχέση με την ανάλυση της διακόσμησης σε τομή (70,33%, 9,73% και 0,59% κ.β. αντίστοιχα). Αυτές οι διαφοροποιήσεις οφείλονται ενδεχομένως σε διαβρωτικές συνθήκες που επικρατούν στο εξωτερικό μέρος της επιφάνειας. Τα δείγματα αυτά λόγω ψαθυρότητας δεν υπέστησαν καμία επεξεργασία, ώστε να αποφευχθεί η αποκόλληση και καταστροφή τους.

Στην εικόνα 65 το σώμα σε σχέση με το εφυάλωμα παρουσιάζει εντελώς διαφορετικά δομικά χαρακτηριστικά. Το εφυάλωμα δείχνει πιο συμπαγές και αποτελείται από ενιαίο υλικό, σε αντίθεση με τη δομή που παρουσιάζει το κυρίως σώμα, η οποία αποτελείται από διάφορα συσσωματώματα, τα οποία είναι προσκολλημένα μεταξύ τους με κάποιο ενδιάμεσο υλικό.

Στην εικόνα 65 παρατηρήθηκαν δύο σωματίδια. Το Α βρίσκεται στην περιοχή του εφυαλώματος ενώ το Β στην περιοχή του σώματος. Η χημική ανάλυση των δύο αυτών σωματιδίων παριστάνεται στον πίνακα 14. Από τη χημική σύσταση παρατηρείται πως το Α είναι σωματίδιο κάποιου μεταλλεύματος Ti και Fe (51,68% και 24,04% κ.β. αντίστοιχα) και πιθανώς δικαιολογεί την ύπαρξη Ti και Fe στη γενική χημική ανάλυση του εφυαλώματος.

Σωματίδιο Α		Σωματίδιο Β	
Na_2O	7,20	Na_2O	1,79
MgO	3,73	MgO	2,32
Al_2O_3	2,75	Al_2O_3	1,71
SiO_2	8,80	SiO_2	39,50
CaO	1,09	P_2O_5	50,24
TiO_2	51,68	Cl	0,78
Cr_2O_3	0,28	K_2O	0,07
MnO	0,42	CaO	1,03
Fe_2O_3	24,04	Fe_2O_3	2,54

Πίνακας 14: Χημική ανάλυση των σωματιδίων Α και Β που εντοπίστηκαν στο δείγμα E.1 (εικ. 65).



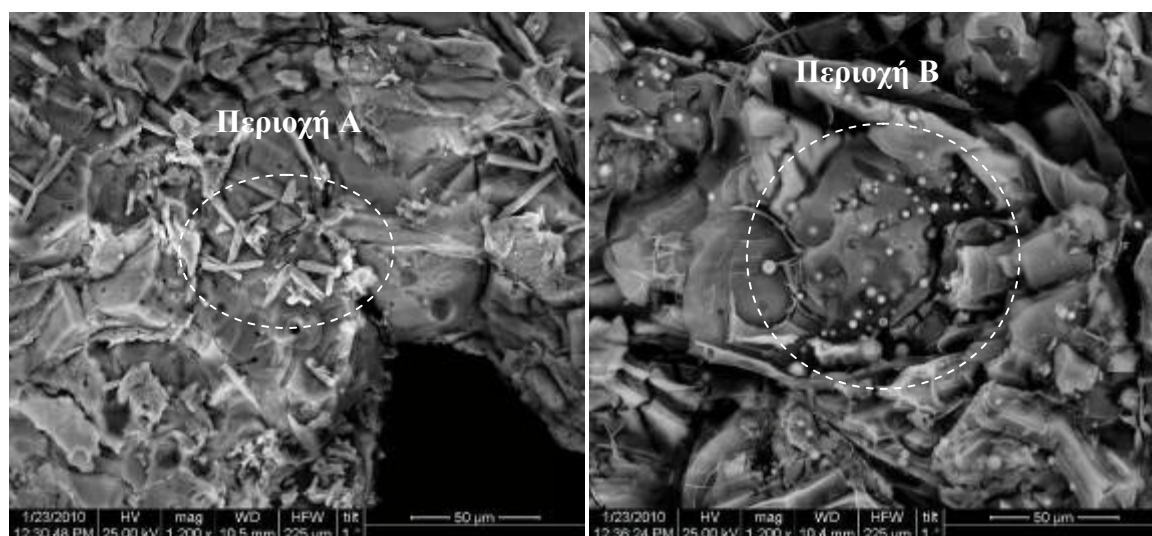
Εικόνα 65: Τα δύο σωματίδια που εντοπίστηκαν, το A στην περιοχή του εφυαλώματος και το B στο κυρίως σώμα του δείγματος E.1.

Το σωματίδιο B παρουσιάζει υψηλά ποσοστά P_2O_5 (50,24% κ.β.). Στη γενική ανάλυση του σώματος δεν ανιχνεύθηκε το συγκεκριμένο οξείδιο πιθανότατα λόγω της περιορισμένης ύπαρξης σωματιδίων B. Σε όλη την περιοχή τόσο του κυρίως σώματος όσο και του εφυαλώματος δεν εντοπίστηκαν καθόλου σωματίδια Cu.

Στην επιφάνεια του εφυαλώματος εντοπίστηκαν δύο περιοχές με τις δομές που παρουσιάζονται στις εικόνες 66, 67. Στην περιοχή A η δομή αποτελείται από πολλά μακρόστενα σωματίδια. Η χημική ανάλυση ενός από αυτά δείχνει ότι τα σωματίδια αυτά αποτελούνται κατά κύριο λόγο από CaO και SiO_2 (47,36% και 43,93% κ.β. αντίστοιχα). Στην περιοχή B εντοπίστηκαν στρογγυλά σωματίδια της τάξεως $\sim 5\mu m$ τα οποία έχουν διάφορες συστάσεις. Από το σύνολο των στρογγυλών σωματιδίων η χημική ανάλυση τριών από αυτά φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (πίν. 15).

Περιοχή Α		Περιοχή Β (3 σωματίδια)			
MgO	2,07	MgO	18,99	7,54	2,16
Al ₂ O ₃	2,04	Al ₂ O ₃	4,13	2,41	3,47
SiO ₂	43,93	SiO ₂	62,28	31,13	40,38
K ₂ O	0,93	Cl	δ.α.	δ.α.	0,83
CaO	47,36	K ₂ O	0,67	0,59	1,52
Fe ₂ O ₃	1,73	CaO	3,30	52,65	11,52
CuO	1,94	TiO ₂	δ.α.	δ.α.	1,34
		Fe ₂ O ₃	3,83	3,56	8,03
		CuO	6,81	2,12	30,76

Πίνακας 15: Χημική ανάλυση των περιοχών Α και Β που εντοπίστηκαν στο εφυάλωμα τους δείγματος Ε.1 (εικ. 66).



Εικόνα 66: Περιοχές Α και Β με ιδιαίτερη μορφολογία που εντοπίστηκαν στο εφυάλωμα του δείγματος Ε.1.

Τα δύο σωματίδια της περιοχής Β παρουσιάζουν υψηλά ποσοστά MgO (18,99% και 7,54% κ.β. αντίστοιχα), ενώ το δεύτερο έχει και υψηλό ποσοστό CaO (52,65% κ.β.). Το τρίτο σωματίδιο παρουσιάζει σχετικά υψηλό ποσοστό CaO (11,52 % κ.β.) και πολύ υψηλό ποσοστό CuO (30,76% κ.β.). Στις δύο εικόνες παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικά οι περιοχές ανάλυσης.



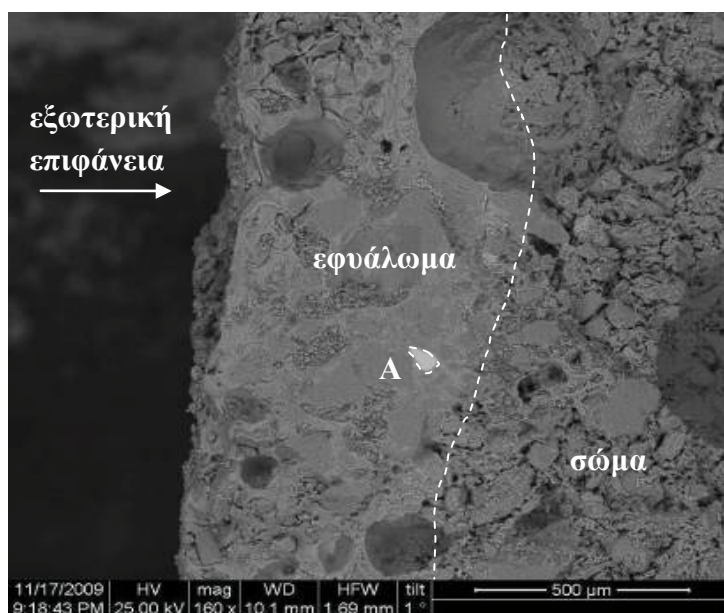
Εικόνα 67: Μεγέθυνση των περιοχών Α και Β που εντοπίστηκαν στο εφυάλωμα του δείγματος Ε.1.

Δείγμα Ε.2

Η χημική ανάλυση του δείγματος Ε.2 τόσο του σώματος όσο και του εφυαλώματος (και με τους δύο τρόπους σε τομή και σε επιφάνεια) παρουσιάζεται στον πίνακα 16. Παρατηρείται υψηλό ποσοστό SiO_2 (91,75% κ.β.), ενώ δεν ανιχνεύτηκε CuO . Η ανάλυση της διακόσμησης με τους δύο τρόπους δεν παρουσιάζει μεγάλες διαφοροποιήσεις.

	Σώμα	Εξ. Διακόσμηση (τομή)	Εξ. Διακόσμηση (επιφάνεια)
Na_2O	1,47	2,91	0,41
MgO	0,49	0,30	1,58
Al_2O_3	2,46	1,99	3,00
SiO_2	91,75	89,81	85,79
SO_3	δ.α.	δ.α.	0,72
Cl	δ.α.	0,29	0,31
K_2O	0,76	1,10	0,56
CaO	1,34	1,22	3,34
TiO_2	0,16	0,22	0,30
Fe_2O_3	1,58	1,61	2,50
CuO	δ.α.	0,70	1,51

Πίνακας 16: Χημική ανάλυση του δείγματος Ε.2.

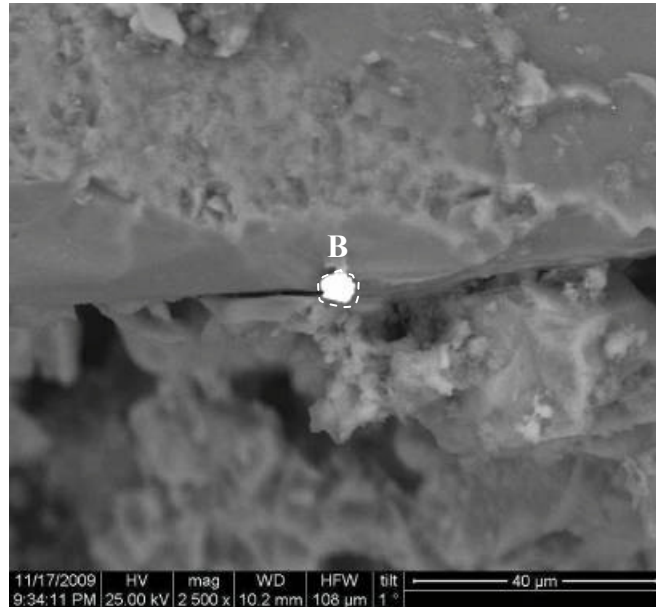


Εικόνα 68: Διακρίνεται καθαρά η διαφορά της μορφολογίας τόσο στο εφυάλωμα όσο και στο κυρίως σώμα του δείγματος E.2. Διακρίνεται επίσης το σωματίδιο A.

Τη μεγαλύτερη διαφοροποίηση παρουσιάζει το Na_2O (2,91% και 0,41% κ.β. σε τομή και επιφάνεια αντίστοιχα) το οποίο είναι πιθανό να οφείλεται στην εξωτερική διάβρωση του δείγματος. Επιπλέον στο εφυάλωμα εντοπίστηκαν δύο σωματίδια (σωματίδιο A στην εικ. 68 και B στην εικ. 69). Η ανάλυση των δύο αυτών σωματιδίων παριστάνεται στον πίνακα 17.

Σωματίδιο A		Σωματίδιο B	
MgO	1,17	SiO ₂	7,39
SiO ₂	0,71	Au ₂ O ₃	92,61
TiO ₂	51,47		
MnO	1,26		
Fe ₂ O ₃	45,39		

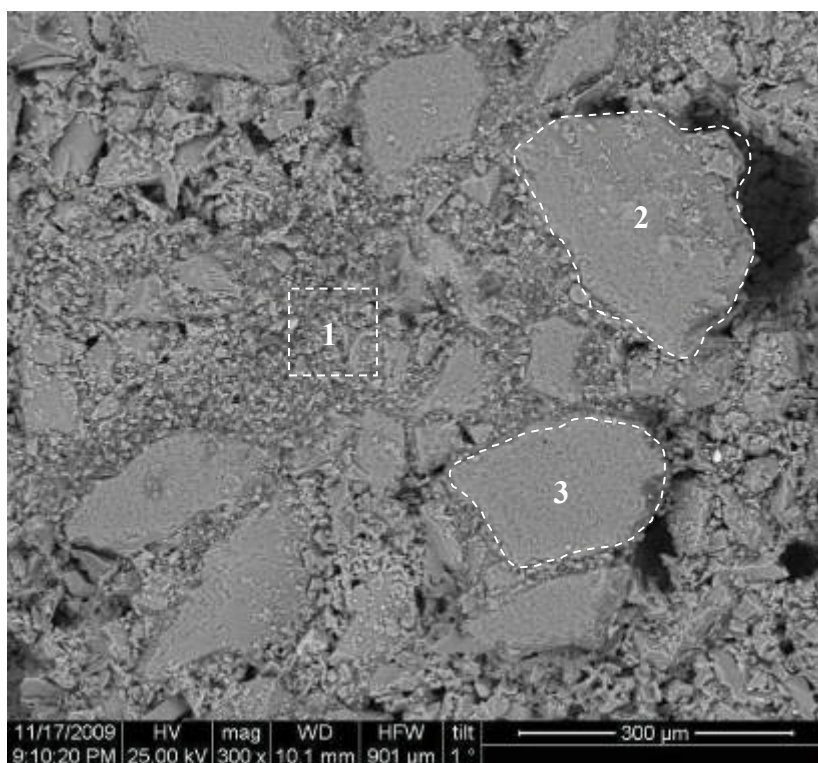
Πίνακας 17: Χημική ανάλυση των σωματιδίων A και B που εντοπίστηκαν στο εφυάλωμα του δείγματος E.2.



Εικόνα 69: Το σωματίδιο B που εντοπίστηκε στο εφυάλωμα του δείγματος E.2.

Το σωματίδιο A παρουσιάζει αυξημένα ποσοστά TiO_2 και Fe_2O_3 (51,47% και 45,39% κ.β. αντίστοιχα), ενώ το σωματίδιο B είναι ένα σωματίδιο καθαρού χρυσού.

Στην επιφάνεια του σώματος παρατηρούνται ευμεγέθη σωματίδια με ακανόνιστα σχήματα. Στην παρακάτω εικόνα (εικ. 70) και πίνακα (πίν. 18) παρουσιάζεται η ανάλυση από τρεις συγκεκριμένες περιοχές. Οι περιοχές 2,3 παρουσιάζουν υψηλά ποσοστά SiO_2 (95,52% και 98,92% κ.β. αντίστοιχα) και είναι σωματίδια χαλαζία. Η περιοχή 1, που αποτελεί και το συνδετικό υλικό των σωματιδίων χαλαζία, έχει χαμηλότερο ποσοστό SiO_2 και προσεγγίζει την τιμή του SiO_2 (91,75% κ.β.) που εντοπίστηκε στη γενική ανάλυση του σώματος (πίν. 16). Προφανώς η αυξημένη αυτή τιμή οφείλεται στην παρουσία των αδιάλυτων αυτών σωματιδίων χαλαζία.



Εικόνα 70: Οι τρεις περιοχές ανάλυσης στο κυρίως σώμα του δείγματος Ε.2. Ξεχωρίζουν τα σωματίδια χαλαζία και οι περιοχές 1, 2 , 3.

	Περιοχή 1	Περιοχή 2	Περιοχή 3
Na ₂ O	0,89	1,15	δ.α.
MgO	0,38	0,34	0,10
Al ₂ O ₃	1,92	1,49	0,51
SiO ₂	93,88	95,52	98,92
K ₂ O	0,58	0,46	0,08
CaO	1,07	0,41	0,14
TiO ₂	0,30	0,09	0,08
Fe ₂ O ₃	0,99	0,55	0,18

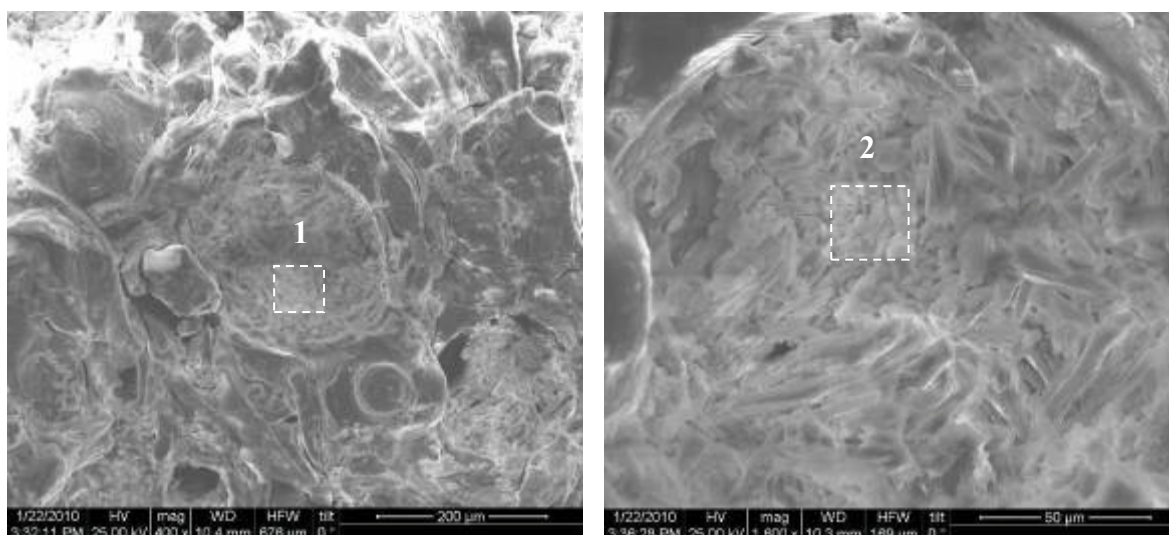
Πίνακας 18: Χημική ανάλυση των περιοχών που εντοπίστηκαν στο κυρίως σώμα του δείγματος Ε.2 (εικ. 70).

Στην επιφάνεια του εφυσάλωματος παρατηρήθηκε μία περιοχή με ιδιαίτερη δομή (εικ. 71). Η χημική ανάλυση έγινε στην ίδια περιοχή αλλά σε δύο διαφορετικές μεγεθύνσεις. Στην πρώτη μεγέθυνση η περιοχή ανάλυσης ορίζεται από ένα τετράγωνο

διαστάσεων ~60x60μm (ανάλυση 1), ενώ στη δεύτερη οι διαστάσεις είναι ~25x25μm (ανάλυση 2). Οι αναλύσεις παρουσιάζουν πολύ κοντινές τιμές και κύριο χαρακτηριστικό τους είναι το αυξημένο ποσοστό σε CaO (78,88% και 77,50% κ.β. αντίστοιχα). Πιθανότατα πρόκειται και στις δύο περιοχές για αδιάλυτα σωματίδια CaCO₃. Η συνολική ανάλυση των δύο περιοχών παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα (πίν. 19).

	Ανάλυση 1	Ανάλυση 2
Na ₂ O	2,03	2,87
MgO	2,74	3,55
Al ₂ O ₃	1,14	1,99
SiO ₂	6,23	4,22
SO ₃	6,36	7,02
Cl	δ.α.	0,76
K ₂ O	0,38	0,70
CaO	78,88	77,50
TiO ₂	0,11	0,15
Fe ₂ O ₃	1,45	0,79
CuO	0,67	0,43

Πίνακας 19: Χημική ανάλυση των περιοχών 1,2 που εντοπίστηκαν στο δείγμα E.2 (εικ. 71).



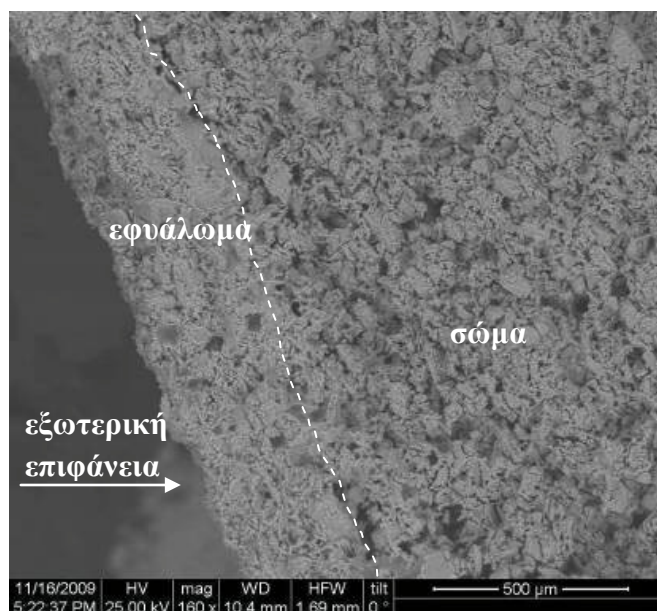
Εικόνα 71: Περιοχή με ιδιαίτερη μορφολογία στο εφυάλωμα του δείγματος E.2.

Δείγμα Ε.3

Η χημική ανάλυση του δείγματος Ε.3 δίνεται στον πίνακα 20. Επίσης η εικόνα της διεπιφάνειας μεταξύ κυρίως σώματος και εφυάλωματος διακρίνεται στην εικόνα 72.

	Σώμα	Εξ. Διακόσμηση (τομή)	Εξ. Διακόσμηση (επιφάνεια)
Na ₂ O	0,12	0,03	δ.α.
MgO	0,31	0,46	6,88
Al ₂ O ₃	0,70	0,75	6,56
SiO ₂	95,67	94,19	52,93
P ₂ O ₅	δ.α.	δ.α.	1,04
SO ₃	0,35	0,40	0,74
Cl	δ.α.	δ.α.	0,36
K ₂ O	0,12	0,13	0,95
CaO	0,39	1,51	17,93
TiO ₂	0,27	0,17	0,36
Fe ₂ O ₃	1,64	0,97	4,31
CuO	0,42	1,40	7,94

Πίνακας 20: Χημική ανάλυση του δείγματος Ε.3.

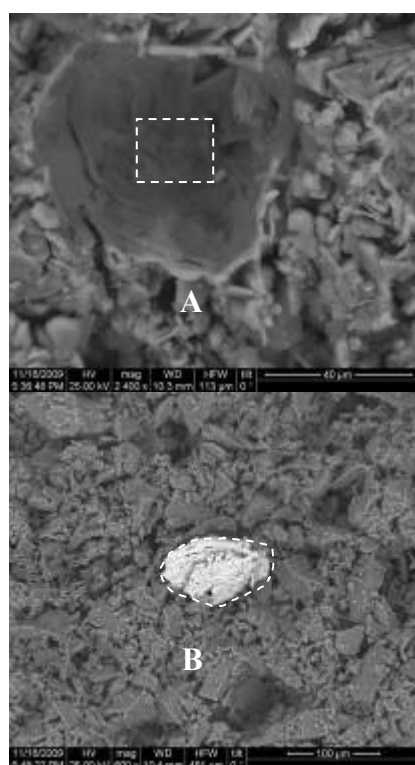


Εικόνα 72: Διακρίνεται καθαρά η διαφορά της μορφολογίας τόσο στο εφυάλωμα όσο και στο κυρίως σώμα του δείγματος Ε.3.

Στην εικόνα (εικ. 72) παρατηρείται μία διαφοροποίηση των δύο επιφανειών με βάση τα δομικά τους χαρακτηριστικά. Εξετάζοντας τη χημική ανάλυση του δείγματος Ε.3

παρουσιάζονται σημαντικές διαφοροποιήσεις σχετικά με την ανάλυση του εφυαλώματος. Έτσι το εφυάλωμα σε τομή παρουσιάζει υψηλό ποσοστό στο SiO_2 (94,19% κ.β.) και πολύ χαμηλές τιμές στα οξείδια MgO , Al_2O_3 , K_2O , CaO , Fe_2O_3 (0,13-1,51% κ.β.) σε αντίθεση με την ανάλυση της εξωτερικής επιφάνειας που παρουσιάζει αρκετά πιο χαμηλό ποσοστό στο SiO_2 (52,93% κ.β.) και σημαντικά πιο υψηλές τιμές στα υπόλοιπα οξείδια (ενδεικτικά MgO 6,88%, CaO 17,93%, CuO 7,94%). Από την ίδια ανάλυση παρατηρείται ότι η σύσταση του εφυαλώματος σε τομή με αυτή του κυρίως σώματος είναι παρόμοιες. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η περιοχή του εφυαλώματος, που παρατηρείται σε τομή, είναι ενδεχομένως το ενδιάμεσο στρώμα από το κανονικό εφυάλωμα και το κυρίως σώμα.

Στην παρακάτω εικόνα (εικ. 73) εντοπίζονται δύο σωματίδια στο εφυάλωμα σε τομή και στο κυρίως σώμα.



Εικόνα 73: Σωματίδιο A που εντοπίστηκε στο εφυάλωμα και σωματίδιο B που εντοπίστηκε στο κυρίως σώμα του δείγματος Ε.3.

Σωματίδιο A		Σωματίδιο B	
MgO	0,38	MgO	0,43
Al ₂ O ₃	0,87	Al ₂ O ₃	0,60
SiO ₂	87,94	SiO ₂	18,39
SO ₃	0,07	SnO ₂	77,79
K ₂ O	0,16	Fe ₂ O ₃	2,04
CaO	2,65	CuO	0,75
TiO ₂	0,39		
Fe ₂ O ₃	2,62		
CuO	4,92		

Πίνακας 21: Χημική ανάλυση των σωματιδίων που εντοπίστηκαν στο εφυάλωμα (A) και στο κυρίως σώμα (B) του δείγματος Ε.3 (εικ. 73).

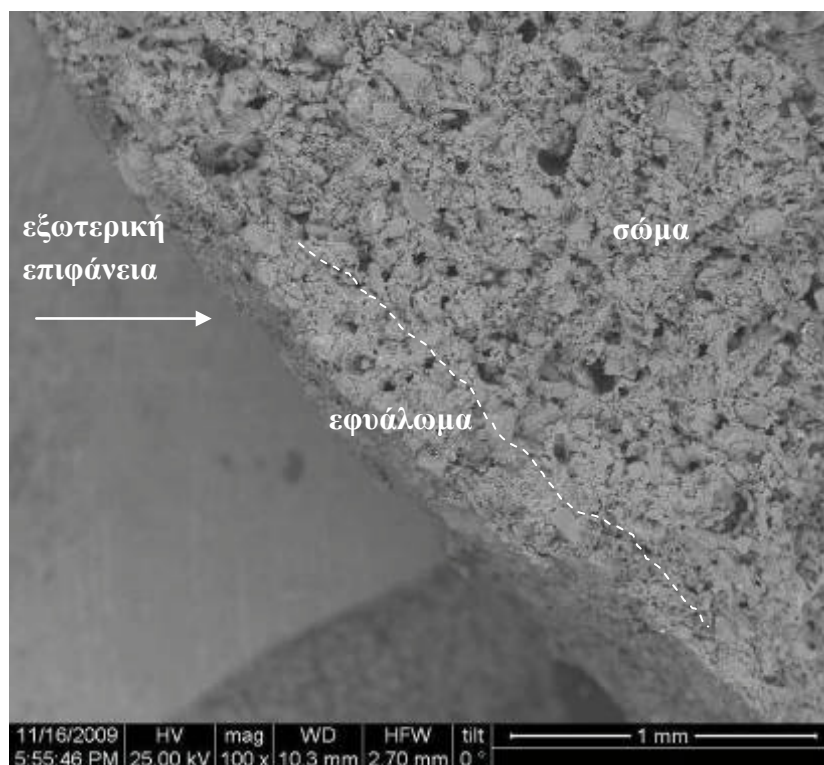
Το σωματίδιο Α είναι μεγέθους ~45μm, ενώ το σωματίδιο Β είναι μεγαλύτερο με μέγεθος ~110μm. Η ανάλυση των δύο αυτών σωματιδίων παριστάνεται στον πίνακα 21. Το σωματίδιο Α παρουσιάζει υψηλό ποσοστό SiO₂ (87,94% κ.β.) και πρόκειται για σωματίδιο χαλαζία. Σημαντικό επίσης είναι και το ποσοστό του σε CuO (4,92% κ.β.). Το σωματίδιο Β είναι σωματίδιο κασσιτέρου, καθώς είναι το κύριο οξείδιο της ανάλυσης με ποσοστό SnO₂ 77,79% κ.β.

Δείγμα Ε.4

Η χημική ανάλυση του δείγματος Ε.4 παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα. (πίν. 22). Στην εικόνα 74 φαίνεται το δείγμα Ε.4 σε τομή όπου το εφυάλωμα διακρίνεται σε ένα μικρό μέρος της συνολικής τομής.

	Σώμα	Εξ. Διακόσμηση (τομή)	Εξ. Διακόσμηση (επιφάνεια)
Na ₂ O	0,07	0,06	δ.α.
MgO	0,19	0,88	1,72
Al ₂ O ₃	0,70	0,76	1,46
SiO ₂	95,35	88,02	89,45
P ₂ O ₅	δ.α.	0,25	0,16
SO ₃	0,46	0,43	0,43
Cl	δ.α.	δ.α.	0,12
K ₂ O	0,26	0,39	0,63
CaO	0,44	3,61	2,29
TiO ₂	0,23	0,44	0,30
Fe ₂ O ₃	1,90	3,83	2,37
CuO	0,40	0,94	1,07
As ₂ O ₃	δ.α.	0,72	δ.α.

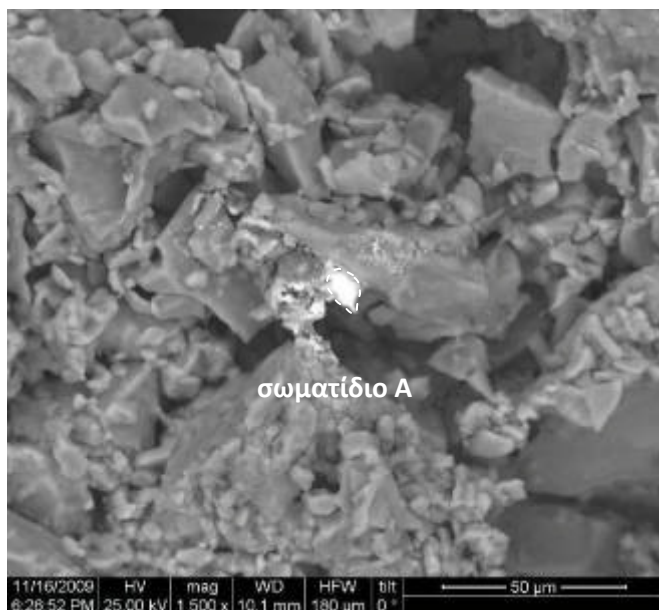
Πίνακας 22: Χημική ανάλυση του δείγματος Ε.4.



Εικόνα 74: Διακρίνεται καθαρά η διαφορά στη μορφολογία του εφυαλώματος και του κυρίως σώματος στο δείγμα Ε.4.

Το δείγμα Ε.4 παρουσιάζει παρόμοιες τιμές στη χημική ανάλυση μεταξύ της τομής και της επιφάνειας του εφυαλώματος. Η μόνη σημαντική διαφορά τους είναι ότι στη χημική ανάλυση της τομής εντοπίζεται και ένα επιπλέον οξείδιο το οποίο είναι το As_2O_3 .

Στο κυρίως σώμα του δείγματος Ε.4 εντοπίστηκε σωματίδιο με ιδιαίτερη χημική σύσταση. Το σωματίδιο και η ανάλυσή του παριστάνονται στην παρακάτω εικόνα (εικ.75) και πίνακα (πίν. 23). Βασικά οξείδια του σωματιδίου είναι το SnO_2 , το Sb_2O_5 και το PbO . Αυτά έχουν αρκετά υψηλές τιμές (22,60%, 35,64% και 7,91% κ.β. αντίστοιχα). Πιθανότατα να προέρχεται από συγκεκριμένο ορυκτό, όπως π.χ. Levyclaudite ($\text{Pb}_8\text{Sn}_7\text{Cu}_3(\text{Bi,Sb})_3\text{S}_{28}$), το οποίο ανήκει στην οικογένεια των σουλφιδίων, είναι χρώματος γκρι και εντοπίζεται στο κοίτασμα του Αγίου Φιλίππου στην Ξάνθη (Mindat.org 2011d). Το ποσοστό του SiO_2 (23,44% κ.β.) είναι σχετικά υψηλό, επειδή η μέτρησή του επηρεάζεται από τη μήτρα, η οποία έχει υψηλό ποσοστό SiO_2 .



Εικόνα 75: Το σωματίδιο Α που εντοπίστηκε στο κυρίως σώμα του δείγματος Ε.4.

Σωματίδιο Α	
Na ₂ O	1.53
Al ₂ O ₃	0.46
SiO ₂	23.44
SnO ₂	22.60
Sb ₂ O ₅	35.64
Fe ₂ O ₃	7.30
CuO	0.50
As ₂ O ₃	0.63
PbO	7.91

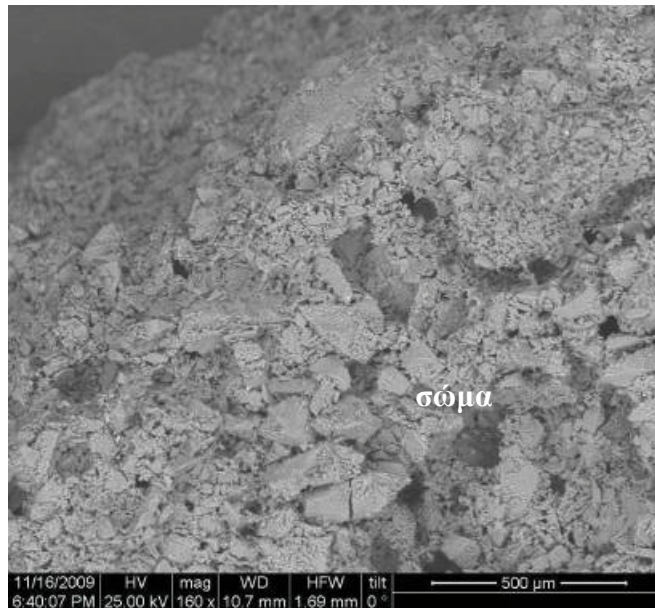
Πίνακας 23: Χημική ανάλυση του σωματιδίου Α που εντοπίστηκε στο κυρίως σώμα του δείγματος Ε.4 (εικ. 75).

Δείγμα Ε.5

Το δείγμα Ε.5 σε τομή διακρίνεται στην εικόνα 76, στην οποία δεν παρατηρείται διαφοροποίηση μεταξύ σώματος και εφυαλώματος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το εφυάλωμα ήταν πολύ ψαθυρό και κατά την τομή του δείγματος δεν συγκρατήθηκε πάνω στο κυρίως σώμα. Η χημική ανάλυση του σώματος και του εφυαλώματος παριστάνονται στον πίνακα 24.

	Σώμα	Εξ. Διακόσμηση (επιφάνεια)
Na ₂ O	0,54	0,41
MgO	0,30	1,59
Al ₂ O ₃	1,66	3,98
SiO ₂	94,47	81,78
SO ₃	δ.α.	1,20
Cl	δ.α.	0,59
K ₂ O	0,38	1,75
CaO	0,94	3,53
TiO ₂	δ.α.	0,37
Fe ₂ O ₃	1,48	2,33
CuO	δ.α.	2,49
ZrO ₂	0,24	δ.α.

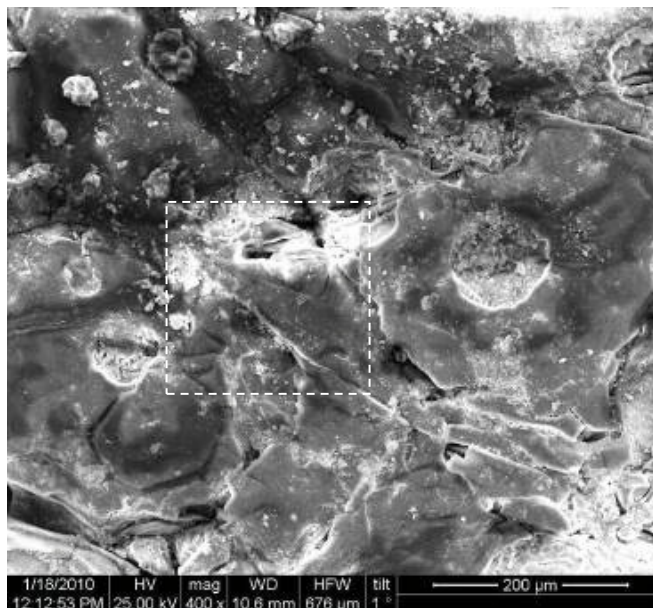
Πίνακας 24: Χημική ανάλυση του δείγματος Ε.5.



Εικόνα 76: Τομή του δείγματος E.5 στην οποία διακρίνεται η μορφολογία μόνο του κυρίως σώματος.

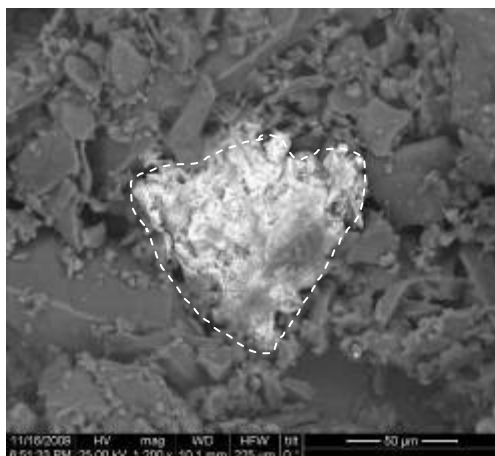
Παράξενο στοιχείο στην ανάλυση αυτή είναι ο εντοπισμός στο κυρίως σώμα του ZrO_2 . Το SiO_2 έχει τιμή 94,47% κ.β. σε αντίθεση με τη διακόσμηση η οποία παρουσιάζει αρκετά χαμηλότερη τιμή στο SiO_2 (81,78% κ.β.).

Ένα από τα σημεία ανάλυσης του εφυσάλωματος διακρίνονται στην εικόνα 77, στην οποία παρατηρείται μία δομή, όπου είναι εμφανής η δημιουργία μίας υαλώδους επιφάνειας.



Εικόνα 77: Υαλωμένη δομή στην επιφάνεια της διακόσμησης του δείγματος E.5.

Στο κυρίως σώμα εντοπίστηκε ένα αδιάλυτο σωματίδιο, το οποίο διακρίνεται στην εικόνα 78. Το μέγεθός του είναι ~50μm και η ανάλυσή του παριστάνεται στον πίνακα 25. Πρόκειται για ακόμα ένα σωματίδιο που αποτελείται κατά κύριο λόγο από SnO₂ (71,69% κ.β.). Πρόκειται πιθανώς για κασσιτερίτη. Η δομή του είναι παρόμοια με το σωματίδιο που βρέθηκε στα δείγματα E.3 και E.4.



Εικόνα 78: Αδιάλυτο σωματίδιο που εντοπίστηκε στο κυρίως σώμα του δείγματος E.5.

Σωματίδιο	
MgO	0,89
Al ₂ O ₃	0,82
SiO ₂	22,60
SO ₃	0,58
SnO ₂	71,69
Fe ₂ O ₃	2,21
CoO	0,30
CuO	0,90

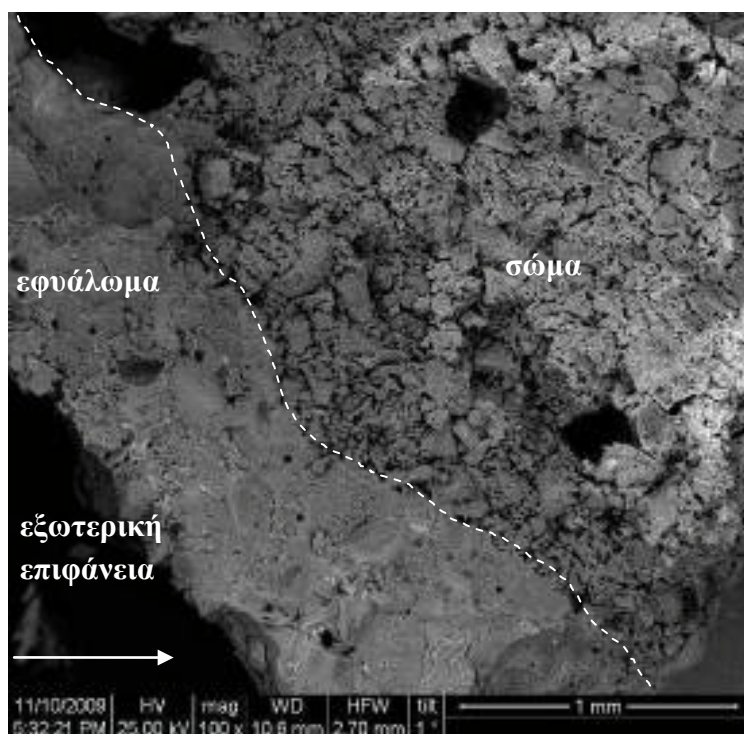
Πίνακας 25: Χημική ανάλυση του σωματιδίου που εντοπίστηκε στο κυρίως σώμα του δείγματος E.5 (εικ. 78).

Δείγμα E.6

Η χημική ανάλυση του δείγματος E.6 παριστάνεται στον πίνακα 26. Στον ίδιο πίνακα παρουσιάζονται και οι αναλύσεις της διακόσμησης τόσο σε τομή όσο και επιφανειακά. Η ανάλυση της διακόσμησης σε γενικές γραμμές παρουσιάζει μία σχετική ομοιογένεια (κυρίως στα Na₂O, Al₂O₃, SiO₂, TiO₂), ενώ κάποιες διαφοροποιήσεις παρουσιάζονται σε οξείδια, όπως τα MgO, CaO, Fe₂O₃ και CuO που ενδεχομένως οφείλονται σε φαινόμενα διάβρωσης. Το εφυάλωμα φαίνεται να έχει υαλοποιηθεί καλύτερα (εικ. 79), ενώ το κυρίως σώμα παρουσιάζει συγκολλημένα ευμεγέθη σωματίδια τα οποία στην πλειονότητά τους είναι σωματίδια χαλαζία και γι' αυτό το λόγο δικαιολογούν και το υψηλό ποσοστό σε SiO₂.

	Σώμα	Εξ. Διακόσμηση (τομή)	Εξ. Διακόσμηση (επιφάνεια)
Na ₂ O	3,46	1,66	1,09
MgO	1,00	1,25	2,54
Al ₂ O ₃	3,96	4,64	4,00
SiO ₂	87,45	82,61	79,09
SO ₃	δ.α.	δ.α.	0,61
Cl	0,08	0,11	0,37
K ₂ O	0,54	0,69	1,09
CaO	1,39	2,88	5,51
TiO ₂	0,19	0,38	0,33
Cr ₂ O ₃	0,05	0,07	δ.α.
MnO	0,11	0,12	δ.α.
Fe ₂ O ₃	1,64	4,45	3,36
CuO	0,17	1,15	2,02

Πίνακας 26: Χημική ανάλυση του δείγματος Ε.6.



Εικόνα 79: Διακρίνεται καθαρά η διαφορά της μορφολογίας τόσο στο εφυσάλωμα όσο και στο κυρίως σώμα του δείγματος Ε.6.

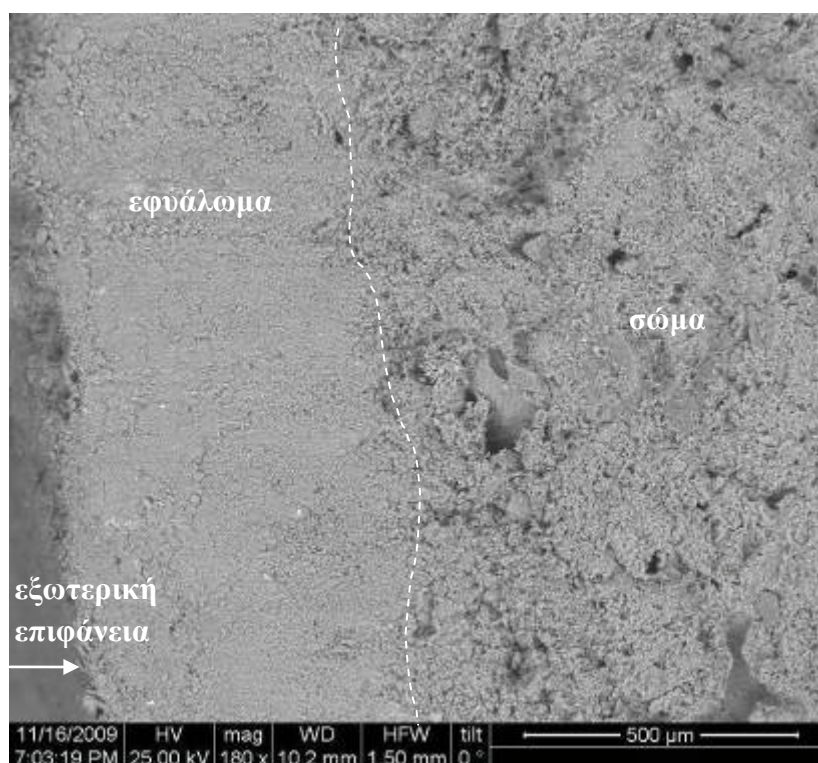
Δείγμα Ε.7

Η χημική ανάλυση του δείγματος Ε.7 παρουσιάζεται στον πίνακα 27. Η χημική ανάλυση του σώματος δείχνει αρκετά μειωμένη τιμή στο SiO_2 (48,08% κ.β.). Παράλληλα παρατηρούνται υψηλές τιμές σε άλλα οξείδια όπως MgO , Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 (6,36%, 13,17%, 19,41% και 8,46% κ.β. αντίστοιχα). Επιπλέον από την εικόνα του κυρίως σώματος (εικ. 80) παρατηρείται μία εντελώς διαφορετική δομή σε σχέση με τα άλλα δείγματα. Ενδεχομένως πρόκειται για άλλο υλικό, πιθανώς κάποιο κεραμικό²⁴. Και η διακόσμηση επίσης παρουσιάζει διαφορετική μορφή από τη συνηθισμένη τόσο οπτικά (εικ. 80) όσο και από πλευράς χημικής σύστασης, η οποία ακολουθεί τις τιμές του σώματος αναλογικά.

	Σώμα	Εξ. Διακόσμηση (τομή)	Εξ. Διακόσμηση (επιφάνεια)
Na_2O	1,26	2,38	0,87
MgO	6,36	7,10	7,19
Al_2O_3	13,17	11,88	6,05
SiO_2	48,08	51,42	58,81
P_2O_5	0,49	0,46	0,40
SO_3	0,37	0,46	1,28
Cl	δ.α.	δ.α.	0,20
K_2O	1,02	1,17	0,82
CaO	19,41	16,44	14,99
TiO_2	0,78	0,83	0,68
MnO	0,28	0,13	δ.α.
Fe_2O_3	8,46	7,45	3,91
NiO	0,17	0,07	δ.α.
CuO	0,17	0,21	1,53
PbO	δ.α.	δ.α.	3,26

Πίνακας 27: Χημική ανάλυση του δείγματος Ε.7.

²⁴ Σε πρόσφατη μελέτη εφυσωμένων κεραμικών από την Κασσώπη τα δείγματα έχουν ενδεικτικούς μέσους όρους ($n=4$) στα οξείδια Na_2O , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , 0,81%, 51,54%, 17,06% και 9,50% κ.β. αντίστοιχα (Parachristodoulou et al 2010), τιμές οι οποίες είναι πολύ κοντά σε σχέση με τις τιμές στα αντίστοιχα οξείδια του δείγματος Ε.7.



Εικόνα 80: Διακρίνεται καθαρά η διαφορά της μορφολογίας τόσο στο εφυάλωμα όσο και στο κυρίως σώμα του δείγματος Ε.7.

Στην επιφάνεια του σώματος εντοπίστηκε σωματίδιο μεγέθους $\sim 30\mu\text{m}$ με ιδιαίτερη χημική σύσταση (εικ. 81 και πίν. 28). Πρόκειται για σωματίδιο το οποίο κατά κύριο λόγο αποτελείται από Fe_2O_3 και TiO_2 με ποσοστά 41,92% και 30,60% κ.β. αντίστοιχα.



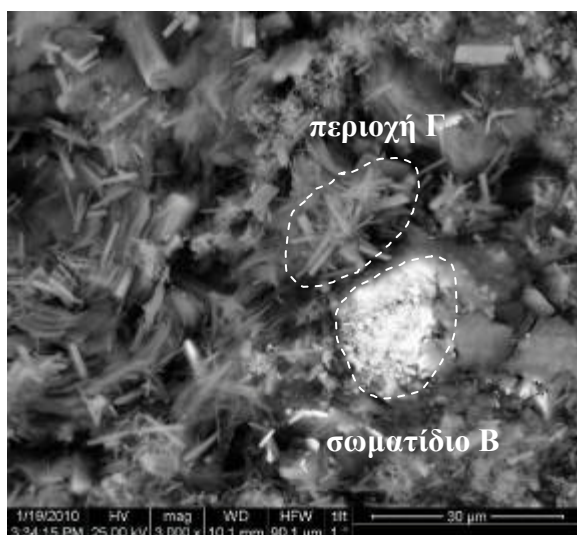
Εικόνα 81: Σωματίδιο που εντοπίστηκε στην επιφάνεια του σώματος του δείγματος Ε.7.

Σωματίδιο Α	
MgO	1,40
Al ₂ O ₃	4,53
SiO ₂	13,75
P ₂ O ₅	0,87
K ₂ O	0,25
CaO	2,99
TiO ₂	30,60
MnO	0,49
Fe ₂ O ₃	41,92
PbO	3,19

Πίνακας 28: Χημική ανάλυση του σωματιδίου που εντοπίστηκε στην επιφάνεια του σώματος του δείγματος Ε.7 (εικ. 81).

Εκτός αυτού στο εφυάλωμα εντοπίστηκαν τρία σωματίδια με χαρακτηριστική χημική ανάλυση και δύο περιοχές με ιδιαίτερη δομή. Πιο συγκεκριμένα στην εικόνα 82 παρουσιάζεται το σωματίδιο Β μεγέθους ~25μm καθώς επίσης και η περιοχή Γ, η οποία έχει μία ακτινική δομή. Τέτοιες περιοχές υπάρχουν διάσπαρτες σε όλη την εξωτερική επιφάνεια του εφυαλώματος.

Το σωματίδιο Β παρουσιάζει πολύ υψηλό ποσοστό SnO₂ (62,56% κ.β.), ενώ οι υψηλές τιμές των υπόλοιπων οξειδίων οφείλονται στη μήτρα μέσα στην οποία βρίσκεται το σωματίδιο Β (πίν. 29). Η χημική ανάλυση της περιοχής Γ (πίν. 29) έγινε πάνω σε ένα από τα μακρόστενα σωματίδια τα οποία εμφανίζουν ακτινική διάταξη. Παρατηρούνται υψηλές τιμές στα οξείδια MgO και CaO (11,62% και 18,00% κ.β. αντίστοιχα) καθώς επίσης και στο CuO και στο Fe₂O₃ (4,43% και 4,16% κ.β. αντίστοιχα).



Εικόνα 82: Σωματίδιο Β και περιοχή Γ που εντοπίστηκαν στο εφυάλωμα του δείγματος Ε.7.

Σωματίδιο Β		Περιοχή Γ	
MgO	0,91	MgO	11,62
Al ₂ O ₃	3,29	Al ₂ O ₃	2,81
SiO ₂	22,24	SiO ₂	57,26
SO ₃	0,32	SO ₃	0,69
PbO	1,69	K ₂ O	0,42
SnO ₂	62,56	CaO	18,00
CaO	7,03	TiO ₂	0,61
Fe ₂ O ₃	1,96	Fe ₂ O ₃	4,16
		CuO	4,43

Πίνακας 29: Χημική ανάλυση του σωματιδίου Β και της περιοχής Γ που εντοπίστηκαν στο εφυάλωμα του δείγματος Ε.7 (εικ. 82).

Τα σωματίδια Δ και Ε (εικ. 83, 84) εντοπίστηκαν στο εφυάλωμα και είναι πολύ μικρότερου μεγέθους ~1μm και 1,5 μm αντίστοιχα. Ενδεχομένως πρόκειται για σωματίδια μολύβδου. Από τη χημική τους ανάλυση (πίν. 30, 31) φαίνεται πως έχουν υψηλό ποσοστό σε PbO (35,29% και 36,50% κ.β. αντίστοιχα), ενώ ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει η ύπαρξη P₂O₅ σε ποσοστά 10,60% και 26,77% κ.β. αντίστοιχα. Η δομή τους, όπως

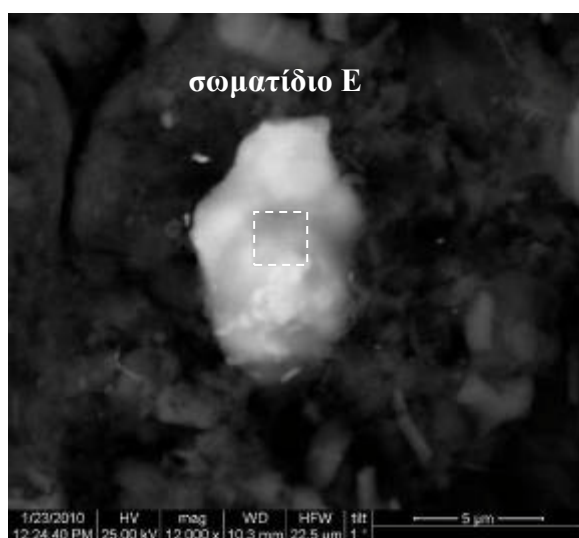
παρουσιάζεται στις παρακάτω εικόνες (εικ. 79, 80), είναι σχεδόν η ίδια με μόνη διαφορά το μέγεθος των δύο σωματιδίων.



Εικόνα 83: Σωματίδιο Δ που εντοπίστηκε στο εφυάλωμα του δείγματος Ε.7.

σωματίδιο Δ	
MgO	6,05
Al ₂ O ₃	2,38
SiO ₂	26,39
P ₂ O ₅	10,60
CaO	15,42
Fe ₂ O ₃	2,12
CoO	0,32
CuO	1,43
PbO	35,29

Πίνακας 30: Χημική ανάλυση του σωματιδίου Δ. που εντοπίστηκε στο εφυάλωμα του δείγματος Ε.7 (εικ. 83).

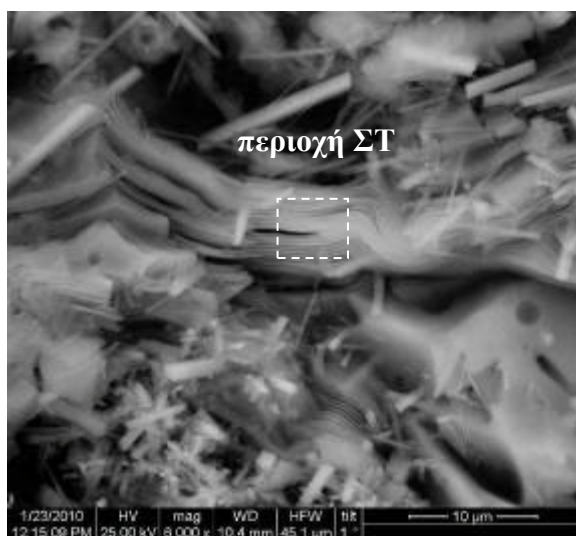


Εικόνα 84: Σωματίδιο Ε που εντοπίστηκε στο εφυάλωμα του δείγματος Ε.7.

Σωματίδιο Ε	
MgO	1,02
Al ₂ O ₃	1,44
SiO ₂	9,30
P ₂ O ₅	26,77
CaO	21,37
Fe ₂ O ₃	1,33
CoO	0,34
CuO	1,93
PbO	36,50

Πίνακας 31: Χημική ανάλυση του σωματιδίου Ε που εντοπίστηκε στο εφυάλωμα του δείγματος Ε.7 (εικ. 84).

Τέλος στην περιοχή ΣΤ του εφυαλώματος παρατηρείται και εδώ μία ξεχωριστή δομή (εικ. 85). Από τη χημική της ανάλυση διαπιστώνονται υψηλές τιμές στο CuO (16,48% κ.β.) (πίν. 32).



Εικόνα 85: Μορφολογία περιοχής ΣΤ που εντοπίστηκε στο εφυάλωμα του δείγματος Ε.7.

Περιοχή ΣΤ	
MgO	3,96
Al ₂ O ₃	5,13
SiO ₂	54,19
SO ₃	1,02
Cl	0,40
K ₂ O	0,80
CaO	12,71
TiO ₂	0,86
Fe ₂ O ₃	4,45
CuO	16,48

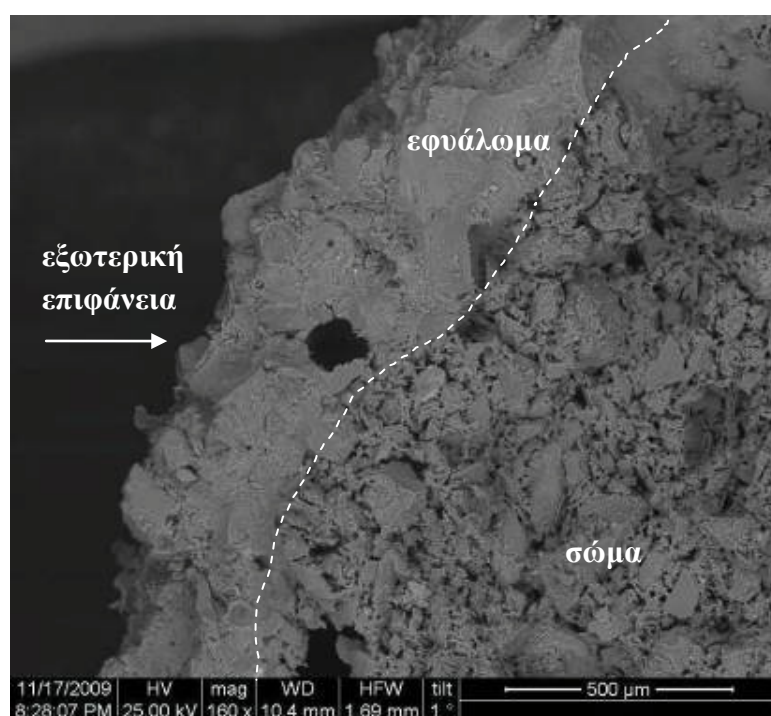
Πίνακας 32: Χημική ανάλυση της περιοχής ΣΤ που εντοπίστηκε στο εφυάλωμα του δείγματος Ε.7 (εικ. 85).

Δείγμα Ε.8

Η χημική ανάλυση του δείγματος Ε.8 παριστάνεται στον πίνακα 33 τόσο για το κυρίως σώμα όσο και για το εφυάλωμα. Το κυρίως σώμα παρουσιάζει ποσοστό SiO₂ 87,00% κ.β. το οποίο είναι αρκετά πιο υψηλό από το αντίστοιχο ποσοστό του εφυαλώματος (77,94% και 75,84% κ.β.). Το εφυάλωμα και στις δύο μετρήσεις (τομή και επιφάνεια) παρουσιάζει πολύ υψηλές τιμές Na₂O (4,39% και 7,24% κ.β. αντίστοιχα). Στην εικόνα 86 διακρίνεται η δομή τόσο του κυρίως σώματος όσο και του εφυαλώματος σε τομή.

	Σώμα	Εξ. Διακόσμηση (τομή)	Εξ. Διακόσμηση (επιφάνεια)
Na ₂ O	2,88	4,39	7,24
MgO	0,75	0,65	1,32
Al ₂ O ₃	3,38	7,33	3,49
SiO ₂	87,00	77,94	75,84
SO ₃	0,38	0,39	0,90
Cl	δ.α.	0,19	0,54
K ₂ O	0,81	2,70	1,48
CaO	2,22	1,48	2,32
TiO ₂	0,32	0,43	0,26
MnO	δ.α.	δ.α.	1,76
Fe ₂ O ₃	2,27	3,27	2,45
CuO	δ.α.	1,24	2,37

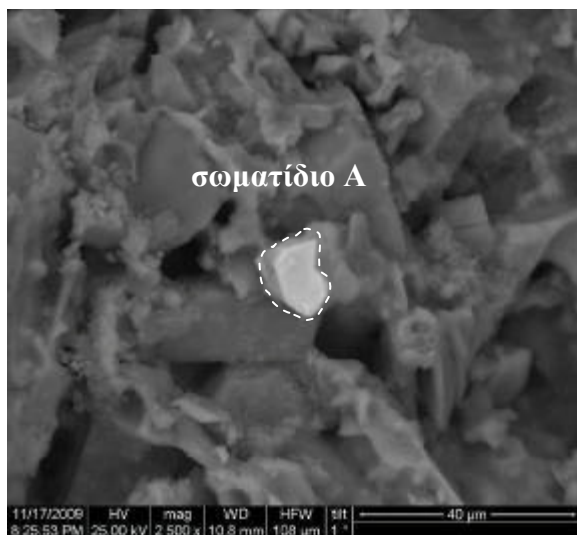
Πίνακας 33: Χημική ανάλυση του δείγματος Ε.8.



Εικόνα 86: Διακρίνεται καθαρά η διαφορά της μορφολογίας του εφυαλώματος και του κυρίως σώματος του δείγματος Ε.8.

Στο κυρίως σώμα εντοπίστηκαν δύο σωματίδια (Α και Β) (εικ. 87, 88) και στο εφυάλωμα ένα (Γ) (εικ. 89) με ιδιαίτερες χημικές συστάσεις. Τα σωματίδια Α και Β που εντοπίστηκαν στο κυρίως σώμα έχουν μέγεθος ~15μm και ~30μm αντίστοιχα. Το κύριο συστατικό που παρουσιάζουν είναι το PtO (64,98% και 40,54% κ.β. αντίστοιχα), ενώ το

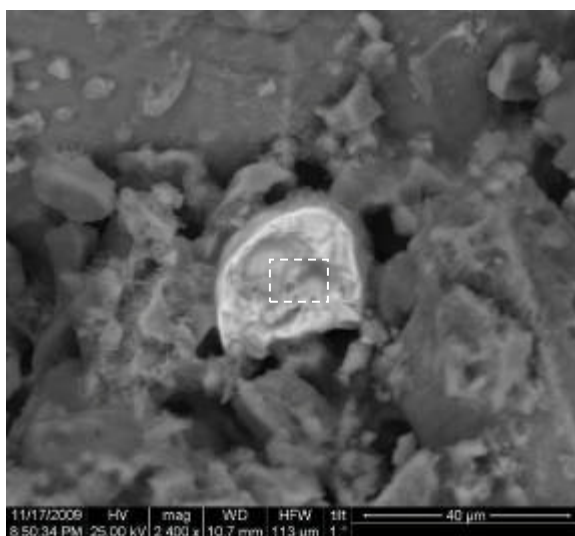
σωματίδιο Β, που έχει και το μικρότερο ποσοστό σε PtO, παρουσιάζει επιπλέον και ποσοστό 10,69% κ.β. σε P₂O₅ (πίν. 34, 35).



Εικόνα 87: Σωματίδιο Α που εντοπίστηκε στο κυρίως σώμα του δείγματος Ε.8.

Σωματίδιο Α	
Na ₂ O	0,43
Al ₂ O ₃	0,26
SiO ₂	34,32
PtO	64,98

Πίνακας 34: Χημική ανάλυση του σωματιδίου Α που εντοπίστηκε στο κυρίως σώμα του δείγματος Ε.8. (εικ. 87).



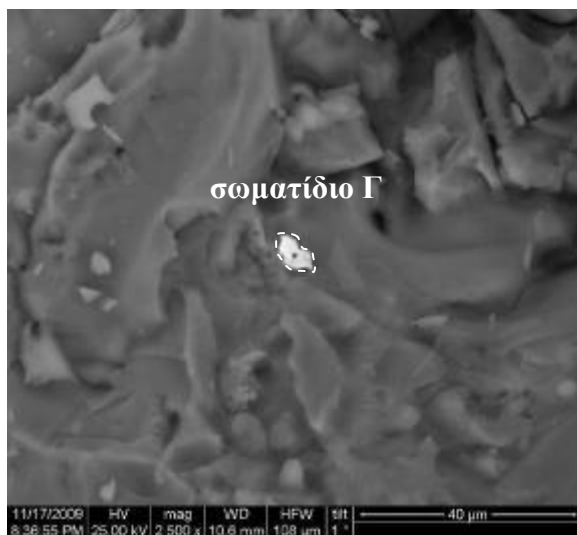
Εικόνα 88: Σωματίδιο Β που εντοπίστηκε στο κυρίως σώμα του δείγματος Ε.8.

Σωματίδιο Β	
Na ₂ O	2,38
MgO	0,45
Al ₂ O ₃	1,08
SiO ₂	41,62
P ₂ O ₅	10,69
PtO	40,54
K ₂ O	0,93
CaO	0,82
Fe ₂ O ₃	1,49

Πίνακας 35: Χημική ανάλυση του σωματιδίου Β που εντοπίστηκε στο κυρίως σώμα του δείγματος Ε.8 (εικ. 88).

Στο εφυάλωμα εντοπίστηκε το σωματίδιο Γ (εικ. 89) το οποίο είναι μεγέθους ~8μm. Κύριο οξείδιο που εντοπίστηκε στο σωματίδιο αυτό είναι το SnO₂ με υψηλό

ποσοστό 79,88% κ.β. (πίν. 36). Τέτοιου είδους σωματίδια έχουν εντοπιστεί στο εφυάλωμα τεσσάρων ακόμα δειγμάτων (Ε.3, Ε.4, Ε.5, Ε.7), όπως έχει ήδη αναφερθεί.



Εικόνα 89: Σωματίδιο Γ που εντοπίστηκε στο εφυάλωμα του δείγματος Ε.8.

Σωματίδιο Γ	
Al ₂ O ₃	1,54
SiO ₂	15,06
SnO ₂	79,88
Fe ₂ O ₃	2,38
CuO	1,15

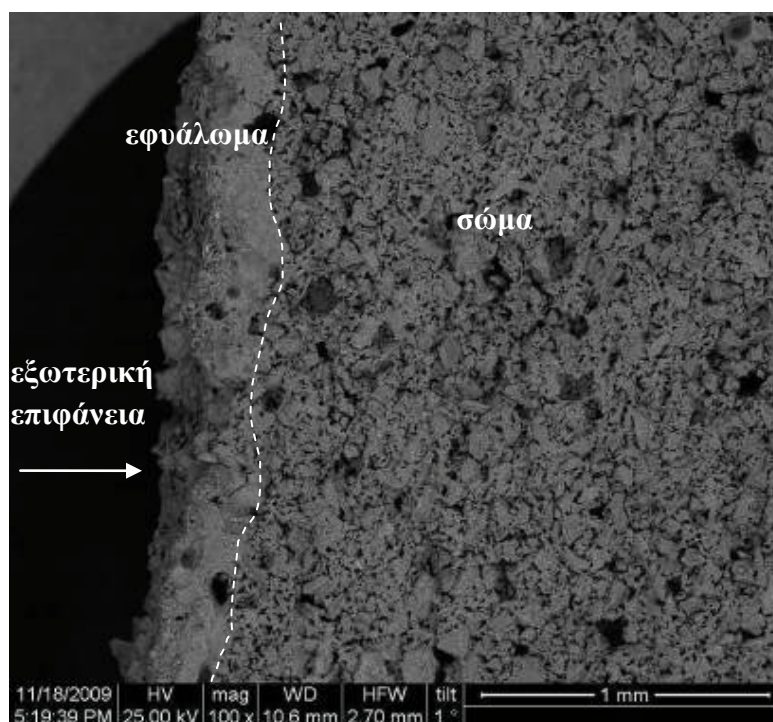
Πίνακας 36: Χημική ανάλυση του σωματιδίου Γ που εντοπίστηκε στο κυρίως σώμα του δείγματος Ε.8 (εικ. 89).

Δείγμα Ε.9

Η χημική ανάλυση του δείγματος Ε.9 (πίν. 37) υποδεικνύει ότι η χημική σύσταση του σώματος (εικ. 90) δεν παρουσιάζει μεγάλες διαφορές στις τιμές των οξειδίων σε σχέση με τις τιμές που έχουν ανιχνευθεί στα προηγούμενα δείγματα, εκτός από την σχετικά υψηλή τιμή σε SiO₂ (89,99% κ.β.) και την ύπαρξη Na₂O σε ποσοστό 2,05% κ.β.

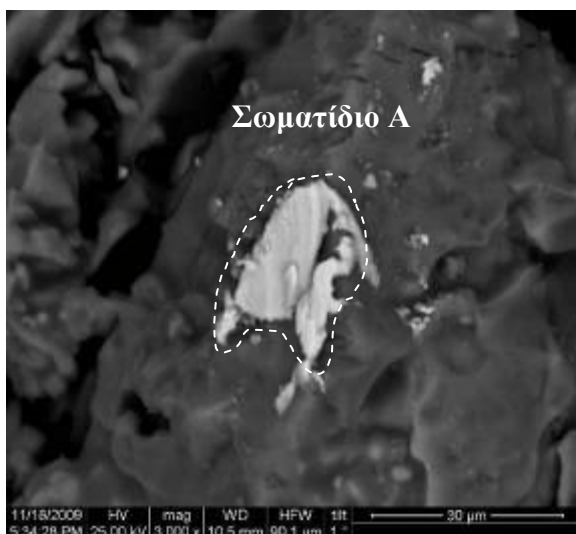
	Σώμα	Εξ. Διακόσμηση (τομή)	Εξ. Διακόσμηση (επιφάνεια)
Na ₂ O	2,05	3,97	1,29
MgO	0,47	0,42	1,74
Al ₂ O ₃	3,17	4,42	6,70
SiO ₂	89,99	86,62	73,34
SO ₃	0,15	δ.α.	0,79
Cl	0,14	0,30	0,75
K ₂ O	1,08	1,29	1,20
CaO	1,08	0,96	10,36
TiO ₂	δ.α.	0,21	0,30
Fe ₂ O ₃	1,97	1,47	2,45
CuO	δ.α.	0,33	1,08

Πίνακας 37: Χημική ανάλυση του δείγματος Ε.9.



Εικόνα 90: Διακρίνεται καθαρά η διαφορά της μορφολογίας του εφυσάλωματος και του κυρίως σώμα στο δείγμα Ε.9.

Στο κυρίως σώμα εντοπίστηκε ένα σωματίδιο (σωματίδιο Α) (εικ. 91) το οποίο είναι αδιάλυτο οξείδιο του σιδήρου, αφού έχει ποσοστό Fe_2O_3 92,30% κ.β. (πίν. 38).

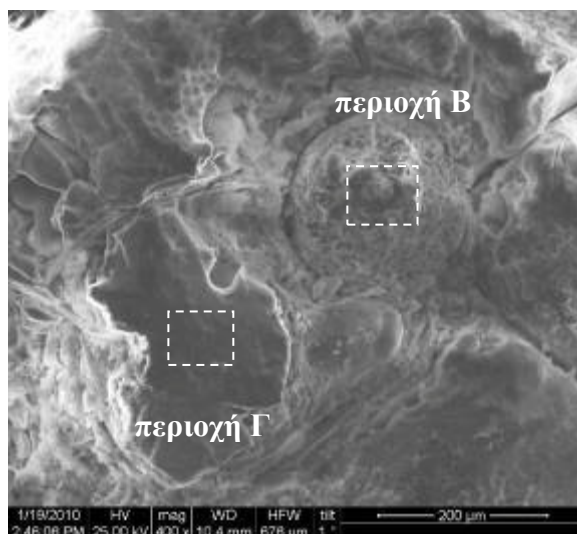


Σωματίδιο Α	
Al_2O_3	0,37
SiO_2	6,70
MnO	0,63
Fe_2O_3	92,30

Εικόνα 91: Σωματίδιο Α που εντοπίστηκε στο κυρίως σώμα του δείγματος Ε.8.

Πίνακας 38: Χημική ανάλυση του σωματιδίου Α που εντοπίστηκε στο κυρίως σώμα του δείγματος Ε.8 (εικ. 91).

Επίσης στην επιφάνεια της διακόσμησης εντοπίστηκαν δύο ιδιαίτερες περιοχές με χαρακτηριστική δομή (εικ. 92). Η περιοχή Β παρουσιάζει και την πιο ιδιαίτερη χημική σύσταση (πίν. 39), αφού έχει υψηλά ποσοστά των οξειδίων των αλκαλικών γαιών CaO και MgO (17,31% και 7,48% κ.β. αντίστοιχα) καθώς επίσης και υψηλό ποσοστό σε Fe_2O_3 8,14% κ.β. και PbO 3,37% κ.β. Αντίθετα η περιοχή Γ παρουσιάζει πολύ χαμηλότερες τιμές στα αντίστοιχα οξείδια, ενώ έχει αυξημένες τιμές στο Al_2O_3 (9,39% κ.β.) και στο SiO_2 , το οποίο είναι σχεδόν διπλάσιο (74,69% κ.β. έναντι 46,36% κ.β.).



Εικόνα 92: Περιοχές Β και Γ που εντοπίστηκαν στο εφυάλωμα του δείγματος Ε.9.

	Περιοχή Β	Περιοχή Γ
Na ₂ O	0,43	1,94
MgO	7,48	1,91
Al ₂ O ₃	6,69	9,39
SiO ₂	46,36	74,69
P ₂ O ₅	0,78	δ.α.
SO ₃	2,63	1,24
Cl	0,78	1,14
K ₂ O	1,61	1,51
CaO	17,31	4,75
TiO ₂	1,28	0,20
MnO	1,70	0,25
Fe ₂ O ₃	8,14	1,09
CuO	1,46	0,51
PbO	3,37	1,38

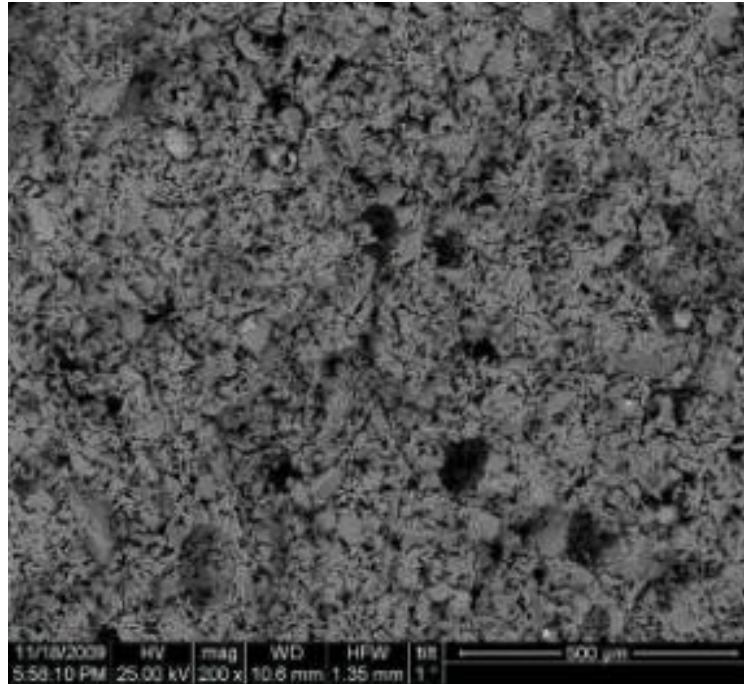
Πίνακας 39: Χημική ανάλυση των περιοχών Β και Γ που εντοπίστηκαν στο εφυάλωμα του δείγματος Ε.9 (εικ. 92).

Δείγμα Ε.10

Το δείγμα Ε.10 λόγω κακής ποιότητας και λόγω μεγάλης διάβρωσης δεν παρουσιάζει κάποιο εφυάλωμα στην εξωτερική του επιφάνεια. Επομένως δεν ήταν δυνατή η ανάλυση του εφυαλώματος ούτε κατά τομή ούτε στην εξωτερική επιφάνεια. Γι αυτόν τον λόγο έγινε ανάλυση μόνο του κυρίως σώματος του δείγματος Ε.10 (πίν. 40) (εικ. 93).

	Σώμα
Na ₂ O	0,14
MgO	0,27
Al ₂ O ₃	1,09
SiO ₂	94,08
SO ₃	0,28
K ₂ O	0,14
CaO	0,67
TiO ₂	0,35
Fe ₂ O ₃	1,30
CuO	1,87

Πίνακας 40: Χημική ανάλυση του κυρίως σώματος του δείγματος Ε.10.



Εικόνα 93: Διακρίνεται η μορφολογία του κυρίως σώματος του δείγματος E.10.

Στην παραπάνω εικόνα (εικ. 93) διακρίνονται σωματίδια πολυγωνικού σχήματος και σχετικά μικρού μεγέθους (τα μεγαλύτερα και πιο ευδιάκριτα έχουν μέγεθος ~70-80 μm), τα οποία είναι σωματίδια χαλαζία. Αυτό δικαιολογεί την υψηλή τιμή του σώματος σε SiO_2 (94,08% κ.β.) (πίν. 40). Εντύπωση προκαλεί η ύπαρξη CuO σε αρκετά υψηλό ποσοστό (1,87% κ.β.) λόγω απουσίας εφυσalώματος.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν με βασικές μεθόδους της αρχαιομετρικής επιστήμης (SEM-EDX, XRF, Raman Spectroscopy, OM) θραύσματα υάλινων ψήφων και εφυαλωμάτων που προέρχονται αντίστοιχα από τη Ρόδο (Κάμειρος και Ιαλυσός) και τη Θήβα (ΒΑ Νεκροταφείο), τα οποία εντάσσονται σε ένα ευρύ χρονολογικό πλαίσιο από την Αρχαϊκή έως την Ελληνιστική περίοδο. Σε μία περίπτωση έγινε και προσομοίωση με χρήση μηχανικών αναλόγων για την εξαγωγή τεχνολογικών συμπερασμάτων.

Γενικώς η αρχαία ύαλος είναι ένας συνδυασμός πολλών συστατικών, ο οποίος κάνει δύσκολη την περιγραφή της με συγκεκριμένο χημικό τύπο. Βασικός στόχος της έρευνας είναι κυρίως ο προσδιορισμός της χημικής σύστασης των υάλινων αντικειμένων από τη Ρόδο και τη Θήβα και η ανίχνευση των κύριων και δευτερευόντων συστατικών τους, καθώς και των ιχνοστοιχείων τους, ώστε να προσδιοριστεί η δομή και η τεχνολογία παρασκευής τους. Μέσω των χημικών αναλύσεων και των σχετικών πειραμάτων ανιχνεύθηκαν στοιχεία των τεχνικών των αρχαίων υαλουργείων και υαλοποιίων, καθώς και της διαχρονικής εξέλιξης της αρχαίας ύαλου.

Τα δεδομένα που προέκυψαν τόσο από τις πειραματικές αναλύσεις όσο και από τις μακροσκοπικές και μικροσκοπικές παρατηρήσεις μπορούν να συνοψιστούν στα εξής:

Από την εξέταση των κύριων και δευτερευόντων στοιχείων στα δείγματα των δύο συλλογών προκύπτουν σημαντικές διαφορές ως προς τις κύριες πρώτες ύλες. Συγκεκριμένα διαπιστώνεται διαφορά στην πρώτη ύλη του διοξειδίου του πυριτίου (SiO_2), δηλ. στην άμμο, αν και δεν υφίστανται αρκετά δεδομένα για την απάντηση ερωτημάτων σχετικά με την προέλευση.

Διαπιστώνεται επίσης διαφορά στη χρήση πηγών αλκαλίου (Na_2O , K_2O). Οι ύαλοι από τη Θήβα ως κύρια πηγή αλκαλίου έχουν το νάτρον, ενώ αντίθετα οι ύαλοι της Ρόδου ως βασική πηγή αλκαλίου έχουν την τέφρα φυτών. Ας σημειωθεί όμως ότι σε 8 δείγματα από τη Ρόδο του β' μισού του 7^{ου} αι. π.Χ. διαπιστώνεται η χρήση νάτρον για την παρασκευή τους. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει έναρξη-μετάβαση από μία τεχνολογική παράδοση σε μία άλλη, δηλ. από τη χρήση τέφρας φυτών στη χρήση νάτρον ως βασικής πηγής αλκαλίου. Για το χρόνο αλλαγής της πρώτης ύλης του αλκαλίου στην περιοχή της

ανατολικής Μεσογείου στις αρχές της δεκαετίας του 1960 είχε προταθεί ο 7^{ος} και 6^{ος} αι. π.Χ., ενώ αργότερα προτάθηκε περίπου το 800 π.Χ. Επομένως τα συγκεκριμένα δείγματα της Ρόδου, που χρονολογούνται στο β' μισό του 7^{ου} αι. π.Χ., είναι συμβατά με την πρόταση της αλλαγής της τεχνολογίας κατά τον 7^ο και 6^ο αι. π.Χ. Πιθανώς τα δείγματα αυτά είτε εντάσσονται στη μετάβαση από τη μία τεχνολογία στην άλλη (χρήση τέφρας φυτών-χρήση νάτρου) είτε προέρχονται από άλλο εργαστήριο το οποίο έχει ήδη υιοθετήσει την τεχνολογία του νάτρου. Ας σημειωθεί ότι κύρια πηγή σε νάτρου κατά την αρχαιότητα υπήρξε η κοιλάδα του Νατρίου στην Αίγυπτο. Στην περίπτωση της Ρόδου η μετάβαση στην τεχνολογία του νάτρου μπορεί να συνδεθεί με την εύκολη και συστηματική πρόσβασή της στην Αίγυπτο, η οποία πιθανότατα έγινε με την ίδρυση της Ναυκρατίδος στα μέσα του 7^{ου} αι. π.Χ.

Σχετικά με τις αλκαλικές γαίες (CaO και MgO) παρατηρείται ότι στα δείγματα της Ρόδου γίνεται χρήση μεικτής πηγής αλκαλικών γαιών, ενώ αντίθετα στην περίπτωση της Θήβας τα δύο στοιχεία δεν συσχετίζονται, με το ποσοστό του MgO να είναι τυπικό προσμείξεων υάλων που έχουν κατασκευαστεί με χρήση νάτρου.

Εξετάστηκε επίσης η σχέση της αργιλίας (Al₂O₃) με άλλα οξείδια, όπως οξείδιο του σιδήρου (Fe₂O₃) και του καλίου (K₂O). Για τα δείγματα της Ρόδου ο συσχετισμός της αργιλίας με το σίδηρο δεν είναι ισχυρός. Για τα δείγματα της Θήβας προτείνεται ότι προήλθαν με επιπλέον προσθήκη κάποιου υλικού στην πρωταρχική ύαλο, η οποία είχε προετοιμαστεί με τα βασικά συστατικά (δηλ. άμμο και προσθήκη ενός αλκαλίου). Από την ανάλυση του συσχετισμού της αργιλίας με το οξείδιο του καλίου κρίνεται πιθανή η ηθελημένη προσθήκη κατάλληλης στυπτηρίας στα δείγματα της Θήβας. Κατά τη μελέτη γεωλογικών χαρτών της ευρύτερης περιοχής της Θήβας δεν βρέθηκαν ενδείξεις για ύπαρξη πηγών στυπτηρίας/-ών, αλλά πρόκειται για πρώτη ύλη ευρέως διαθέσιμη κατά την αρχαιότητα. Η εναλλακτική υπόθεση της εισαγωγής τελικών αντικειμένων δεν είναι συμβατή με τη διαχρονικότητα του συσχετισμού Al₂O₃-K₂O που χαρακτηρίζει τα θηβαϊκά δείγματα.

Σε σχέση με τις μπλε υάλινες ψήφους τόσο της Ρόδου όσο και της Θήβας εντοπίστηκε ο χαλκός (CuO) και το κοβάλτιο (CoO) ως τα υπεύθυνα οξείδια για τον μπλε χρωματισμό τους.

Η μελέτη των ιχνοστοιχείων δεν απέδωσε ισχυρούς συσχετισμούς και ως εκ τούτου πιθανόν τα δείγματα των δύο συλλογών περιέχουν κλάσματα ανακυκλωμένης υάλου ικανά να διαταράξουν τους συσχετισμούς. Ειδικά ο εντοπισμός μολύβδου (Pb) και αντιμονίου (Sb) δικαιολογείται πιθανώς μέσω της ανακύκλωσης μπλε αγγείων κατασκευασμένων με την τεχνική του «πυρήνα», τα οποία ήταν πολύ διαδεδομένα κατά τους ιστορικούς χρόνους και εντοπίζονται τόσο στη Ρόδο όσο και σε άλλες περιοχές της ανατολικής Μεσογείου. Ας σημειωθεί ότι η χρήση ανακυκλωμένης υάλου, που ήταν ευρύτατα διαδεδομένη στην αρχαιότητα, δεν επηρεάζει τη σύσταση των κύριων και δευτερευόντων στοιχείων, παρά μόνον τη σύσταση των ιχνοστοιχείων.

Από τη μελέτη της φασματοσκοπίας Raman σε επιλεγμένες ψήφους από τη Ρόδο προέκυψε ότι οι δύο δείκτες R.I. και C.I. μπορούν να συνδυαστούν για τον εντοπισμό διαφορών μεταξύ δειγμάτων, τα οποία έχουν παρόμοια εμφάνιση και προέρχονται από το ίδιο αρχαιολογικό περιβάλλον.

Από τη μακροσκοπική μελέτη επιλεγμένων δειγμάτων από το υλικό της Ρόδου, τη μικροσκοπική μελέτη των φυσαλίδων που διαπιστώθηκαν στα δείγματα αυτά, καθώς και την προσομοίωση διάτρησης ψήφων με τη βοήθεια ξύλινων μητρών και πλαστελίνης, αποδεικνύεται πως η διαδικασία κατασκευής των συγκεκριμένων ψήφων έγινε με διαφορετικό τρόπο από αυτόν που προτείνει η αρχαιολογική έρευνα. Συγκεκριμένα, η κατασκευή επιτυγχάνονταν όχι με αναδίπλωση, αλλά με τη χρήση μήτρας, ώστε να διατηρείται σταθερή η μία διάσταση της ψήφου (διάμετρος) και η διάτρησή της γινόταν με τη χρήση εργαλείου (ίσως μεταλλικού), το οποίο εισέρχονταν κάθετα στη μάζα της υάλου. Η προτεινόμενη διαδικασία δικαιολογεί το σχήμα των φυσαλίδων και τη συγκεκριμένη κατεύθυνσή τους.

Τέλος, στην ανάλυση των εφυαλωμάτων της Ρόδου εντοπίστηκαν διάφορα σωματίδια (σιδήρου, κασσιτέρου, τιτανίου, μολύβδου, χαλαζία κ.ά.), τόσο στο κυρίως σώμα όσο και στο εφυάλωμα, ενώ διαπιστώθηκε πως ένα δείγμα δεν ανήκει στην κατηγορία των φαγεντιανών, αλλά εντάσσεται στην κατηγορία των εφυαλωμένων κεραμικών.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα υλικά κατάλοιπα της ανθρώπινης δημιουργίας βρίσκονται σήμερα στο προσκήνιο των σύγχρονων αναζητήσεων για τη γνώση και την προστασία των μνημείων και των έργων της πολιτισμικής μας κληρονομιάς. Είναι πλέον αναγκαία η εναρμόνιση ανάμεσα στην τεχνογνωσία, την ιστορία και την αρχαιολογία.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η αρχαιομετρική μελέτη θραυσμάτων αρχαίων υάλινων ψήφων, που προέρχονται από ανασκαφικές έρευνες στη Ρόδο και στην πόλη της Θήβας, καθώς και εφυσάλωμάτων από τη Ρόδο. Τα ευρήματα αυτά τοποθετούνται σε ένα ευρύ χρονολογικό πλαίσιο από την Αρχαϊκή έως και την Ελληνιστική περίοδο.

Η μελέτη αναπτύσσεται σε τρία βασικά μέρη: το εισαγωγικό, το θεωρητικό και το πειραματικό.

Στο εισαγωγικό μέρος προηγείται η ιστορία της αρχαιομετρικής έρευνας των υάλων και ακολουθούν γενικές αναφορές για την αρχαία ύαλο, τις υάλινες ψήφους και τα εφυσάλωματα, καθώς και τη σύγχρονη ύαλο. Ακολουθεί η ιστορική και αρχαιολογική επισκόπηση των χώρων προέλευσης των δειγμάτων, δηλ. της αρχαίας Ρόδου και Θήβας, καθώς και η αναφορά σε όσα αρχαιολογικά δεδομένα είναι γνωστά.

Στο θεωρητικό μέρος παρουσιάζονται συνοπτικά οι βασικές αρχές που διέπουν τις μεθόδους ανάλυσης, οι οποίες εφαρμόζονται στο πειραματικό μέρος της εργασίας.

Στο κύριο μέρος της αρχαιομετρικής έρευνας των υάλινων ψήφων και εφυσάλωμάτων που, μελετώνται στην εργασία, παρουσιάζεται η πειραματική έρευνα αρχικά των θραυσμάτων των υάλινων ψήφων, κατά την οποία μελετώνται τα κύρια, τα δευτερεύοντα στοιχεία και τα ιχνοστοιχεία και στη συνέχεια αναπτύσσονται αναλυτικά τα δεδομένα που προκύπτουν από την εφαρμογή και ανάλυση των πειραματικών μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν.

Ακολουθεί η μελέτη με τη φασματοκοπία Raman μέρους των δειγμάτων που επελέγησαν για να εξεταστούν με τη μέθοδο αυτή. Η πειραματική έρευνα των ψήφων ολοκληρώνεται με τις μακροσκοπικές και μικροσκοπικές παρατηρήσεις. Ακολουθεί η

μορφολογική και χημική ανάλυση των εφυαλωμάτων από τη Ρόδο με τη χρήση της Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης (SEM-EDX), τόσο στο κυρίως σώμα όσο και στη διακόσμησή τους.

Η εργασία καταλήγει με τα Συμπεράσματα στα οποία αναφέρονται συνοπτικά τα δεδομένα που προκύπτουν από τον προσδιορισμό της χημικής σύστασης των υάλινων αντικειμένων με την ανίχνευση των κύριων και δευτερευόντων συστατικών τους, καθώς και των ιχνοστοιχείων τους. Αναφέρεται, εκτός των άλλων, η διαπίστωση με βάση μακροσκοπικά και μικροσκοπικά χαρακτηριστικά των ψήφων, ενός διαφορετικού τρόπου μορφοποίησής τους από τον τρόπο που προτείνει η αρχαιολογική έρευνα.

Τέλος αναπόσπαστο μέρος της διατριβής αποτελεί το Παράρτημα το οποίο περιλαμβάνει τους γενικούς πίνακες με τους καταλόγους των δειγμάτων, τους πίνακες με τα στοιχεία που έχουν προκύψει από τις χημικές αναλύσεις (SEM-EDX, XRF), τους πίνακες χημικών αναλύσεων άλλης βιβλιογραφίας για συγκριτική αντιβολή, τη φωτογραφική τεκμηρίωση των φυσαλίδων με στερεοσκόπιο, καθώς και πίνακα χρονολογιών της αρχαιότητας.

SUMMARY

The combination of Physical Sciences with history and archaeology provides new insights about Ancient Life, enhancing our knowledge and facilitating the conservation of monuments and artifacts of cultural heritage.. In recent years many techniques have been developed for the characterization of ancient materials (glass, pottery, metals), such as X-ray Fluorescence (XRF), Scanning Electron Microscopy (SEM) Neutron Activation Analysis (NAA) etc. In view of the extreme rarity and importance of the archaeological findings, techniques chosen are preferably non – destructive or partly destructive or require extremely small sample sizes.

The main objective of the present research is the archaeometric study of ancient glass beads, excavated from Rhodes and Thebes (Greece), as well as glazes from Rhodes. These finds are dated in a broad chronological context from the Archaic to the Hellenistic period (7th to 2nd c. BC). In particular, this study focuses on the chemical composition and fine structure of the beads, including radial profiles of specimens recovered in a broken state, in order to study the texture/structures and technology of formation of the aforementioned glassy materials.

The thesis is divided in three basic parts: the introduction (Chapter 1, 2), the theoretical (Chapter 3) and the experimental part (Chapter 4).

Introduction begins with a review on the archaeometric research of glass and continues with some basic reports for ancient glasses, glass beads and glazes, as well as, on contemporary glass. The chapter also includes the historical and archaeological outline for Rhodes and Thebes, and the archaeological data from the excavations.

In Chapter 3 the basic methods of analyses (SEM-EDX, XRF and Raman Spectroscopy) and their principals are briefly presented.

Chapter 4 presents the experimental research of glass beads and glazes, and in specific the study of major and minor oxides of glass beads for both collections, as well as trace element analyses, by using specific bivariate plots. Basic chemical analyses of samples is followed by Raman analysis of a specific group of glass beads from Rhodes. Macroscopical and microscopical investigation of a group of 6 glass beads from Rhodes

and interpretation of the derived data are presented. Morphological and chemical analyses of glazes from Rhodes by means of SEM EDX analyses are also included.

The final chapter (Conclusions), summarizes the obtained results, based on the determination of chemical composition of glassy materials and from the macroscopical and microscopical analyses of air bubbles that are “frozen” inside the glass matrix of the 6 beads from Rhodes.

An appendix is also included, consisting of catalogues of the samples with photographic documentation, tables of chemical analyses of all samples including chemical analyses of samples from other works, photographic documentation of air bubbles and a timetable of Greek antiquity.

ΒΡΑΧΥΓΡΑΦΙΕΣ

1. Ελληνόγλωσσες

A	ανατολικός,-ή,-ό
αρ.	αριθμός
B	βόρειος,-α,-ο
βλ.	βλέπε
γράφ.	γράφημα
Δ	δυτικός,-ή,-ό
δ.α.	δεν ανιχνεύθηκε
δηλ.	δηλαδή
διάμ.	διάμετρος
εικ.	εικόνα
έκδ.	έκδοση
Ε.Κ.Ε.Φ.Ε.	Εθνικό Κέντρο Έρευνας Φυσικών Επιστημών
εξωτερ.	εξωτερικά
επιμ.	επιμελητής
ΕΠΚΑ	Εφορεία Προϊστορικών και Κλασικών Αρχαιοτήτων
Ι.Δ.Α.Χ.	Ιδιωτικού Δικαίου Αορίστου Χρόνου
κ.ά.	και άλλα
κ.β.	κατά βάρος
κ. εξ.	και εξής
κ.λπ.	και λοιπά
μ.	μέτρο
μέγ.	μέγιστος,-η,-ο
μήκ.	μήκος
μ.ό.	μέσος όρος
μτφ.	μετάφραση
N	νότιος,-α,-ο
πάχ.	πάχος
πίν.	πίνακας
πλάτ.	πλάτος
πρβλ.	παράβαλε
σ.	σελίδα
σωζ.	σωζόμενος,-η,-ο
Τ.Α.Π.Α.	Ταμείον Αρχαιολογικών Πόρων και Απαλλοτριώσεων
τόμ.	τόμος
τρήμ.	τρήμα
ΥΠΠΟ	Υπουργείο Πολιτισμού
ύψ.	ύψος

2. Ξενόγλωσσες

AAS	Atomic Absorption Spectroscopy (Φασματοσκοπία Ατομικής Απορρόφησης)
C.I.	Chemical Index (Χημικός Δείκτης)
E.	Δείγμα εφυαλώματος από τη Ρόδο
ed./eds.	εκδότης,-ες
EDS	Energy Dispersive Spectroscopy (Φασματόμετρο Διασποράς Ενέργειας)
Fasc.	Fascicule (τεύχος)
ICPS	Inductively Coupled Plasma Spectroscopy (Φασματοσκοπία Επαγωγικώς Συζευγμένου Πλάσματος)
R.	Δείγμα υάλου από τη Ρόδο
R.I.	Raman Index (Δείκτης Raman)
SEM	Scanning Electron Microscopy (Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης)
T.	Δείγμα υάλου από τη Θήβα
vol.	τόμος
XRF	Xray Fluorescence Spectroscopy (Φασματοσκοπία Φθορισμού Ακτίνων Χ)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ελληνόγλωσση

Α.Δ. Αρχαιολογικόν Δελτίον.

Α.Ε. Αρχαιολογική Εφημερίς.

Αραβαντινός 2003 Αραβαντινός Β., «Από τη 'σιωπηλή γη' της αρχαίας Θήβας. Η σημασία των πρόσφατων αρχαιολογικών δεδομένων», Αρχαιολογικό Έργο Θεσσαλίας και Στερεάς Ελλάδας, Πρακτικά Επιστημονικής Συνάντησης, 27.2-2.3.2003, τόμ. 2, Βόλος.

Δημακοπούλου και Κόνσολα 1981 Δημακοπούλου Κ., Κόνσολα Ντ., «Αρχαιολογικό Μουσείο της Θήβας. Οδηγός», Τ.Α.Π.Α., Αθήνα.

Δημοπούλου 2000 Δημοπούλου, Ν. «Δύο μήτρες κατασκευής ψήφων-περιάπτων», Κρήτη-Αίγυπτος: Πολιτισμικοί δεσμοί τριών χιλιετιών, Καρέτσου Α., Ανδρεαδάκη-Βλαζάκη Μ., Παπαδάκης Ν. (επιμ.), τόμ. 2 (Κατάλογος): 105-6, ΥΠΠΟ, Ηράκλειο.

Δρελιώση-Ηρακλείδου 1999 Δρελιώση-Ηρακλείδου Α., «Παλαιά και νέα ευρήματα πρώτου συνοικισμού από την πόλη της Ρόδου», Ρόδος 2400 χρόνια, Η πόλη

της Ρόδου από την ίδρυσή της μέχρι την κατάληψή της από τους Τούρκους (1523), Διεθνές Επιστημονικό Συνέδριο, Ρόδος, 24-29 Οκτωβρίου 1993, Πρακτικά, τόμ. Α΄, Αθήνα.

Ζαχαριάς και Οικονόμου 2010

Ζαχαριάς Ν., Οικονόμου Α., «Γυαλιά: Η φυσικοχημεία και η παθολογία τους», κεφ. στο «Αρχαιοϋλικά», Λυριτζής Ι., Ζαχαριάς Ν. (επιμ.), εκδ. Παπαζήση, Αθήνα, 123-143.

Ζαχαριάς και Henderson 2010

Ζαχαριάς Ν., Henderson J., «Αρχαιολογικό γυαλί: Τύποι, αναλύσεις και μελέτες προέλευσης», », κεφ. στο «Αρχαιοϋλικά», Λυριτζής Ι., Ζαχαριάς Ν. (επιμ.), εκδ. Παπαζήση, Αθήνα, 177-200.

Ζαχαριάς κ.ά. 2011

Ζαχαριάς Ν., Αραβαντινός Β., Οικονόμου Α., Καπάρου Μ., Μπέλτσιος Κ., Μαστροθεόδωρος Γ., Τσέλιος Θ., Καλιγά Κ., Οικονόμου Δ., «Τεχνολογική μελέτη των πυρομεταλλουργικών προϊόντων της ανασκαφής χώρου αφιερωμένου στη λατρεία του Ηρακλή, πλησίον των Ήλεκτρων Πυλών (Καδμεία), Θήβα», Ν. Ζαχαριάς, Μ. Γεωργακοπούλου, Κ. Πολυκρέτη, Γ. Φακορέλλης, Θ. Βάκουλης (επιμ.), Πρακτικά 5ου Συμποσίου Ελληνικής Αρχαιομετρικής Εταιρείας, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πελοποννήσου.

Zorzin 2000	Zorzin R., «Γνωρίζοντας τα ορυκτά, κρυσταλλογραφία, φυσικές ιδιότητες, ταξινόμηση, σχηματισμός ορυκτών», Firenze-Milano.
Θέμελης 2002	Θέμελης Π.Γ. (επιμ.), «Το γυαλί από την αρχαιότητα έως σήμερα», 2 ^ο Συνέδριο Μαργαριτών Μυλοποτάμου, Ρεθύμνης Κρήτης, Μαργαρίτες Μυλοποτάμου, 26-28 Σεπτεμβρίου 1997, Εταιρεία Μεσσηνιακών Αρχαιολογικών Σπουδών.
Ιγνατιάδου 2002	Ιγνατιάδου Δ., «Προρωμαϊκό γυαλί», Ιστορία και Τεχνολογία Αρχαίου Γυαλιού, εκδ. Γ. Κόρδας, Α. Αντωνάρας, Glasnet, Αθήνα.
Ιγνατιάδου και Αντωνάρας 2008	Ιγνατιάδου Δ., Αντωνάρας Α., «Υαλουργία Αρχαία και Μεσαιωνική, Ελληνοαγγλικό-Αγγλοελληνικό λεξικό», Θεσσαλονίκη.
Ιγνατιάδου και Χατζηνικολάου 2002	Ιγνατιάδου Δ., Χατζηνικολάου Κ., «Γυάλινες χάντρες από το αρχαίο νεκροταφείο της Θέρμης (Σέδες) Θεσσαλονίκης», Το γυαλί από την αρχαιότητα έως σήμερα, Β' Συνέδριο Μαργαριτών Μυλοποτάμου Ρεθύμνης Κρήτης, Μαργαρίτες Μυλοποτάμου, 26-28 Σεπτεμβρίου 1997, Θέμελης Π. (επιμ.), Εταιρεία Μεσσηνιακών Αρχαιολογικών Σπουδών, Αθήνα.

Καπουτσής 1998	Καπουτσής Ι., «Σύνθεση και φασματοσκοπική μελέτη άμορφων υλικών με τεχνολογική σημασία», διδακτορική διατριβή, Αθήνα.
Καρακασίδης 2003	Καρακασίδης Μ., «Σημειώσεις για το μάθημα: Κεραμικά Υλικά», 2ο μέρος, Ιωάννινα.
Κόρδας και Αντωνάρας 2002	Κόρδας Γ., Αντωνάρας Α. (επιμ.), «Ιστορία και τεχνολογία αρχαίου γυαλιού», Έκδοση Glasnet, Αθήνα.
Κουκούλη 1992	Κουκούλη Χ., «Προϊστορική Θάσος», Παράρτημα Χ1, εκδ. ΤΑΠΑ, Αθήνα.
Κωνσταντινόπουλος 1986	Κωνσταντινόπουλος Γ., «Αρχαία Ρόδος», Μορφωτικό Ίδρυμα Εθνικής Τραπέζης, Αθήνα.
Λυριτζής 2005	Λυριτζής Ι., «Φυσικές Επιστήμες στην Αρχαιολογία», Αθήνα.
Λυριτζής 2007	Λυριτζής Ι., «Φυσικές επιστήμες στην αρχαιολογία», εκδ. Δάρδανος-Τυπωθήτω, Αθήνα.
Λυριτζής και Ζαχαριάς 2010	Λυριτζής Ι., Ζαχαριάς Ν., (επιμ.), «Αρχαιο-υλικά (Αρχαιολογικές, Αρχαιομετρικές και Πολιτισμικές προσεγγίσεις)», Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα.

Μανιάτης 2009	Μανιάτης Γ., «Διερεύνηση τεχνικών, πρώτων υλών και χρωμάτων για την κατασκευή των πρώιμων υαλωδών υλκών», Ύαλος, Ημερίδα Συντήρησης, Γκατζόλης Χ. (επιμ.), Εκδόσεις Αρχαιολογικού Μουσείου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
Μήρτσου 2000	Μήρτσου Ε., «Εφαρμογές της φασματομετρίας ατομικής απορρόφησης στη διερεύνηση της αρχαίας υαλουργίας», διδακτορική διατριβή, Θεσσαλονίκη.
Μήρτσου 2002	Μήρτσου Ε., «Γυαλί και Αρχαιομετρία, Χημική Ανάλυση του Αρχαίου Γυαλιού και Ερμηνεία των Αποτελεσμάτων της», ΙΣΤ' ΕΠΚΑ, Θεσσαλονίκη.
Οικονόμου 2009	Οικονόμου Α., «Κυανά υάλινα αντικείμενα ιστορικής περιόδου, Θήβα 7 ^{ος} -1 ^{ος} αι. π.Χ.», Μεταπτυχιακή Εργασία, Ιωάννινα.
Οικονόμου κ. ά. 2011	Οικονόμου Α., Μπέλτσιος Κ., Ζαχαριάς Ν., Αραβαντινός Β., Τριανταφυλλίδης Π., «Ύαλοι της ηπειρωτικής και αιγαιακής Ελλάδας των αρχαίων ιστορικών χρόνων», Ν. Ζαχαριάς, Μ. Γεωργακοπούλου, Κ. Πολυκρέτη, Γ. Φακορέλλης, Θ. Βάκουλης (επιμ.), Πρακτικά 5ου Συμποσίου Ελληνικής Αρχαιομετρικής Εταιρείας, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πελοποννήσου.

Παναγιωτάκη 2002

Παναγιωτάκη Μ., «Φαγεντιανή-Κύανος-Ύαλος: Ύλες των βασιλέων, των θεών και των νεκρών της αρχαιότητας», Ιστορία και Τεχνολογία Αρχαίου Γυαλιού, εκδ. Γ. Κόρδας, Α. Αντωνάρας, Glasnet, Αθήνα.

Παναγιωτάκη 2010

Παναγιωτάκη Μ., «Υαλώδεις Ύλες στο Προϊστορικό Αιγαίο: Φαγεντιανή, Αιγυπτιακό μπλε, Υάλωμα, Γυαλί», κεφ. στο «Αρχαιοϋλικά», Λυριτζής Ι., Ζαχαριάς Ν. (επιμ.), εκδ. Παπαζήση, Αθήνα, 145-175.

Παπαδοπούλου 2003

Παπαδοπούλου Ευ., «Επαφές και σχέσεις της Στερεάς Ελλάδος με Αίγυπτο και Εγγύς Ανατολή», Αρχαιολογικό Έργο Θεσσαλίας και Στερεάς Ελλάδας, Πρακτικά Επιστημονικής Συνάντησης, 27.2-2.3.2003, τόμ. 2, Βόλος.

Παπαχριστοδούλου 1983

Παπαχριστοδούλου Ι., «Συμβολή στην ιστορική και αρχαιολογική έρευνα των δήμων της αρχαίας ροδιακής πολιτείας», διδακτορική διατριβή, Αθήνα.

Παπαχριστοδούλου 1989

Παπαχριστοδούλου Ι., «Οι αρχαίοι ροδιακοί δήμοι, Ιστορική επισκόπηση-η Ιαλυσία», Βιβλιοθήκη της εν Αθήναις Αρχαιολογικής Εταιρείας, αρ. 110, Αθήνα.

Σαράντη 2009

Σαράντη Α., «Βιοενεργές ύαλοι και βιοσυμβατά κεραμικά υλικά με βάση το

P₂O₅», διδακτορική διατριβή, Ιωάννινα.

Τιβέριος 1996

Τιβέριος Μ., «Αρχαία αγγεία. Ελληνική Τέχνη», Εκδοτική Αθηνών, Αθήνα.

Τριανταφυλλίδης 1998

Τριανταφυλλίδης Π., «Τα γυάλινα αντικείμενα από την Μινώα Αμοργού. Συμβολή στη μελέτη της υαλουργίας στις Κυκλάδες κατά την Ελληνιστική και Ρωμαϊκή περίοδο», διδακτορική διατριβή, Ιωάννινα.

Τριανταφυλλίδης 1999

Τριανταφυλλίδης Π., «Γυάλινα σκεύη πολυτελείας από τη Ρόδο», Ρόδος 2400 χρόνια, Η πόλη της Ρόδου από την ίδρυσή της μέχρι την κατάληψή της από τους Τούρκους (1523), Διεθνές Επιστημονικό Συνέδριο, Ρόδος, 24-29 Οκτωβρίου 1993, Πρακτικά, τόμ. Α', Αθήνα.

Τριανταφυλλίδης 2000

Τριανταφυλλίδης Π., «Ροδιακή Υαλουργία Ι», ΚΒ' ΕΠΚΑ, Υπουργείο Αιγαίου, Αθήνα.

Τριανταφυλλίδης 2001

Τριανταφυλλίδης Π., «Ανακύκλωση γυαλιού στην αρχαία Ρόδο», Αρχαιολογία και Τέχνες, τ. 79, 76-80.

Τριανταφυλλίδης 2002

Τριανταφυλλίδης Π., «Η τέχνη και οι τεχνικές του γυαλιού στο ΝΑ Αιγαίο», Hyalos Vitrum, Glass, G. Kordas, Αθήνα.

Τριανταφυλλίδης 2002α

Τριανταφυλλίδης Π., «Ενδείξεις και εργαστήρια υαλοτεχνικής παραγωγής στη Ρόδο από τους προϊστορικούς έως και τους παλαιοχριστιανικούς χρόνους», Το γυαλί από την αρχαιότητα έως σήμερα, Β΄ Συνέδριο Μαργαριτών Μυλοποτάμου Ρεθύμνης Κρήτης, Μαργαρίτες Μυλοποτάμου, 26-28 Σεπτεμβρίου 1997, Θέμελης Π. (επιμ.), Εταιρεία Μεσσηνιακών Αρχαιολογικών Σπουδών, Αθήνα.

Τριανταφυλλίδης 2004

Τριανταφυλλίδης Π., «Κύανος, Λίθος Χυτή, Ύαλος και Vitrum από την Κω και τη Ρόδο», Χάρις Χαίρε, Μελέτες στη μνήμη της Χάρης Κάντζια, τόμ. Α΄, ΥΠΠΟ, Αρχαιολογικό Ινστιτούτο Αιγαϊακών Σπουδών, Αθήνα.

Τριανταφυλλίδης υπό έκδ.

Τριανταφυλλίδης Π., «Γλωσσάρι όρων αρχαιολογικού γυαλιού», Τ.Α.Π.Α., Αθήνα, υπό έκδ.

Τσαϊμού 1997

Τσαϊμού Κ., «Αρχαιγνωσία των μετάλλων. Αρχαία μεταλλευτική και μεταλλουργική τεχνική», Αθήνα.

Τσεβάς 2006

Τσεβάς Γ., «Ιστορία της Θήβας και της Βοιωτίας από τα αρχαιότατα χρόνια μέχρι σήμερα», επιμ. Κόιλης Γ., Πνευματικό Κέντρο Δήμου Θηβαίων, Θήβα.

Φαράκλας 1996

Φαράκλας Ν., Θηβαϊκά, ΑΕ 135, 1996 (έκδ. 1998).

Χαραμή 2011/2012

Χαραμή Αλ., «Από τα ελληνιστικά νεκροταφεία των Θηβών. Συμβολή στην τοπογραφία και την ιστορία της Μετά-Αλεξάνδρειας πόλεως των Θηβών», διδακτορική διατριβή, Ιωάννινα.

Χατζή-Σπηλιοπούλου 2002

Χατζή-Σπηλιοπούλου Γ., «Μυκηναϊκό γυαλί», Ιστορία και Τεχνολογία Αρχαίου Γυαλιού, εκδ. Γ. Κόρδας, Α. Αντωνάρας, Glasnet, Αθήνα.

2. Ξενόγλωσση

Adriaens and Dowsett 2004

Adriaens A., Dowsett M. G., “Electron microscopy and its role in cultural heritage studies”, in Comprehensive Analytical Chemistry XLII, Jansens and Van Grieken (eds), Elsevier.

Aerts et al 2003

Aerts A., Velde B., Janssens K., Dijkman W., “Change in silica sources in Roman and post-Roman glass”, Spectrochimica Acta Part B 58, 659-667.

AIHV

Association Internationale pour l’ Histoire du Verre.

AJA

American Journal of Archaeology.

Aldred 1971

Aldred C., “Jewels of the Pharaohs, Egyptian Jewelry of the Dynastic Period”, Praeger Publishers, New York.

Andrews 1991

Andrews C., “Ancient Egyptian Jewelry”, Harry N. Abrams Inc., New York.

Anthony et al 2003

Anthony J.W., Bideaux R.A., Bladh K.W., Nichols M.C., “Handbook of mineralogy”, vol. V, Mineral Data Pub.

Aravantinos 2007	Aravantinos V., " Les fouilles des anciennes nécropoles dans la region de Thèbes en Béotie durant la dernière decennia (1993-2003), De l' objet de collection à l' objet archaéologique. Actes du Colloque organize par le muse du Louvre á la Bibliothèque nationale de France le 22 Novembre 2003, Paris, 59-65.
Atwood and Fry 1967	Atwood D. K., Fry H.M., "Strontium and manganese content of some coexisting calcites and dolomites", The American Mineralogist, vol. 52, September-October.
Barag 1985	Dan Barag, " Catalogue of Western Asiatic glass in the British Museum", London 1985.
BAR-IS	British Archaeological Reports, International Series.
Barber 1991	Barber E.J.W., "Prehistoric Textiles: the Development of Cloth in the Neolithic and Bronze Ages", Princeton: Princeton University Press.
Barkoudah and Henderson 2006	Barkoudah Y., Henderson J., "Plant ashes from Syria and the manufacture of a glass: ethnographic and scientific aspects", Journal of Glass Studies 48, 297-321

- Bass 1987
- Bass G., "Oldest known shipwreck reveals splendors of the Bronze Age", *National Geographic* 172.6, 692-733.
- Beltsios et al 2012
- Beltsios K.G., Oikonomou Ar., Zacharias N., Triantafyllidis P., "Characterisation and provenance studies of archaeological glass artifacts from mainland and Aegean Greece", Chapter 13, in *The dating and provenance of volcanic and ancient manufactured glasses- a global overview*, I. Liritzis and Ch. Stevenson (eds), New Mexico University Press.
- Beretta 2004
- Beretta M. "When glass matters, *Studies in the History of Science and Art from Graeco-Roman Antiquity to Early Modern Era*", Leo S. Olschki, Firenze.
- Bertini et al 2011
- Bertini M., Shortland A., Milek K., Krupp E.M., "Investigation of Iron Age north-eastern Scottish glass beads using element analysis with LA-ICP-MS", *Journal of Archaeological Science* 38, 2750-2766.
- Besborodov 1975
- Besborodov M.A., "Chemie und Technologie der antiken und mittelalterlichen Gläser", Mainz.
- Biek and Bayley 1979
- Biek L., Bayley J., "Glass and other vitreous materials", *World Archaeology* 11 (1), 1–25.

- Brill 1969 Brill R.H., "The Scientific Investigation of Ancient Glasses", in Proceedings of the 8th International Congress on Glass, Sheffield.
- Brill 1970 Brill R.H., "The chemical interpretation of the texts", in A.L. Oppenheim, R. H. Brill, D. Barag, A. von Saldern "Glass and glassmaking in ancient Mesopotamia", 105-128.
- Brill 1976 Brill R.H., "Scientific studies of panel materials", στο Kencreai. Eastern part of Corinth, L. Ibrahim, R. Scranton and R. Brill, (eds.), Leiden, The Netherlands, 225-255.
- Brill 1994 Brill R.H., "Laboratory Studies of some Glasses from Vergina", Journal of Glass Studies 36, 11-23.
- Brill 1999 Brill R.H., "Chemical analyses of early glasses", vol. I, II, The Corning Museum of Glass, Corning, New York.
- Caley 1962 Caley E.R., "Analyses of Ancient Glasses, 1790-1957", The Corning Museum of Glass, New York.
- Colomban 2003 Colomban Ph., "Polymerization degree and Raman identification of ancient glasses used for jewelry, ceramic enamels and mosaics", Journal of Non-Crystalline Solids 323, 180-187.

Colomban et al 2003	Colomban Ph., March Gr., Mazerolles L., Karmous T., Ayed N., Ennabli Ab., Slim H., "Raman identification of materials used for jewellery and mosaics in Ifriqiya", <i>Journal of Raman Spectroscopy</i> , vol. 34, 205–213.
Colomban et al 2004	Colomban Ph., Milande V., Lucas H., "On-site Raman analysis of Medici porcelain", <i>Journal of Raman Spectroscopy</i> , vol. 35, 68–72.
Colomban et al 2006a	Colomban Ph., Etcheverry M.-P, Asquier M., Bounichou M., Tournié A., "Raman identification of ancient stained glasses and their degree of deterioration", <i>Journal of Raman Spectroscopy</i> , vol. 37, 614–626.
Colomban et al 2006b	Colomban Ph., Tournie A., Bellot-Gurlet L., "Raman identification of glassy silicates used in ceramics, glass and jewellery: a tentative differentiation guide", <i>Journal of Raman Spectroscopy</i> , vol. 37, 841–852.
Degryse et al 2006	Degryse P., Schneider J., Haack U., Lauwers V., Poblome J., Waelkens M., Muchez Ph., "Evidence for glass 'recycling' using Pb and Sr isotopic ratios and Sr-mixing lines: the case of early Byzantine Sagalassos", <i>Journal of Archaeological Science</i> 33, 494-501.

Degryse et al 2010	Degryse P., Shortland A., Muynck D., Heghe L., Scott R., Neyt B., Vanhaecke F., "Considerations on the provenance determination of plant ash glasses using strontium isotopes", <i>Journal of Archaeological Science</i> 37, 3129-3135.
Degryse and Schneider 2008	Degryse P., Schneider J., "Pliny the Elder and Sr-Nd isotopes: tracing the provenance of raw materials for Roman glass production", <i>Journal of Archaeological Science</i> 35, 1993-2000.
Dill 2010	Dill H. G., "The "chessboard" classification scheme of mineral deposits: Mineralogy and geology from aluminum to zirconium", <i>Earth Science Reviews</i> 100, 1-420.
Doremus 1973	Doremus H.R., "Glass Science", Wiley-Interscience Publication.
Dubin 2004	Dubin L.S., Reprint. "The History of Beads: from 30,000 B.C. to the Present", New York: Harry N. Abrams, Inc. Original edition, New York: Harry N. Abrams, Inc.
Dussubieux et al 2010	Dussubieux L., Gratuze B., Blet-Lemarquand M., "Mineral soda alumina glass: occurrence and meaning", <i>Journal of Archaeological Science</i> 37, 1646-1655.

EAA	Encyclopedia dell Arte Antica Classica e Orientale.
Evans 1906	Evans A., "The Prehistoric Tombs of Knossos", London: Bernard Quaritch.
Evely 2000	Evely R.D.G., "Minoan crafts: tools and techniques", Studies in Mediterranean archaeology, vol.2, xcii:2, Jonsered.
Farnsworth and Ritchie 1938	Farnsworth M., Ritchie P.D., "Spectrographic studies on ancient glass. Egyptian glass mainly of the 18 th Dynasty", Technical Studies in the Field of the Fine Arts, 6(3), 155-173.
Filella et al 2002	Filella M., Belzile N., Chen Yu-Wei, "Antimony in the environment: a review focused on natural waters, I. Occurrence", Earth-Science Reviews 57, 125-176.
Fleming and Swann 1987	Fleming S.J., Swann C.P., "Color additives and trace elements in ancient glasses: specialized studies using PIXE spectrometry", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B22, 411-418.
Forbes 1966	Forbes R.J., "Studies in ancient technology", vol. V, E.J. Brill, Leiden.

Foster 1979	Foster K. P., "Aegean Faience of the Bronze Age", London.
Foster and Jackson 2010	Foster E. H., Jackson M. C., "The composition of late Romano-British colourless vessel glass: glass production and consumption", <i>Journal of Archaeological Science</i> 37, 3068-3080.
Foster and Kaczmarczyk 1982	Foster K.P., Kaczmarczyk A., "X-ray fluorescence analysis of some Minoan faience", <i>Archaeometry</i> 24 (2), 143-157.
Fraser 1972	Fraser P. M., "Ptolemaic Alexandria", vol. I-III, Oxford.
Freestone 2006	Freestone I., "Glass production in Late Antiquity and the Early Islamic period: a geochemical perspective" in Maggetti M. and Messiga B. (eds), <i>Geomaterials in Cultural Heritage</i> , Geological Society, London, Special Publications 257, 201-216.
Freestone et al 2000	Freestone I.C., Gorin Rosen Y., Hughes M.J., "Primary glass from Israel and the production of glass in Late Antiquity and the Early Islamic period", in: Nenna M.D. (Ed.), <i>La route du verre. Travaux de la Maison de l' Orient Mediterranean</i> , Lyon, 65-83.

Freestone et al 2002	Freestone I. C., Ponting M., Hughes M. J., "The origins of byzantine glass from Maroni Petrera, Cyprus", <i>Archaeometry</i> 44, 2, 257-272.
Freestone et al 2003	Freestone I. C., Leslie K. A., Thirlwall M., Gorin-Rosen Y., "Strontium isotopes in the investigation of early glass production: Byzantine and early Islamic glass from the Near East", <i>Archaeometry</i> 45, 19-32.
Freestone et al 2009	Freestone I. C., Wolf S., Thirlwall M., "Isotopic composition of glass from the Levant and the south-eastern Mediterranean Region", in P. Degryse, J. Henderson and G. Hodgins (eds), <i>Vitreous Materials</i> , Leuven University Press.
Genga et al 2008	Genga A., Siciliano M., Tepore A., Mangone A., Traini A., Laganara C., "An archaeometric approach about the study of medieval glass from Siponto (Foggia, Italy)", <i>Microchemical Journal</i> 90, 56-62.
Goldstein et al 1992	Goldstein J., Newbury D.E., Echlin P., Joy D.C., Romig A. D. Jr., Lyman C. E., Fiori C., Lifshin E., "Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis: A Text for Biologists, Materials Scientists, and Geologists", Plenum Press, New York.

Goodhew and Humphreys 1988	Goodhew P. J., Humphreys F. J., "Electron Microscopy and Analysis", Taylor & Francis, London.
Greiff and Schuster 2008	Greiff S., Schuster J., "Technological study of enamelling on Roman glass: The nature of opacifying, decolourizing and fining agents used with the glass beakers from Lübsow (Lubieszewo, Poland)", <i>Journal of Cultural Heritage</i> 9, e27-e32.
Grose 1989	Grose D., "Early ancient glass: Core-formed, rod-formed and cast vessels and objects from the Late Bronze Age to the early Roman empire, 1600 BC to AD 50", New York.
Guido 1978	Guido M., "Glass beads of the prehistoric and roman periods in Britain and Ireland", London.
Hall and Photos-Jones 2005	Hall A.J., Photos-Jones E., "The nature of Melian alumen and its potential for exploitation in antiquity", in <i>L'Alun de Mediterranee</i> , Borgard P., Brun J.P. and Picon M., (eds), Colloque International, Naples June 2003, Naples, Centre Jean Berard.
Hall and Yablonsky 1997	Hall M., Yablonsky L., "Chemical analyses of glass beads found in two Sarmatian burials", <i>Archaeometry</i> 39, 2, 369-377.

Harden 1981	Harden D., "Greek and Roman glass in the British Museum", vol. I, London.
Heide et al 2000	Heide K., Hartmann E., Gert K., Wiedemann H. G., "MS-TGA of ancient glasses: an attempt to determine the manufacturing conditions (I)", <i>Thermochimica Acta</i> 365, 147-156.
Henderson 1985	Henderson J. "The raw materials of early glass production", <i>Oxford Journal of Archaeology</i> 4(3).
Henderson 1988a	Henderson J., "Glass Production in Bronze Age Europe", <i>Antiquity</i> 62, 435-461.
Henderson 1988b	Henderson J., "Electron Probe Microanalysis of Mixed-Alkali Glasses", <i>Archaeometry</i> 30 (1), 77-91.
Henderson 1989	Henderson J., "The Scientific Analysis of Glass and its Archaeological Interpretation", in Henderson J., (ed.), <i>Scientific Analysis in Archaeology and its Interpretation</i> , Oxford University Committee on Archaeology Monograph, no 19, UCLA Institute of Archaeology Research Tools 5, Oxbow Books, Oxford.
Henderson 1991	Henderson J., "Some Chemical and Physical Characteristics of Ancient Glass and the

	Potential of Scientific Investigation”, The Glass Circle 7, 67-77.
Henderson 2000	Henderson J., “The science and archaeology of materials”, Routledge, London.
Henderson and Warren 1986	Henderson J., Warren S.E., “Beads and rings; scientific analysis of the glass”, in D. Tweddle (ed.), Finds from the Parliament Street and Other Sites on the City Centre, Council for British Archaeology Research Report, The Archaeology of York, vol. 17/4, 209-226.
Higgins 1980	Higgins R., “Greek and Roman Jewellery”, 2nd ed. Berkeley: University of California Press.
Hiller von Gaertrigen 1931	Hiller von Gaertrigen F., RE, Supplement V (1931), 731-840 (λ. Rhodes).
Hoelscher 2005	Hoelscher T., «Κλασική Αρχαιολογία. Βασικές γνώσεις», μτφ. Π. Παπαγεωργίου, University Press, Θεσσαλονίκη.
Ignatiadou et al 2003	Ignatiadou D., Dotsika E., Kouras A. Maniatis Y., “Nitrum chalestricum: The natron of Macedonia”, Annales du 16e Congrès, AIHV.
Ingram 2005	Ingram R.S., “Faience and glass beads from the late bronze age shipwreck at Uluburun”, Master of Arts, Texas A&M University.

IJNA	International Journal of Nautical Archaeology.
Jackson and Nicholson 2010	Jackson C. M., Nicholson P.T., "The provenance of some glass ingots from the Uluburun shipwreck", <i>Journal of Archaeological Science</i> 37, 295-301.
Jackson 2005	Jackson C. M., "Making colorless glass in the Roman period", <i>Archaeometry</i> 47, 4 763-780.
Jackson et al 2003	Jackson C. M., Joyner L., Booth C. A., Day P.M., Wager E. C. W., Kilikoglou V., "Roman glass-making at Coppergate, York? Analytical evidence for the nature of production", <i>Archaeometry</i> 45, 3, 435-456.
Jackson et al 2005	Jackson C.M., Booth C. A., Smedley J.W., "Glass by design? Raw materials, recipes and compositional data", <i>Archaeometry</i> 47, 4, 781-795.
Janssens 2004	Janssens K., "X-ray based methods of analysis", in <i>Comprehensive Analytical Chemistry XLII</i> , Janssens and Van Grieken (eds), Elsevier.
Jokubonis et al 2003	Jokubonis C., Wobrauschek P., Zamini S., Karwowski M., Trnka G., Stadler P., "Results of quantitative analysis of Celtic glass artefacts by energy dispersive X-ray fluorescence spectrometry", <i>Spectrochimica Acta, Part B</i> , 58,

627-633.

Kaczmarczyk and Hedges 1983

Kaczmarczyk A., Hedges R.E.M., "Ancient Egyptian Faience: An analytical survey of Egyptian Faience from Predynastic to Roman times", Aris and Phillips, Warminster.

Kaczmarczyk 1986

Kaczmarczyk A., "The source of cobalt in ancient Egyptian pigments", in Proceedings of the 24th International Archaeometry Symposium, Olin J.S. and Blackman M.J., (eds), Smithsonian Institution, Washington DC, 369-376.

Karydas 2007

Karydas A.G., "Application of a portable XRF spectrometer in the analysis of museum metal collections", *Annali di Chimica* 97 (7), 419-432.

Kleinmann 1987

Kleinmann B., "Technological studies of Medieval and Later Persian faience: possible successors to the faience of Antiquity" in Bimson, M. Freestone, I.C. (eds) *Early Vitreous Materials*, British Museum Occasional Paper 56, 133-43, London.

Konstantinidi 2001

Konstantinidi E.M., "Jewellery Revealed in the Burial Contexts of the Greek Bronze Age", BAR-IS 912, John and Erica Hedges Ltd and Archaeopress, Oxrofd.

- Kordas 2002 Kordas G. (ed.), "Hyalos-Vitrum-Glass. History, Technology and Conservation of Glass and Vitreous Materials in the Hellenistic World", 1st International Conference, Athens.
- Küçükerman 1988 Küçükerman Ö., "Glass beads, Anatolian Glass Bead Making, The Final Traces of Three Millennia of Glass Making in the Mediterranean Region", Turkish Touring and Automobile Association, Istanbul.
- Lacovara 1998 Lacovara P., "Nubian faience" in Friedman F.D. (ed), Gifts of the Nile: Ancient Egyptian Faience, 46-7, London.
- Letsch et al 1983 Letsch v.J., Noll W., Schiering W., "Glasformgebung in Tonmatrizen: Eine meisterliche Technologie der Werkstatt des Phidias in Olympia", Glasstechnische Berichte 56 (4), 96-105.
- Liem et al 2002 Liem N. Q., Thanh N. T., Colomban Ph., "Reliability of Raman micro-spectroscopy in analysing ancient ceramics: the case of ancient Vietnamese porcelain and celadon glazes", Journal of Raman Spectroscopy, vol. 33, 287–294.
- Lierke 1992 Lierke R., "Early history of Lampwork-Some facts, findings and theories. Teil 2: Fire or flame; Lampworking techniques in antiquity",

Glastechnische Berichte 65, 331-348.

Lilyquist and Brill 1993

Lilyquist C., Brill R.H., "Studies in early Egyptian glass", Metropolitan Museum of Art.

Liritzis et al 1997

Liritzis I., Salter C., Hatscher H., "Chemical composition of some Greco-Roman glass fragments", PACT 45, 1.2, 25-34.

Lucas and Harris 1962

Lucas A., Harris J. R., "Ancient Egyptian materials and industries", 4th edition, Edward Arnold, London.

Mabrouk et al 2006

Mabrouk A., Belayouni H., Jarvis I., Moody R. T. J., "Strontium $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ as palaeo-indicators of unconformities: Case of Aleg and Abiod formations (Upper Cretaceous) in the Miskar Field, southeastern Tunisia", Geochimical Journal, vol. 40, 405-424.

MacKenzie and Adams 1994

MacKenzie W.S., Adams A.E., "A colour atlas of Rocks and Minerals in Thin Section", Manson Publishing.

Maniatis et al 1993

Maniatis Y., Aloupi E., Stalios A. D., "New evidence for the nature of the Attic black gloss", Archaeometry 35, 2334.

Mass et al 1998

Mass J. L., Stone R. E., Wypyski M. T., "The mineralogical and metallurgical origins of

	Roman opaque colored glasses”, in P. McCray and W. D. Kingery (eds.), The prehistory and history of glassmaking technology, Ceramics and Civilization, vol.VIII, American Ceramic Society, Westerville, OH, 121–144.
Mindat.org 2010	Mindat.org, http://www.mindat.org/min-859.html , χρήση της ιστοσελίδας 10 Δεκεμβρίου 2010, 2010.
Mindat.org 2011a	Mindat.org, http://www.mindat.org/min-640.html , χρήση της ιστοσελίδας 12 Φεβρουαρίου 2011, 2011a.
Mindat.org 2011b	Mindat.org, http://www.mindat.org/min-1766.html , χρήση της ιστοσελίδας 12 Φεβρουαρίου 2011, 2011b.
Mindat.org 2011c	Mindat.org, http://www.mindat.org/min-1650.html , χρήση της ιστοσελίδας 12 Φεβρουαρίου 2011, 2011c.
Mindat.org 2011d	Mindat.org, http://www.mindat.org/min-2387.html , χρήση της ιστοσελίδας 12 Φεβρουαρίου 2011, 2011d.
Mirti et al 1996	Mirti P., Casoli A., Calzetti L., “Technology of production of fine pottery excavated on a western Greek site investigated by Scanning Electron Microscopy coupled with Energy-Dispersive X-ray Detection”, X-Ray

Spectrometry 25, 103-109.

Moorey 1985

Moorey R.S., "Materials and Manufacture in Ancient Mesopotamia: The evidence of Archaeology and Art", British Archaeological Reports International Series 237.

Moorey 1994

Moorey R. S., "Ancient Mesopotamian Materials and Industries", Oxford, UOP.

Moseley 1913/14

Moseley H. G. J., "High frequency spectra of the elements," Phil. Mag., 26, 1024-1034 (1913), and 27, 703-713 (1914).

Nenna 1998

Nenna M.D., "Les Verres, exploration Archaeologique de Délos", Fasc. XXXVII, Ecole Francaise d' Athenes.

Nicholson 1993

Nicholson P.T., "Egyptian Faience and Glass", Shire Egyptology, Aylesbury.

Nicholson and Henderson 2000

Nicholson P. T., Henderson J., "Glass", in Nicholson, P.T. and Shaw I. (eds), Ancient Egyptian Materials and Technology, Cambridge University Press, Cambridge.

Nicholson and Peltenburg 2000

Nicholson P.T., Peltenburg E. "Egyptian faience" in Nicholson, P.T. and Shaw I. (eds), Ancient Egyptian Materials and

	Technology, Cambridge University Press, Cambridge.
Nicholson and Shaw 2000	Nicholson P.T., Shaw I., "Ancient Egyptian Materials and Technology", Cambridge University Press, Cambridge.
Nikita 2004	Nikita K., "Technological and archaeological investigation of glass in the Late Bronze Age Aegean, c. 1600-1000 BC: The cases of Thebes and Elateia", PhD Thesis, Nottingham.
Nikita 2008	Nikita K., "Glass and faience beads. Commentary on a glass eye-bead from Midea", in Demakopoulou K., Divari-Valakou N., Nielson M., Schallin A., Excavations in Midea 2006, Opuscula 1, 7-30.
Nikita et al 2009	Nikita K., Henderson J., Nightingale G., "An archaeological and scientific study of glass from Elateia-Alonaki, Greece", in Jannsens K. et al, (eds), Annal. Du 17e Congress l' AIHV, Antwerp University Press, Antwerp, 39-46.
O'Donoghue 1991	O'Donoghue, "An illustrated guide to Rocks and Minerals", Dragon's World, Great Britain.
Oikonomou et al 2008	Oikonomou A., Triantafyllidis P., Beltsios K., Zacharias N., Karakassides M., "Raman structural study of ancient glass artefacts from

the island of Rhodes”, Journal of Non-Crystalline Solids 354, 768-772.

Oikonomou et al in press

Oikonomou Ar., Beltsios K. , Zacharias N., “Analytical and technological study of an ancient glass collection from Thebes, Greece: An overall assessment”, Annales of 18th Congress of the AIHV, Thessaloniki, in press.

Oppenheim et al 1970

Oppenheim A.L., Brill R.H., Barak D., von Saldern A., “Glass and glassmaking in ancient Mesopotamia”, The Corning Museum of Glass Press, New York.

Panagiotaki 1997

Panagiotaki M., “A study of vitreous materials from Minoan Crete”, in Αρχαία Ελληνική Τεχνολογία, Proceedings of the 1st International Conference, Thessaloniki.

Papachristodoulou et al 2010

Papachristodoulou Ch., Gravani K., Oikonomou A., Ioannides K., “On the provenance and manufacture of red-slipped fine ware from ancient Cassope (NW Greece): evidence by X-ray analytical methods”, Journal of Archaeological Science 37, 2146-2154.

Papageorgiou et al in press

Papageorgiou M., Zacharias N., Beltsios K., “Analytical and Technological Study of Roman-Early Christian Glass Objects from Ancient

- Messene, Greece”, Annales of 18th Congress of the AIHV, Thessaloniki, in press.
- Pearce and Cann 1973 Pearce J.A., Cann J.R., “Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses”, *Earth and Planetary Science Letters* 19, 290-300.
- Peltenburg 1987 Peltenburg E., "Early Faience: Recent Studies, Origins and Relations with Glass" in Bimson M. and Freestone I.C. (eds), *Early Vitreous Materials*, British Museum Occasional Paper 56, 5-31, London.
- Petrie 1974 Petrie W.M.F., Reprint. "Tell el Amarna", Warminster, England: Aris & Phillips Ltd. Original edition, Methuen & Co., London.
- Polikreti et al 2011 Polikreti K., Murphy J.M.A., Kantarelou V., Karydas A.G., "XRF analysis of glass beads from the Mycenaean palace of Nestor at Pylos, Peloponnesus, Greece: new insight into the LBA glass trade", *Journal of Archaeological Science* 38, 2889-2896.
- Pollard and Heron 1996 Pollard A.M., Heron C., "Archaeological Chemistry", RSC Publishing, Cambridge, UK.
- Prinsloo and Colomban 2008 Prinsloo L. C., Colomban Ph., "A Raman spectroscopic study of the Mapungubw

	oblates: glass trade beads excavated at an Iron Age archaeological site in South Africa", <i>Journal of Raman Spectroscopy</i> , vol. 39, 79-90.
Pulak 1988	Pulak C., "The Bronze Age Shipwreck at Ulu Burun, Turkey: 1985 Campaign", <i>AJA</i> 92, 1-37.
Pulak 1998	Pulak C., "The Uluburun Shipwreck: An Overview", <i>IJNA</i> 27, 188-224.
Pulak 2001	Pulak C., "The Cargo of the Uluburun Ship and Evidence for Trade with the Aegean and Beyond", in <i>Italy and Cyprus in Antiquity, 1500-450 B.C., Proceedings of an International Symposium held at the Italian Academy for Advanced Studies in America at Columbia University, November 16-18 2000</i> , L. Bonfante and V. Karageorghis (eds), Nicosia, The Costakis and Leto Severis Foundation, 13-60.
Pulak 2005	Pulak C., "Discovering a Royal Ship from the Age of King Tut: Uluburun, Turkey", in <i>Beneath the Seven Seas</i> , Bass G.F. (ed), Thames & Hudson Inc., New York
Raman and Krishnan 1928	Raman C.V., Krishnan K.S., "A New Type of Secondary Radiation", <i>Nature</i> 121, 501-502.
Rapp 2002	Rapp G., "Archaeomineralogy", Springer, New York.

RE	Real Encyclopedie.
Rehren 2001	Rehren Th., "Aspects of the production of cobalt blue glass in Egypt", <i>Archaeometry</i> 43, 4, 483-489.
Rehren 2008	Rehren Th., "A review of factors affecting the composition of early Egyptian glasses and faience: alkali and alkali earth oxides", <i>Journal of Archaeological Science</i> 35, 1345-1354.
Röntgen 1898	Röntgen W. C., "On a new kind of rays: second communication," <i>Ann. Phys. Chem.</i> 64, 1-11.
Sanderson et al 1984	Sanderson D.C.W., Hunter O.J.R., Warren S.E., "Energy Dispersive X-ray Fluorescence Analysis of 1st Millennium AD Glass from Britain", <i>Journal of Archaeological Science</i> 11, 53-69.
Sayre and Smith 1961	Sayre E.V., Smith R.W., "Compositional Categories of Ancient Glass", <i>Science</i> 133, 1824-1826.
Shortland 2000	Shortland A.J., "Vitreous Materials at Amarna: The production of Glass and Faience in 18 th Dynasty Egypt", <i>British Archaeological Reports International Series</i> 827, Oxford, Archaeopress.
Shortland and Eremin 2006	Shortland A. J., Eremin K., "The analysis of second millennium glass from Egypt and Mesopotamia, part 1: New WDS analyses",

Archaeometry 48, 4, 581-603.

Shortland and Schroender 2009

Shortland A. J., Schroender H., "Analysis of first millennium BC glass vessels and beads from the Pichvnari necropolis, Georgia", Archaeometry 51, 6, 947-965.

Shortland and Tite 2000

Shortland A.J., Tite M.S., "Raw materials of glass from Amarna and implications for the origins of Egyptian glass", Archaeometry 42, 1, 141-151.

Shortland et al 2006

Shortland A.J., Tite M.S., Ewart I., "Ancient exploitation and use of cobalt alums from the western oases of Egypt", Archaeometry 48, 1, 153-168.

Shortland et al 2007

Shortland A., Rogers N., Eremin K., "Trace element discriminants between Egyptian and Mesopotamian Late Bronze Age glasses", Journal of Archaeological Science 34, 781-789.

Sianoudis et al 2006

Sianoudis I. A., Karydas A. G., Zarkadas Ch., Drakaki E., XRF spectroscopy : a proposal in the educational process [e-journal article] (http://ejst.teiath.gr/issue_2_2006/sianoudis.pdf).

Silvestri and Marcante 2011

Silvestri A., Marcante A., "The glass of Nogora (Verona): a 'window' on production technology of mid-Medieval times in Northern Italy",

	Journal of Archaeological Science 38, 2509-2522.
Silvestri et al 2005	Silvestri A., Molin G., Salviulo G., "Roman and Medieval glass from the Italian area: bulk characterization and relationships with production technology", <i>Archaeometry</i> 47, 797-816.
Silvestri et al 2008	Silvestri A., Molin G., Salviulo G., "The colourless glass of Iulia Felix", <i>Journal of Archaeological Science</i> 35, 331-341.
SIMA	Studies in Mediterranean Archaeology
Skoog et al 1998	Skoog D.A., Holler J.F., Nieman T.A., "Principles of Instrumental Analysis", 5 th ed. Philadelphia: Saunders College Publishers, Harcourt Brace College Publishers.
Sleen 1973	Van der Sleen W.G.N, "A handbook on beads", New York.
Smith and Hawthorne 1974	Smith C.S., Hawthorne J.G., "Mappae Clavicula", <i>Transactions of the American Philosophical Society</i> 64, 4, 3-128.
Starr 1939	Starr R., "Nuzi", vol. 1, Text, Cambridge: Harvard University Press.

Stern and Gerber 2004	Stern W.B., Gerber Y., "Potassium-calcium glass: New data and experiments", <i>Archaeometry</i> 46, 1, 137-156.
Stern and Nolte 1994	Stern E.M., Nolte S.B., "Early glass of the ancient world, 1600 BC-AD 50", Ernesto Wolf Collection, Ostfildern.
Symeonoglou 1973	Symeonoglou S., "Kadmeia I: Mycenaean Finds from Thebes, Greece", Excavation at 14 Oedipus St., SIMA 35, Göteborg: Södra Vägen.
Tait 1999	Tait H., "Five thousand years of glass", British Museum Press.
Tanimoto and Rehren 2008	Tanimoto S., Rehren Th., "Interactions between silicate and salt melts in LBA glass-making", <i>Journal of Archaeological Science</i> 35/9, 2566-2573.
Tite 1972	Tite M.S., "Methods of Physical Examination in Archaeology", Seminar Press, (3 rd edition), London and New York.
Tite 1987	Tite M.S., "Characterization of early vitreous materials", <i>Archaeometry</i> 29, 21-34.
Tite and Bimson 1986	Tite M.S., Bimson M., "Faience: An investigation of the microstructures associated with the different methods of glazing",

Archaeometry 28, 69-78.

Tite and Shortland 2003

Tite M.S., Shortland A.J., "Production technology for copper-and cobalt blue vitreous materials from the New Kingdom site of Amarna-A reappraisal", *Archaeometry* 45, 2, 285-312.

Tite et al 1983

Tite M.S., Freestone I.C., Bimson M., "Egyptian faience: An investigation of the methods of production", *Archaeometry* 25, 17-27.

Tite et al 1987

Tite M.S., Freestone I.C., Bimson M. (eds), "The scientific examination of Pre-Hellenistic faience from Rhodes" in *Early Vitreous Materials*, British Museum Occasional Paper 56:127-32, London.

Tite et al 2007

Tite M. S., Manti P., Shortland A. J., "A technological study of ancient faience from Egypt", *Journal of Archaeological Science* 34, 1568-1583.

Turner 1956

Turner W.E.S., "Studies in Ancient Glasses and Glass-Making Processes. Part III. The Chronology of Glass-Making Constituents", *Journal of the Society of Glass Technology* 40, 39-52.

Turner 1956a	Turner W.E.S., "Studies in Ancient Glasses and Glass-Making Processes. Part V. Raw Materials and Melting Processes", <i>Journal of the Society of Glass Technology</i> 40, 277-300.
Turner and Rooksby 1959	Turner W.E.S., Rooksby H.P., "A study of opalising agents in ancient opal glasses throughout three thousand four hundred years", <i>Glastechnische Berichte</i> , 32K, VII, 17-28.
Vandiver 1982	Vandiver P., "Technological change in Egyptian faience" in Olin J.S., Franklin A.D., (eds), <i>Archaeological Ceramics: 169-70</i> , Smithsonian Institution Press, Washington DC.
Vandiver 1983	Vandiver P., "Egyptian faience technology", Appendix A. in: Kaczmarczyk A., Hedges R.E.M., 1983, <i>Ancient Egyptian Faience: An analytical survey of Egyptian Faience from Predynastic to Roman times</i> , Aris and Phillips, Warminster, A1-A144.
Veizer 1978	Veizer J., "Abundance of strontium in common sediments and sedimentary rocks", in Wedepohl K.H. (ed), <i>Handbook of geochemistry</i> , II 38 K 1-13, Springer, Berlin Heidenberg, New York.

Ventris and Chadwick 1973	Ventris M., Chadwick J., "Documents in Mycenaean Greek", 2nd ed., Cambridge University Press, Cambridge.
Walton et al 2009	Walton M. S., Shortland A., Kirk S., Degryse P., "Evidence for the trade of Mesopotamian and Egyptian glass to Mycenaean Greece", Journal of Archaeological Science 36, 1496-1503.
Wedepohl and Baumann 2000	Wedepohl K. H., Baumann A., "The use of marine Molluscan shells for Roman glass and local raw glass production in the Eifel area (Western Germany)", Naturwissenschaften 87, 129-132.
Weinberg 1969	Weinberg G.D., "Glass Manufacture in Hellenistic Rhodes", A.D. 24, Μελέται, 143-151.
Wilkinson 1971	Wilkinson A., "Ancient Egyptian Jewellery", Methuen & Co Ltd, London.
Wulff et al 1968	Wulff H.E., Wulff H.S., Koch L., "Egyptian faience- a possible survival in Iran", Archaeology 21, 98-107.
Zacharias et al 2008	Zacharias N., Beltsios K., Oikonomou Ar., Karydas A.G., Aravantinos V., Bassiakos Y., "Thermally and optically stimulated luminescence of an archaeological glass collection from Thebes, Greece", Journal of Non-Crystalline Solids 354, 761-767.

Zacharias et al in press

Zacharias N., Papageorgiou M., Beltsios K.,
“Analytical and Typological Investigation of
Late Roman mosaic Tesserae from Ancient
Messene, Greece“, Annales of 18th Congress
of the AIHV, Thessaloniki, in press.

Ziehen 1934

Ziehen L., RE VA. 2, 1934, S. V. Thebai (in
Boiotien), στ. 1423 κ. εξ.

ΓΛΩΣΣΑΡΙΟ ΟΡΩΝ*

**Με βάση τους καταλόγους στα: Τιβέριος 1996, Τριανταφυλλίδης 2000, Τριανταφυλλίδης υπό έκδ., Ιγνατιάδου- Αντωνάρας 2008.*

Αζουρίτης:	Ορυκτό του χαλκού με ωραίο μπλε χρώμα. Από χημική άποψη, ο αζουρίτης είναι βασικός ανθρακικός χαλκός, με μοριακό χημικό τύπο $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$.
Αιματίτης:	Ορυκτό του σιδήρου με ευρεία διάδοση στο στερεό φλοιό της Γης. Έχει χημικό τύπο Fe_2O_3 , $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$.
Αλάβαστρο:	Μικρό, επίμηκες και στενόστομο αγγείο για αρωματικά έλαια, χρησιμοποιούμενο κυρίως στο γυναικείο καλλωπισμό.
Αμφορέας:	Μεγάλο κλειστό αγγείο με δύο κάθετες λαβές για τη μεταφορά ή αποθήκευση κυρίως υγρών αλλά και στερεών.
Αμφορίσκος:	Μικρός αμφορέας.
Αρύβαλλος:	Μικρό σφαιρικό και στενόστομο αγγείο για το λάδι που χρησιμοποιούσαν οι αθλητές για να αλείφουν τα σώματά τους ή για αρώματα.
Αχάτης:	Ορυκτό της οικογένειας του χαλαζία με χημικό τύπο SiO_2 .
Γιρλάντα:	Το διακοσμητικό σχέδιο που μιμείται την καμπύλη ανθοπλοκάμου, αναρτημένο από τα δύο άκρα.

Διάτρηση:	Η δημιουργία τρήματος, δηλ. διαμπερούς οπής ανάρτησης.
Εφυάλωμα:	Υαλώδες επίχρισμα που εναποτίθεται επάνω σε μεταλλική, κεραμική ή υάλινη βάση.
Εφυάλωση:	Η διαδικασία εφαρμογής υαλώματος.
Κέραμος ο:	Το σύνολο των κεραμίδων στέγης, δηλαδή η κεράμωση της στέγης.
Κέραμος η:	Η κεραμίδα στέγης.
Κλίβανος:	Η κλειστή κατασκευή για την παραγωγή και την εφαρμογή θερμότητας.
Κομβίο:	Το σφαιρικό ή πεπλατυσμένο στοιχείο, συμπαγές ή κενό εσωτερικά. Μεμονωμένο ή σε ομάδες χρησιμοποιείται για το σχηματισμό του στελέχους ποτηριών ή ως απόληξη πωμάτων και λυχνιών.
Κορνεάλης:	Ημιπολύτιμος λίθος κόκκινου-καφέ χρώματος.
Κύανος:	Ύαλος (φυσικός ή τεχνητός).
Κυλινδρισμός:	Η εξομάλυνση των επιφανειών του αγγείου σε επιφάνεια λείανσης, κυρίως όταν αυτές φέρουν επίθετη διακόσμηση.
Λάγηνος:	Οινοχόη με ψηλό στενό λαιμό και χαμηλό πεπλατυσμένο σώμα με κατακόρυφη λαβή.

Λαζουρίτης:	Ορυκτό, το οποίο συνήθως δημιουργεί το λάπις λάζουλι, με χημικό τύπο $(\text{Na,Ca})_8(\text{AlSiO}_4)_6(\text{SO}_4,\text{S,Cl})_2$.
Λάπις λάζουλι:	Λίθος σπάνιος και ημιπολύτιμος με έντονο μπλε χρώμα.
Μήτρα:	Πήλινο, γύψινο, ξύλινο ή μεταλλικό καλούπι στο οποίο αποδίδεται το σχήμα του αντικειμένου ή του υαλοπλινθώματος.
Οινοχόη:	Βασικό αγγείο άντλησης κρασιού από τους κρατήρες, με το οποίο γέμιζαν τα κρασοπότηρα. Είναι συνήθως μετρίου μεγέθους κλειστό, με μία κάθετη λαβή και σώζεται σε πολλούς τύπους.
Οπτός πηλός:	Ψημένος πηλός.
Όρμος:	Περιδέραιο λαιμού.
Περίαπτο:	Κόσμημα λαιμού με πρόβλεψη για ανάρτηση. Το σχήμα ή ο διάκοσμός του έχει χαρακτήρα θρησκευτικό ή συμβολικό. Διακρίνονται σε αποτροπαϊκά περίαπτα και προφυλακτικά/φυλαχτά.
Περόνη:	Επίμηκες λεπτό και συμπαγές αντικείμενο, κυκλικής διατομής, που χρησιμοποιείται για τη στερέωση ενδύματος στον ώμο.
Περιδέραιο:	Σύνολο ψήφων και περιάπτων που συνθέτουν ένα σύνολο για προσωπική διακοσμητική χρήση.

Περίσσειμα:	Ανακυκλώσιμα απορρίμματα υάλου (θραύσματα αγγείων, τεμάχια υάλου, θρυμματισμένα υάλινα πλεονάσματα) που προστίθενται στο υαλότηγμα και επανατήκονται σε σύντομο χρονικό διάστημα.
Ράβδος επεξεργασίας:	Σιδερένια ή χάλκινη συμπαγής ράβδος που χρησιμοποιείται για απόληψη βόλων και την περαιτέρω επεξεργασία τους, εφέλκυση και μορφοποίηση αγγείων, ψήφων και περιάπτων με περιέλιξη.
Ροιά:	Ρόδι.
Στίλβωση:	Η σημαντικότερη μορφή επεξεργασίας της επιφάνειας των υάλινων αντικειμένων.
Σφονδύλι:	Μικρό κωλουροκωνικό ή σφαιρικό αντικείμενο με κατακόρυφο τμήμα για να προσαρμόζεται σε στέλεχος από άλλο υλικό.
Τάλαντο:	Μονάδα μέτρησης της μάζας που ήταν σε χρήση κατά την αρχαιότητα από πολλούς λαούς της Μεσοποταμίας και της Μεσογείου. Οι υποδιαίρέσεις του, όταν αναφέρονταν σε πολύτιμα μέταλλα, λειτουργούσαν και ως νομίσματα.
Τεχνική αναδίπλωσης:	Η τεχνική κατά την οποία μία ταινία υάλου εφαρμόζεται γύρω από την άκρη μίας μεταλλικής ράβδου συνήθως για να μορφοποιηθεί μία ψήφος με ραφή.
Τεχνική εμπίεσης:	Εισροή της ζεστής και μαλακής υάλου με ώθηση και πίεσή της σε ανοιχτή ή κλειστή μήτρα.

Τεχνική εμφύσησης:	Η τεχνική μορφοποίησης ενός αντικειμένου μέσω της διοχέτευσης με την υαλουργική ράβδο αέρα σε μάζα θερμής υάλου. Η εμφύσηση διακρίνεται σε ελεύθερη εμφύσηση και σε εμφύσηση σε μήτρα.
Τεχνική εφέλκυσης:	Η επιμήκυνση, με συνεχή έλξη και ταυτόχρονη θέρμανση, μάζας υάλου, ώστε να σχηματιστούν οι μακρές (μήκους πολλών μέτρων) ίνες και οι μικρότερες ράβδοι υάλου. Με εφέλκυση μορφοποιούνται και ορισμένες ψήφοι.
Τεχνική περιτύλιξης (περιέλιξης):	Τεχνική μορφοποίησης ενός υάλινου αντικειμένου γύρω από πυρήνα ή μεταλλικό ραβδάκι. Με περιέλιξη κατασκευάζονται κάποια αγγεία της τεχνικής του πυρήνα, τα περίαπτα, καθώς και οι περισσότερες ψήφοι.
Τεχνική του «πυρήνα»:	Η κατασκευή αγγείων με μορφοποίηση γύρω από έναν πυρήνα.
Τεχνική χύτευσης:	Συμβατική ονομασία με την οποία εννοείται η διαμόρφωση των υάλινων αντικειμένων με την πλήρωση της μήτρας από άμορφη τηγμένη ύαλο σε θερμοκρασία άνω των 1200 °C.
Τρήμα:	Η διαμπερής οπή ανάρτησης ψήφων.
Τροχός:	Ο πήλινος, οριζόντια περιστρεφόμενος δίσκος, αντίστοιχος με τον κεραμικό. Επάνω του γίνεται η εν θερμώ μορφοποίηση αγγείων καθώς και διάφορες εν ψυχρώ εργασίες.
Υαλοένθεμα:	Πλακίδιο ή ειδικού σχήματος αντικείμενο που κατασκευάζεται για ένθεση σε ύαλο ή άλλο υλικό.

Ύαλος:	Ομοιογενές συνθετικό υλικό με ρευστή μοριακή δομή από άμμο, άσβεστο και αλκάλια.
Υαλουργία:	Η διαδικασία κατεργασίας και διαμόρφωσης της υάλου σε αντικείμενα.
Υάλωμα:	Σύνθεση υαλώδους υφής προερχόμενη από ανεπιτυχή συγχώνευση υάλου, κεραμικών ή μετάλλων.
Υαλοπλίνθωμα:	Ακατέργαστη ύαλος.
Φαγεντιανή:	Υαλώδης ύλη, κατασκευασμένη από κονιορτοποιημένο χαλαζία ή άμμο. Αποτελείται από πυρίτιο, άσβεστο και αλκάλια.
Φιάλη:	Μικρό ρηχό αγγείο με ομφαλό στη μέση, χωρίς λαβές, με το οποίο έκαναν τις σπονδές, ενώ σπανιότερα το χρησιμοποιούσαν και ως κρασοπότηρο.
Φιαλίδιο:	Μικροσκοπικό αγγείο με χρήση φαρμακευτική ή ιατρική.
Χαλαζίας:	Ορυκτό του πυριτίου, το δεύτερο πιο διαδεδομένο ορυκτό στη φύση, με χημικό τύπο SiO_2 .
Χύτευση:	Τεχνική μέθοδος διαμόρφωσης υάλινων αντικειμένων με τη βοήθεια μήτρας, όταν η ύαλος τήκεται σε θερμοκρασία άνω των $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ο όρος χρησιμοποιείται σήμερα ευρύτατα για τα υάλινα αγγεία και αντικείμενα που κατασκευάζονται με την τεχνική του «χαμένου κεριού» με χρήση θρυμματισμένων υαλοπερισευμάτων και θραυσμάτων ή ρευστού μείγματος

υάλου στη μήτρα.

Ψέλιο: Κόσμημα, βραχιόλι.

Ψήφος: Χάντρα. Σφαιρικό, κυλινδρικό, δισκόμορφο, δακτυλιοειδές ή ειδικού σχήματος αντικείμενο με κατά μήκος τρήμα για ανάρτηση σε όρμο.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

I. Κατάλογοι αρχαιολογικού υλικού (φωτογραφική τεκμηρίωση, περιγραφή, αρχαιολογικά δεδομένα)²⁵

1. Ψήφοι Ρόδου

Αριθμός Δείγματος	Φωτογραφία	Διαστάσεις/Βάρος	Παρατηρήσεις/Περιγραφή
R.1		Μέγ. μήκ. 0,038μ. Διάμ. εξωτερ. 0,012μ. Μέγ. διάμ. τρήμ. 0,003μ. Βάρος: 1,3091 gr	Ψήφος διαφανής, σφαιρική. Ελλιπής. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση. Ιριδισμοί. Χρώμα ανοιχτό πρασινωπό. 640-620/600 π.Χ.
R.2		Διάμ. εξωτ. 0,0108μ. Μέγ. διάμ. τρήμ. 0,003μ. Βάρος: 0,5646 gr	Ψήφος διαφανής δακτυλιόσχημη. Ελλιπής. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση. Ιριδισμοί. Χρώμα πολύ ανοιχτό κιτρινοκάστανο (ήλεκτρο).
R.3		Διάμ. εξωτ. 0,0127μ. Μέγ. διάμ. τρήμ. 0,028μ. Βάρος: 1,0435 gr	Ψήφος ημιδιαφανής δακτυλιόσχημη. Ελλιπής. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση. Ιριδισμοί. Χρώμα σμαραγδί.

²⁵ Οι παρατηρήσεις/περιγραφές προέρχονται από τα δελτία καταγραφών στο Αρχαιολογικό Μουσείο Ρόδου.

R.4		Μέγ. σωζ. ύψ. 0,010 μ. Μέγ. διάμ. τρήμ. 0,047 μ. Βάρος: 0,9351 gr	Ψήφος ημιδιαφανής αμφικωνική. Ελλιπής. Κατασκευασμένη με μήτρα. Περιτετμημένη. Βελονισμοί. Χρώμα σμαραγδί. 640-620/600 π.Χ.
R.5		Μέγ. σωζ. ύψ. 0,009 μ. Μέγ. πάχ. 0,067 μ. Βάρος: 0,6942 gr	Ψήφος ημιδιαφανής σφαιρική. Ελλιπής. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση. Ιριδισμοί. Μικροβελονισμοί. Χρώμα σμαραγδί. 640-620/600 π.Χ.
R.6		Διάμ. εξωτ. 0,012 μ. Μέγ. διάμ. τρήμ. 0,025 μ. Βάρος: 1,9981 gr	Ψήφος διαφανής σφαιρική. Ελλιπής. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση. Ιριδισμοί. Ασημόφαιη πάτινα. Χρώμα πράσινο. 640-620/600 π.Χ.
R.7		Μέγ. σωζ. ύψ. 0,009 μ. Μέγ. σωζ. πάχ. 0,006 μ. Μέγ. διάμ. τρήμ. 0,026 μ. Βάρος: 0,7561 gr	Ψήφος διαφανής δακτυλιόσχημη. Ελλιπής. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση. Ιριδισμοί. Πάτινα ασημόφαιη-γαλακτώδης. Χρώμα πράσινο.

R.8		Μέγ. ύψ. 0,015μ. Μέγ. σωζ. πάχ. 0,007μ. Διάμ. τρήμ. 0,003μ. Βάρος: 2,0869 gr	Ψήφος διαφανής, πιθανώς σφαιρική. Ελλιπής κατά το μεγαλύτερο μέρος. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση. Ιριδισμοί. Βελονισμοί. Χρώμα ανοιχτό κυανοπράσινο. 640-620/600 π.Χ.
R.9		Μέγ. διάμ. 0,013μ. Μέγ. σωζ. πάχ. 0,005μ. Διάμ. τρήμ. 0,002μ. Βάρος: 1,7912 gr	Ψήφος διαφανής, σφαιρική. Ελλιπής. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση. Ιριδισμοί. Χρώμα ανοιχτό πράσινο. 640-620/600 π.Χ.
R.10		Μέγ. διάμ. 0,013μ. Μέγ. σωζ. πάχ. 0,005μ. Διάμ. τρήμ. 0,003μ. Βάρος: 1,3476 gr	Ψήφος διαφανής, σφαιρική. Ελλιπής. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση. Ιριδισμοί. Πάτινα γαλακτώδης. Χρώμα άχρωμο με πράσινους και κίτρινους τόνους. 640-620/600 π.Χ.
R.11		Μέγ. διάμ. 0,013μ. Μέγ. σωζ. πάχ. 0,005μ. Διάμ. τρήμ. 0,003μ. Βάρος: 1,2948 gr	Ψήφος διαφανής, σφαιρική. Ελλιπής. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση. Ιριδισμοί. Πάτινα ασημίζουσα-γαλακτώδης. 640-620/600 π.Χ.

R.12		Μέγ. διάμ. 0,010μ. Μέγ. σωζ. πάχ. 0,005μ. Διάμ. τρήμ. 0,003μ. Βάρος: 0,6946 gr	Ψήφος διαφανής, σφαιρική. Ελλειπής. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση. Ιριδισμοί. Γαλακτόφαιη πάτινα. Χρώμα πράσινο. 640-620/600 π.Χ.
R.13		Μέγ. σωζ. μήκ. 0,010μ. Μέγ. σωζ. πλάτ. 0,010μ. Μέγ. πάχ. 0,005μ. Βάρος: 1,0931 gr	Θραύσμα συμπαγούς αναδιπλωμένης ράβδου. Ελλειπής. Ιριδισμοί. Ραγίσματα κατά μήκος της αναδίπλωσης. Χρώμα πρασινωπό.
R.14		Μέγ. σωζ. μήκ. 0,016μ. Μέγ. πλάτ. 0,008μ. Βάρος: 0,9498 gr	Ψήφος πτηνόσχημη, διαφανής, Ελλειπής. Ιριδισμοί. Μικρορρηγματώσεις διάβρωσης. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση. Χρώμα σμαραγδί και επίθετο κιτρινωπό για τη διακόσμηση των ένθετων επιμήκων αυλακώσεων.
R.15		Μέγ. σωζ. μήκ. 0,011μ. Μέγ. πλάτ. 0,008μ. Μέγ. πάχ. 0,006μ. Βάρος: 1,028 9 gr	Ψήφος σφαιρική, διαφανής, Ελλειπής. Ιριδισμοί. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση. Χρώμα κιτρινωπό με πράσινους τόνους.

R.16		Διάμ. 0,012μ. Μέγ. σωζ. ύψ. 0,007μ. Μέγ. 0,003μ. Βάρος: 0,4867 gr	Ψήφος πεπιεσμένη σφαιρική αδιαφανής από κυανόχρωμη και κιτρινωπή πρασινωπή ύαλοι. Ελλιπής. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση. Εσωτερική λεπτή στρώση κιτρινωπή, πυρήνας πρασινωπός και λεπτή στρώση κιτρινωπής υάλου.
R.17		Μέγ. σωζ. ύψ. 0,018μ. Μέγ. πάχ. 0,007μ. Βάρος: 3,0621 gr	Ψήφος σφαιρική, διαφανής από άχρωμη ύαλο. Ελλιπής. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση. Πάτινα φαιή. Ιριδισμοί. Φυλλώδης διάβρωση.
R.18		Μέγ. σωζ. ύψ. 0,011μ. Μέγ. πάχ. 0,004μ. Βάρος: 1,8103 gr	Ψήφος αμφικωνική, διαφανής. Ελλιπής. Κατασκευασμένη με μήτρα. Χρώμα σμαραγδί. Πάτινα λευκή. Ιριδισμοί.
R.19		Μέγ. διάμ. 0,016μ. Μέγ. πάχ. 0,004μ. Βάρος: 1,5518 gr	Υαλόλιθος. Ακέραιος. Διαφανής. Ιριδισμοί. Βελονισμοί. Χρώμα ανοιχτό κυανοπράσινο. Κατασκευασμένο με την τεχνική της στάλαξης.

R.20		Μέγ. σωζ. ύψ. 0,014μ. Μέγ. πάχ.0,005μ. Βάρος: 1,6262 gr	Ψήφος σφαιρική, διαφανής. Ελλιπής κατά το ήμισυ. Χρώμα άχρωμο με κιτρινωπούς τόνους. Ιριδισμοί. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση.
R.21		Μέγ. σωζ. ύψ. 0,016μ. Μέγ. πάχ. 0,007μ. Βάρος: 2,8702 gr	Ψήφος σφαιρική, διαφανής. Ελλιπής. Ύαλος άχρωμη με κίτρινους τόνους. Ιριδισμοί. Πάτινα λευκή-ασημόφαιη. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση.
R.22		Μέγ. σωζ. ύψ. 0,014μ. Μέγ. πάχ. 0,004μ. Βάρος: 1,9789 gr	Ψήφος σφαιρική, διαφανής. Ελλιπής. Γυαλί ανοιχτό πρασινωπό, διαφανές, ιριδισμοί. Πάτινα λευκόφαιη. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση.
R.23		Μέγ. σωζ. ύψ. 0,014μ. Μέγ. πάχ. 0,005μ. Βάρος: 2,1559 gr	Ψήφος σφαιρική, διαφανής, ελλιπής. Γυαλί άχρωμο με πράσινους ή κίτρινους τόνους. Ιριδισμοί. Αποκρούσεις. Πάτινα λευκή. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση.

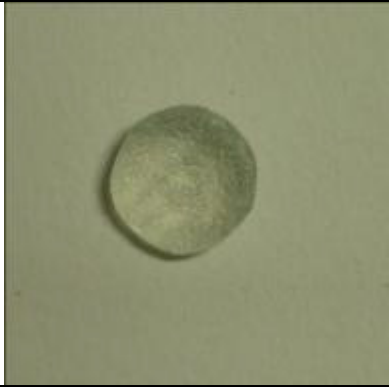
R.24		Μέγ. σωζ. ύψ. 0,012μ. Μέγ. πάχ. 0,003μ. Βάρος: 0,8173 gr	Ψήφος σφαιρική, διαφανής, ελλειπής κατά το μεγαλύτερό της μέρος. Γυαλί ανοιχτό πράσινο. Πάτινα λευκή-κιτρινωπή. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση.
R.25		Μέγ. σωζ. ύψ. 0,011μ. Μέγ. πάχ. 0,004μ. Βάρος: 0,8746 gr	Ψήφος σφαιρική, διαφανής, ελλειπής. Γυαλί πρασινωπό- κιτρινωπό. Ιριδισμοί. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση.
R.26		Μέγ. σωζ. ύψ. 0,010μ. Μέγ. πάχ. 0,004μ. Βάρος: 0,8751 gr	Ψήφος σφαιρική, διαφανής, ελλειπής. Γυαλί πρασινωπό. Ιριδισμοί. Πάτινα λευκή. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση.
R.27		Μέγ. σωζ. ύψ. 0,005μ. Μέγ. πάχ. 0,003μ. Βάρος: 0,8016 gr	Ψήφος σφαιρική, διαφανής, ελλειπής. Γυαλί κυανοπράσινο. Ιριδισμοί. Όχι φυσαλίδες. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση.

R.28		Μέγ.σωζ. ύψ. 0.008μ. Μέγ.πάχ. 0.005μ. Βάρος: 1,3827 gr	Ψήφος σφαιρική, διαφανής, ελλειπής. Γυαλί άχρωμο με πράσινους ή κίτρινους τόνους. Ιριδισμοί. Πάτινα λευκόφαιη. Αποκρούσεις. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση (είναι ορατό το σημείο επαφής).
R.29		Μέγ.σωζ. μήκ. 0.032 μ. Μέγ. πάχ. 0.003μ. Διάμ. 0.011μ. Βάρος: 5,0087 gr	Ψήφος επιμήκης κυλινδρική, ελλειπής. Γυαλί πρασινοκύανο. Ιριδισμοί. Αποκρούσεις. Μικροβελονισμοί. Λευκή πάτινα διάβρωσης στο εσωτερικό. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση και εφέλκυση.
R.30		Μέγ.σωζ.ύψ. 0.012μ. Μέγ.πάχ. 0.006μ. Βάρος: 1,2893 gr	Ψήφος σφαιρική, έντονα πεπιεσμένη, ελλειπής. Γυαλί κυανό, διαφανές. Μικροβελονισμοί. Αποκρούσεις. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση.
R.31		Μέγ.σωζ. ύψ. 0.020μ. Μέγ. πάχ. 0.005μ. Βάρος: 1,5881 gr	Ψήφος μεγάλη σφαιρική, διαφανής, ελλειπής. Γυαλί άχρωμο. Ιριδισμοί. Χωρίς φυσαλίδες. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση.

R.32		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.007μ. Μέγ.πάχ. 0.003μ. Διάμ. 0.012μ. Βάρος: 0,8698 gr	Ψήφος σφαιρική, διαφανής, ελλειπής. Γυαλί πρασινωπό. Ιριδισμοί. Πάτινα λευκή. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση.
R.33		Μέγ.σωζ.ύψ. 0.004μ. Διάμ. 0.015μ. Βάρος: 1,2602 gr	Υαλόλιθος φακοειδής, κυρτεπίπεδος. Ακέραιος. Διαφανής. Γυαλί άχρωμο. Ιριδισμοί. Κατασκευασμένος με στάλαξη.
R.34		Μέγ.σωζ.ύψ. 0.004μ. Μέγ.διάμ. 0.015μ. Βάρος: 1,6084 gr	Υαλόλιθος φακοειδής, κυρτεπίπεδος. Ακέραιος. Διαφανής. Γυαλί άχρωμο με κίτρινους τόνους. Ιριδισμοί. Πάτινα μελανή. Κατασκευασμένος με στάλαξη.
R.35		Μέγ.σωζ. ύψ. 0.013μ. Μέγ.πάχ. 0.005μ. Διάμ. 0.016μ Βάρος: 1,8733 gr	Ψήφος σφαιρική, διαφανής, ελλειπής. Γυαλί πρασινωπό με φυλλώδη διάβρωση και πάτινα μελανή-τεφρή. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση.

R.36		Μέγ.σωζ. ύψ. 0.005μ. Διάμ. 0.012μ. Βάρος: 0,8654 gr	Υαλόλιθος φακοειδής, κυρτεπίπεδος. Ακέραιος. Γυαλί διαφανές, κιτρινωπό. Ιριδισμοί. Κατασκευασμένος με στάλαξη.
R.37		Μέγ.σωζ.ύψ. 0.004μ. Μέγ. πάχ. 0.004μ. Βάρος: 0,5861 gr	Υαλόλιθος φακοειδής, κυρτεπίπεδος. Ελλιπής. Γυαλί διαφανές, άχρωμο. Ιριδισμοί. Κατασκευασμένος με στάλαξη.
R.38		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.010μ. Μέγ. πάχ. 0.005μ. Βάρος: 2,6861 gr	Ψήφος σε σχήμα δακτυλίου, διαφανής, ελλιπής. Γυαλί κυανοπράσινο. Όχι φυσαλίδες. Κατασκευασμένη με περιστροφή. Διακρίνονται τα ορατά ίχνη διάβρωσης που ακολουθούν την φορά της κατεργασίας του γυαλιού.
R.39		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.008μ. Μέγ.πάχ. 0.004μ. Διάμ. 0.012μ. Βάρος: 1,0149 gr	Ψήφος διαφανής, σφαιρική, ελλιπής. Γυαλί πρασινωπό. Ιριδισμοί. Όχι φυσαλίδες. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση.

R.40		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.005μ. Διάμ. 0.012μ. Βάρος: 0,6343 gr	Υαλόλιθος φακοειδής, επιτεδόκυρτος, ακέραιος, διαφανής. Γυαλί άχρωμο. Ιριδισμοί. Κατασκευασμένη με στάλαξη.
R.41		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.003μ. Μέγ. διάμ. 0.012μ. Βάρος: 1,0031 gr	Υαλόλιθος φακοειδής, επιτεδόκυρτος, ακέραιος, διαφανής. Γυαλί άχρωμο με πράσινους τόνους. Ιριδισμοί. Ελαφρές αποκρούσεις. Πάτινα λευκή. Κατασκευασμένος με στάλαξη.
R.42		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.003μ. Διάμ. 0.012μ. Βάρος: 0,7469 gr	Υαλόλιθος φακοειδής, επιτεδόκυρτος, ακέραιος, διαφανής. Γυαλί άχρωμο με πράσινους τόνους, ιριδίζον. Φυλλώδης διάβρωση με χρυσόφαιη πάτινα. Κατασκευασμένος με στάλαξη.
R.43		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.012μ. Μέγ. πάχ. 0.002μ. Βάρος: 5,7807 gr	Θραύσμα από το τοίχωμα χυτού αγγείου, ελλιπές. Γυαλί άχρωμο με πράσινους τόνους, διαφανές, ιριδίζον. Αποκρούσεις. Βελονισμοί. Πάτινα λευκή.

R.44		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.002μ. Διάμ. 0.010μ. Βάρος: 0,3536 gr	Υαλόλιθος φακοειδής, επιπεδόκυρτος, διαφανής, ακέραιος. Γυαλί άχρωμο. Ιριδισμοί. Κατασκευασμένος με στάλαξη.
R.45		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.015μ. Μέγ. πάχ. 0.006μ., Διάμ. 0.016μ Βάρος: 2,7597 gr	Ψήφος σφαιρική, διαφανής, ελλειπής. Γυαλί πρασινωπό. Ιριδισμοί. Πάτινα φαιή-τεφρή. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση.
R.46		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.009. Μέγ. πάχ. 0.04μ. Διάμ. 0.012μ. Βάρος: 0,8079 gr	Ψήφος ελαφρώς αμφικωνική, διαφανής, ελλειπής. Γυαλί πρασινωπό. Ιριδισμοί. Κατασκευασμένη με μήτρα.
R.47		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.004μ. Διάμ. 0.012μ. Βάρος: 0,5906 gr	Υαλόλιθος φακοειδής, κυρτεπίπεδος, ακέραιος. Γυαλί άχρωμο. Ελαφροί ιριδισμοί. Κατασκευασμένος με στάλαξη. Ελαφρές αποκρούσεις στα άκρα.

R.48		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.017μ. Μέγ. πάχ. 0.006μ. Βάρος: 3,1445 gr	Ψήφος μεγάλη σφαιρική, ελλειπής, διαφανής. Γυαλί άχρωμο με ελαφρώς κίτρινους τόνους. Ιριδισμοί. Μικρορηγματώσεις. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση.
R.49		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.003μ. Διάμ. 0.015μ. Βάρος: 1,1292 gr	Υαλόλιθος φακοειδής, κυρτεπίπεδος, διαφανής. Σχεδόν ακέραιος. Γυαλί άχρωμο με κίτρινους τόνους. Αποκρούσεις στα άκρα. Ιριδισμοί. Πάτινα λευκή. Κατασκευασμένος με στάλαξη.
R.50		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.010μ. Μέγ. πάχ. 0.004μ. Διάμ. 0.010μ. Βάρος: 0,7584 gr	Ψήφος ελαφρά αμφικωνική, διαφανής. Ελλειπής. Γυαλί πράσινο, ιριδισμοί. Αποκρούσεις. Λευκή πάτινα κατά τον άξονα της οπής.
R.51		Μέγ.σωζ. ύψ. 0.009μ. Διάμ. 0.016μ. Βάρος: 2,5451 gr	Υαλόλιθος φακοειδής, επιπεδόκυρτος. Ακέραιος. Γυαλί πρασινωπό, διαφανές, ιριδιζον. Πάτινα λευκή. Κατασκευασμένος με στάλαξη.

R.52		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.010μ. Μέγ. πάχ. 0.003μ. Βάρος: 3,3313gr	Ψήφος σφαιρική, διαφανής, ελλειπής. Γυαλί άχρωμο με πράσινους τόνους. Ιριδισμοί. Πάτινα λευκή. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση.
R.53		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.014μ. Μέγ. πάχ. 0.007μ. Διάμ. 0.015μ Βάρος: 2,6312 gr	Ψήφος κυλινδρική, διαφανής, ελλειπής. Γυαλί πράσινο, διαφανές, ιριδίζον. Φυλλώδης διάβρωση με πάτινα φαιή. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση.
R.54		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.011μ. Μέγ. πάχ. 0.005μ. Διάμ. 0.013μ. Βάρος: 1,2391	Ψήφος σφαιρική, διαφανής, ελλειπής. Γυαλί πράσινο, διαφανές, ιριδίζον. Αποκρούσεις. Μικροβελονισμοί. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση.
R.55		Μέγ.σωζ. ύψ. 0.006μ. Διάμ. 0.015μ. Βάρος: 1,6239 gr	Υαλόλιθος φακοειδής, επιπεδόκυρτος, ακέραιος. Γυαλί άχρωμο με ελαφρούς κίτρινους τόνους, διαφανές, ιριδίζον. Κατασκευασμένος με στάλαξη. Πάτινα λευκή.

R.56		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.019μ. Μέγ. πάχ. 0.007μ. Διάμ. 0.019μ. Βάρος: 3,5072 gr	Ψήφος σφαιρική, διαφανής, ελλειπής. Γυαλί άχρωμο με πράσινους τόνους, διαφανές, ιριδίζον. Φυλλώδης διάβρωση. Πάτινα λευκή-τεφρή. Πυριτικά ιζήματα. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση.
R.57		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.010μ. Μέγ. πάχ. 0.007μ. Διάμ. 0.015μ. Βάρος: 1,5517 gr	Ψήφος ελαφρώς αμφικωνική, ελλειπής. Γυαλί διαφανές, πρασινωπό, κατασκευασμένο με μήτρα. Ιριδισμοί.
R.58		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.009μ. Διάμ. 0.016μ. Βάρος: 3,0933 gr	Υαλόλιθος ωοειδής, επιτεδόκυρτος. Ακέραιος. Διαφανής. Γυαλί πρασινωπό. Ιριδισμοί. Κατασκευασμένος με στάλαξη.
R.59		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.012μ. Μέγ. πάχ. 0.004μ. Βάρος: 0,9694 gr	Ψήφος σφαιρική, διαφανής, ελλειπής. Γυαλί πρασινωπό. Φυλλώδης διάβρωση. Ιριδισμοί. Κατασκευασμένος με αναδίπλωση.

R.60		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.008μ. Μέγ. πάχ. 0.005μ. Διάμ. 0.013μ Βάρος: 1,2152 gr	Ψήφος σφαιρική-δακτυλιωτή, διαφανής, ελλιπής. Γυαλί πρασινοκύανο. Ιριδισμοί. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση.
R.61		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.011μ. Μέγ. πάχ. 0.004μ. Διάμ. 0.013μ. Βάρος: 2,0424 gr	Ψήφος σφαιρική, διαφανής, ελλιπής. Γυαλί ανοιχτό πράσινο. Ιριδισμοί. Μικροβελονισμοί. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση.
R.62		Μέγ.σωζ. ύψ. 0.008μ. Μέγ. πάχ. 0.003μ. Διάμ. 0.012μ. Βάρος: 0,7343 gr	Ψήφος σφαιρική, διαφανής, ελλιπής. Γυαλί ανοιχτό πράσινο. Ιριδισμοί. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση.
R.63		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.010μ. Μέγ. πάχ. 0.003μ. Βάρος: 0,4089 gr	Ψήφος σφαιρική, διαφανής, ελλιπής. Γυαλί ανοιχτό πρασινοκύανο. Ιριδισμοί. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση. Φυλλώδης διάβρωση με πάτινα τεφρή και λευκή όπως φαίνεται στο εσωτερικό της οπής.

R.64		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.004μ. Μέγ. πάχ.0.004μ. Βάρος: 1,7325 gr	Ψήφος σφαιρική, διαφανής, ελλειπής κατά το μεγαλύτερό της μέρος. Γυαλί πρασινωπό, διαφανές, ιριδίζον. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση.
R.65		Μέγ.σωζ. ύψ. 0.010μ. Μέγ. πάχ. 0.004μ. Βάρος: 0,9449 gr	Ψήφος κωνική, διαφανής, ελλειπής. Γυαλί ανοιχτό πράσινο, ιριδίζον με λευκή πάτινα. Κατασκευασμένη με μήτρα.
R.66		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.010μ. Μέγ. πάχ. 0.004μ. Διάμ. 0.011μ. Βάρος: 0,8831 gr	Ψήφος σφαιρική, διαφανής, ελλειπής. Γυαλί πρασινοκύανο με ιριδισμούς. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση.
R.67		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.010μ. Μέγ. πάχ. 0.004μ. Διάμ. 0.013μ. Βάρος: 1,2098 gr	Ψήφος σφαιρική, διαφανής, ελλειπής. Γυαλί ανοιχτό πράσινο, ιριδίζον. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση.

R.68		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.012μ. Μέγ. πάχ. 0.004μ. Διάμ. 0.013μ. Βάρος: 1,2181 gr	Ψήφος σφαιρική, διαφανής, ελλιπής. Γυαλί ανοιχτό πράσινο, ιριδίζον. Πάτινα λευκή. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση.
R.69		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.009μ. Μέγ. πάχ. 0.004μ. Διάμ. 0.011μ. Βάρος: 0,6358 gr	Ψήφος αμφικωνική, διαφανής, ελλιπής. Γυαλί τυρκουάζ, ιριδίζον. Κατασκευασμένη με μήτρα.
R.70		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.020μ. Μέγ. πάχ. 0.003μ. Βάρος: 1,2832 gr	Θραύσμα χυτού σκύφου. Ελλιπές. Γυαλί σμαραγδί, διαφανές, ιριδίζον. Αποκρούσεις.
R.71		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.008μ. Μέγ. πάχ. 0.004μ. Διάμ. 0.011μ. Βάρος: 0,8698 gr	Ψήφος δακτυλιωτή, διαφανής, ελλιπής. Γυαλί σε χρώμα του ήλεκτρου. Ιριδισμοί. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση. Εσωτερικά της οπής πυριτική στρώση.

R.72		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.005μ. Μέγ. πάχ. 0.002μ. Διάμ. 0.008μ. Βάρος: 0,3737 gr	Ψήφος σφαιρική, αδιαφανής, ελλειπής. Γυαλί άχρωμο, γαλακτώδες. Βελονισμοί. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση.
R.73		Μέγ. σωζ. ύψος 0.010μ. Μέγ. πάχ. 0.004μ. Διάμ. 0.013μ. Βάρος: 1,3028 gr	Ψήφος κυλινδρική, διαφανής, ελλειπής. Γυαλί ανοιχτό πράσινο, ιριδισμοί και πάτινα λευκή στο εσωτερικό. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση.
R.74		Μέγ. σωζ. Μήκ. 0.011μ. Μέγ. σωζ. πλάτ. 0.005μ. Μέγ. σωζ. πάχ.0.005μ Βάρος: 1,0065 gr	Τρίμμα γυαλιού από διαφανή ψήφο, πιθανώς σφαιρική. Άχρωμο με πράσινους τόνους, διαφανές. Ιριδισμοί.
R.75		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.013μ. Μέγ. πάχ. 0.005μ. Βάρος: 2,6202 gr	Τρίμμα γυαλιού από διαφανή ψήφος, πιθανώς σφαιρική. Σώζεται ο κάθετος άξονας. Γυαλί πρασινωπό, ιριδίζον. Έντονοι βελονισμοί.

R.76		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.013μ. Μέγ. πάχ. 0.004μ. Διάμ. 0.013μ. Βάρος: 1,7066 gr	Ψήφος σφαιρική, διαφανής, ελλειπής. Γυαλί ανοιχτό πράσινο, ιριδίζον. Κατασκευασμένη με την τεχνική της αναδίπλωσης.
R.77		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.012μ. Μέγ. πάχ. 0.006μ. Διάμ. 0.013μ. Βάρος: 1,3953 gr	Ψήφος σφαιρική, διαφανής, ελλειπής. Γυαλί άχρωμο, ιριδίζον. Λεπτή πάτινα εσωτερικά της οπής. Όχι φυσαλίδες. Κατασκευασμένο με αναδίπλωση.
R.78		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.008μ. Μέγ. πάχ. 0.004μ. Διάμ. 0.012μ. Βάρος: 0,7419 gr	Ψήφος σφαιρική, διαφανής, ελλειπής. Γυαλί ελαιόχρωμο, ιριδίζον. Φυλλώδης διάβρωση με πάτινα λευκή. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση.
R.79		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.010μ. Μέγ. πάχ. 0.004μ. Βάρος: 1,6329 gr	Θραύσμα από σφαιρική, διαφανή, ψήφο. Γυαλί άχρωμο με ελαφρώς πράσινους τόνους. Ιριδισμοί. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση.

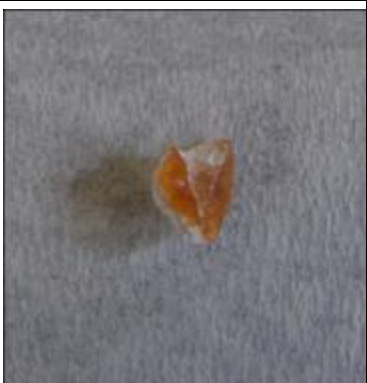
R.80		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.012μ. Μέγ. πάχ. 0.003μ. Βάρος: 0,7273 gr	Ψήφος σφαιρική, διαφανής, ελλειπής. Γυαλί άχρωμο. Όχι φυσαλίδες. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση.
R.81		Μέγ.σωζ. Μήκ. 0.031μ. Μέγ. πλάτ. 0.026μ. Μέγ. πάχ. 0.012μ. Βάρος: 13,5783 gr	Περίσσευμα γυαλιού από λάξευση. Γυαλί διαφανές πρασινωπό, ιριδίζον.
R.82		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.010μ. Διάμ. 0.019μ. Βάρος: 3,8381 gr	Υαλόλιθος φακοειδής, επιπεδόκυρτος. Γυαλί διαφανές ανοιχτό πράσινο, ιριδίζον. Πάτινα λευκή. Κατασκευασμένος με στάλαξη.
R.83		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.009μ. Μέγ. πάχ. 0.004μ. Διάμ. 0.110μ. Βάρος: 0,5926 gr	Ψήφος σφαιρική, διαφανής, ελλειπής. Γυαλί άχρωμο, ιριδίζον. Πάτινα λευκή. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση.

R.84		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.015μ. Μέγ. πάχ. 0.007μ. Διάμ. 0.017μ. Βάρος: 2,8231 gr	Ψήφος σφαιρική, διαφανής, ελλειπής. Γυαλί πρασινοκύανο, ιριδίζον με λεπτή τεφρή πάτινα. Όχι φυσαλίδες. Κατασκευασμένη με αναδίπλωση.
R.85		Μέγ. σωζ. ύψ. 0.004μ. Διάμ. 0.013μ. Βάρος: 1,3744 gr	Υαλόλιθος φακοειδής, επιπεδόκυρτος. Γυαλί ανοιχτό πράσινο, διαφανές, ιριδίζον. Κατασκευασμένος με στάλαξη.
R.86		Μέγ. σωζ. ύψος 0.012μ. Μέγ. πάχ. 0.007μ. Βάρος: 1,4627 gr (αδημοσιευτ ο)	Ψήφος διαφανής, σφαιρική. Ελλειπής κατά το μεγαλύτερο μέρος. Ιριδισμοί. Αποκρούσεις. Χρώμα ανοιχτό πρασινωπό.

2. Ψήφοι Θήβας²⁶

Αρ. Δείγματος	Φωτογραφία	Περιγραφή	Αρ.Τάφου Είδος Τάφου Χρονολόγηση	Αρ.Καταγραφής Ανασκαφική Ομάδα
T.1		Τμήμα αμφικωνικής ψηφου, πράσινου χρώματος	365 Λακκοειδής παραβιασμένος αρχαϊκός	BE 38321- 3 O.M. 712
T.2		Τμήμα αμφικωνικής ψηφου, πράσινου χρώματος	365 Λακκοειδής παραβιασμένος αρχαϊκός	BE 38321- 3 O.M. 712
T.3		Τμήμα καφέ ημιδιαφανούς ψηφου	365 Λακκοειδής παραβιασμένος αρχαϊκός	BE 38321- 3 O.M. 712

²⁶ Τα αρχαιολογικά δεδομένα προέρχονται από τα δελτία καταγραφών στο Αρχαιολογικό Μουσείο Θήβας.

T.4		Τμήμα καφέ ημιδιαφανούς ψήφου	365 Λακκοειδής παραβιασμένος αρχαϊκός	BE 38321- 3 O.M. 712
T.5		Τμήμα καφέ ημιδιαφανούς ψήφου	365 Λακκοειδής παραβιασμένος αρχαϊκός	BE 38321- 3 O.M. 712
T.6		Τμήμα καφέ ημιδιαφανούς ψήφου	365 Λακκοειδής παραβιασμένος αρχαϊκός	BE 38321- 3 O.M. 712
T.7		Τμήμα ψήφου μαύρου χρώματος	365 Λακκοειδής παραβιασμένος αρχαϊκός	BE 38321- 3 O.M. 712

T.8		Τμήμα ψήφου μαύρου χρώματος	365 Λακκοειδής παραβιασμένος αρχαϊκός	BE 38321- 3 O.M. 712
T.9		Τμήμα ψήφου μπλε σκούρου χρώματος	377 Λίθινη λάρνακα παραβιασμένη αρχαϊκή	BE 38341-44 OM. 725
T.10		Τμήμα ψήφου μπλε σκούρου χρώματος	377 Λίθινη λάρνακα παραβιασμένη αρχαϊκή	BE 38341-44 OM. 725
T.11		Τμήμα άχρωμης ψήφου	377 Λίθινη λάρνακα παραβιασμένη αρχαϊκή	BE 38341-44 OM. 725

T.12		Τμήμα καφέ ημιδιαφανούς ψήφου	377 Λίθινη λάρνακα παραβιασμένη αρχαϊκή	BE 38341-44 OM. 725
T.13		Τμήμα καφέ ημιδιαφανούς ψήφου	377 Λίθινη λάρνακα παραβιασμένη αρχαϊκή	BE 38341-44 OM. 725
T.14		Τμήμα ψήφου μαύρου χρώματος	386 Εγχυτρισμός (ταφή σε πίθο) αρχαϊκός	BE 38364(α-ζ)-65 OM. 736
T.15		Τμήμα ψήφου μαύρου χρώματος	386 Εγχυτρισμός (ταφή σε πίθο) αρχαϊκός	BE 38364(α-ζ)-65 OM. 736

T.16		Τμήμα ψήφου μαύρου χρώματος	386 Εγχυτρισμός (ταφή σε πίθο) αρχαϊκός	BE 38364(α-ζ)-65 ΟΜ. 736
T.17		Υάλινο περίσσευμα μπλε τυρκουάζ χρώματος	374 Πυρά Ύστερη Αρχαϊκή	BE 38339 ΟΜ.722
T.18		Υάλινο περίσσευμα μπλε τυρκουάζ χρώματος	374 Πυρά Ύστερη Αρχαϊκή	BE 38339 ΟΜ.722
T.19		Τμήμα ψήφου μπλε σκούρου χρώματος	370 Ύστερος αρχαϊκός- κλασικός	ΟΜ. 718

T.20		Τμήμα ψήφου μπλε τουρκουάζ χρώματος	87 Κεραμοσκεπής κλασικός	BE 37949-50 ΟΜ. 161
T.21		Τμήμα ψήφου μπλε τουρκουάζ χρώματος	234 Λάρνακα κλασική- ελληνιστική	BE 38624 ΟΜ. 436
T.22		Τμήμα ψήφου μπλε τουρκουάζ χρώματος	234 Λάρνακα κλασική- ελληνιστική	BE 38625 ΟΜ. 436
T.23		Τμήμα λευκής αδιαφανούς ψήφου	234 Λάρνακα κλασική- ελληνιστική	BE 38626 ΟΜ. 436

T.24		Τμήμα καφέ ημιδιαφανούς ψήφου	527 Κεραμοσκεπής ελληνιστικός	BE38570
T.25		Τμήμα ψήφου μπλε σκούρου χρώματος	404 Κιβωτιόσχημος κλασικός	BE 38386 δ,β,ε ΟΜ. 755
T.26		Τμήμα ψήφου μπλε σκούρου χρώματος	404 Κιβωτιόσχημος κλασικός	BE 38386 δ,β,ε ΟΜ. 755
T.27		Τμήμα ψήφου μπλε σκούρου χρώματος	404 Κιβωτιόσχημος κλασικός	BE 38386 δ,β,ε ΟΜ. 755

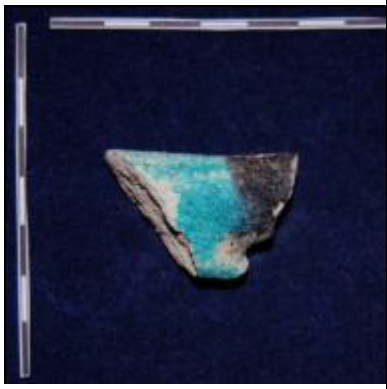
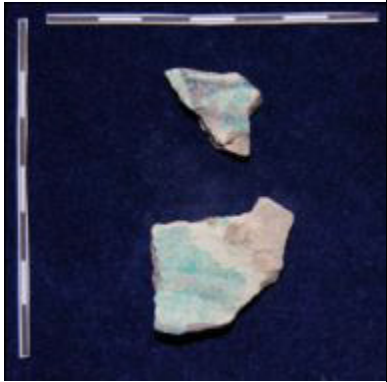
T.28		Τμήμα λευκής αδιαφανούς ψήφου	404 Κιβωτιόσχημος κλασικός	BE 38386 δ,β,ε ΟΜ. 755
T.29		Τμήμα ψήφου μπλε σκούρου χρώματος	404 Κιβωτιόσχημος κλασικός	BE 38386 δ,β,ε ΟΜ. 755

3. Εφυαλώματα Ρόδου²⁷

Κατάλογος δειγματοληψιών φαγεντιανών: Αποθέτης Ιερού Αθηνάς Ιαλυσίας, 7ος-6ος αι. π.Χ.				
Αρ. Δείγματος	Φωτογραφία	Περιγραφή δείγματος	Χρώμα δείγματος	Διαστάσεις δείγματος (cm)
Ε.1		Τμήμα από βάση ειδωλίου	πρασινωπό υάλωμα, πυρήνας ερυθρός	0,026x0,024 x0,025
Ε.2		Τμήμα από βάση ειδωλίου	πρασινωπό υάλωμα, πυρήνας ανοιχτός ρόδιнос	0,032x0,017 x0,013
Ε.3		Τμήμα ανδρικού ειδωλίου	λευκωπό υάλωμα, πυρήνας από ώχρα	0,024x0,010 x0,015

²⁷ Οι περιγραφές προέρχονται από τα δελτία καταγραφών στο Αρχαιολογικό Μουσείο Ρόδου.

E.4		Τμήμα φαγεντιανή ς πιθανώς από ειδώλιο	λευκόχρωμο υάλωμα, κιτρινωπός πυρήνας	0,015x0,009 x0,006
E.5		Τμήμα ειδωλίου	πράσινο υάλωμα, ροδοκάσταν ος πυρήνας	0,022x0,013 x0,011
E.6		Τμήμα ειδωλίου	πράσινο και μελανό υάλωμα, ροδοκάσταν ος πυρήνας	0,020x0,019 x0,010
E.7		Τμήμα από αρυβαλλοει δές ληκύθιο	λευκόχρωμο υάλωμα, καστανός πυρήνας	0,013x0,07

E.8		Τμήμα ειδωλίου βαθύ	πράσινο και μελανό υάλωμα, πυρήνας καστανόφαιο ς	0,035x0,022 x0,013
E.9		Τμήμα κυλινδρικής πυξίδας Διακόσμησ η: ανεστραμμέ να τρίγωνα σε οριζόντια διάταξη	πρασινωπή και μελανή υάλωση, πυρήνας καστανόφαιο ς	0,037x0,013
E.10		Τμήμα σφαιρικού αρύβαλλου με υπερυψωμέ νη κάθετη ταινιωτή λαβή	πρασινωπή υάλωση, ωχρός πυρήνας	0,024x0,006

II. Πίνακες χημικών αναλύσεων (SEM-EDX, XRF)

1. Ψήφοι Ρόδου

κ.ρ. %	Na ₂ O	19,0±0,3	16,9±0,2	19,8±0,5	17,3±0,1	14,2±0,3	20,1±0,2	18,7±0,3	3,1±0,6
	MgO	6,2±0,2	3,6±0,1	4,2±0,2	4,0±0,1	4,5±0,1	4,4±0,1	4,1±0,2	2,4±0,2
	Al ₂ O ₃	1,06±0,05	0,79±0,02	1,01±0,03	1,5±0,2	1,15±0,03	1,03±0,07	1,203±0,003	0,84±0,03
	SiO ₂	64,0±0,7	68,19±0,07	67,3±0,6	67,5±0,2	68,2±0,3	64,7±0,4	66,9±0,1	88,0±0,6
	SO ₃	0,51±0,06	0,28±0,07	0,52±0,06	0,82±0,04	0,55±0,06	0,4±0,1	0,59±0,05	0,6±0,1
	Cl	0,78±0,01	1,04±0,02	0,72±0,01	0,78±0,03	0,96±0,03	0,97±0,05	0,96±0,05	0,85±0,08
	K ₂ O	2,33±0,08	1,95±0,05	1,14±0,02	1,88±0,08	1,70±0,06	2,46±0,07	1,59±0,07	1,0±0,1
	CaO	5,4±0,1	6,11±0,07	4,5±0,1	5,52±0,07	6,95±0,03	4,71±0,08	5,6±0,4	3,1±0,4
	TiO ₂	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	0,14±0,07	δ.α.	δ.α.
	Cr ₂ O ₃	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	0,04±0,04	δ.α.	δ.α.
	MnO	0,37±0,05	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	0,51±0,02	δ.α.	δ.α.
	Fe ₂ O ₃	0,42±0,03	0,55±0,07	0,29±0,03	0,8±0,1	0,66±0,04	0,42±0,04	0,43±0,01	0,25±0,02
	CoO	δ.α.	δ.α.	0,11±0,04	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.
	CuO	δ.α.	0,29±0,07	0,35±0,01	δ.α.	1,12±0,02	δ.α.	δ.α.	δ.α.
	ppm	Mn	3797	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	8673	δ.α.
Zn		δ.α.	δ.α.	56	51	191	δ.α.	δ.α.	δ.α.
Sr		466	1945	305	280	700	492	422	361
Zr		21	93	δ.α.	18	28	24	38	17
Sb		527	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	574	δ.α.

% к.р.	Na ₂ O	18,71±0,03	17,4±0,2	21,1±0,1	18,8±0,3	13,42±0,02	22,8±0,9	18,2±0,5	23,50±0,2	
	MgO	4,41±0,01	3,9±0,1	4,6±0,1	3,4±0,1	0,552±0,004	5,7±0,3	3,26±0,06	7,00±0,06	
	Al ₂ O ₃	1,43±0,01	1,06±0,07	0,93±0,03	1,3±0,1	3,042±0,008	1,5±0,2	0,75±0,02	0,92±0,04	
	SiO ₂	66,58±0,06	71,3±0,6	66,5±0,5	65,6±0,2	71,13±0,08	65±1	70,27±0,7	62,73±0,2	
	P ₂ O ₅	δ.α.	δ.α.	δ.α.	0,7±0,2	0,363±0,008	0,6±0,1	δ.α.	δ.α.	
	SO ₃	0,59±0,03	0,63±0,04	0,40±0,03	0,8±0,1	0,89±0,01	0,74±0,07	0,57±0,04	0,39±0,06	
	Cl	0,78±0,02	0,57±0,06	0,75±0,02	0,94±0,06	1,215±0,008	0,82±0,09	0,633±0,003	0,62±0,03	
	K ₂ O	2,09±0,01	0,94±0,04	1,71±0,05	2,24±0,03	9,02±0,02	2,3±0,1	1,13±0,04	0,94±0,03	
	CaO	4,90±0,01	4,0±0,1	3,71±0,07	5,2±0,2	δ.α.	δ.α.	4,95±0,2	3,25±0,03	
	Fe ₂ O ₃	0,55±0,02	0,20±0,04	0,29±0,03	0,68±0,2	0,552±0,005	0,36±0,03	0,23±0,03	0,26±0,03	
	CoO	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	0,10±0,01	δ.α.	0,10±0,01	
	CuO	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	0,09±0,03	δ.α.	0,28±0,04	
	ppm	Mn	1447	δ.α.	δ.α.	8150	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.
		Zn	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	94	δ.α.	δ.α.
Rb		δ.α.	δ.α.	δ.α.	43	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	
Sr		281	253	653	655	424	384	266	δ.α.	
Zr		17	12	35	51	29	17	δ.α.	δ.α.	
Sb		1981	1195	2667	δ.α.	δ.α.	δ.α.	1195	δ.α.	
Pb		δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	1182	89	δ.α.	δ.α.	

udd

ppm	% k.p.									
	R.17	R.18	R.19	R.20	R.21	R.22	R.23	R.24		
Na ₂ O	16,9±0,2	20,4±0,3	15,3±0,2	17,2±0,2	19,1±0,4	18,4±0,2	16,9±0,3	19,9±0,7		
MgO	3,01±0,03	4,9±0,1	2,6±0,1	3,63±0,08	4,72±0,09	2,89±0,09	2,62±0,04	5,0±0,2		
Al ₂ O ₃	0,84±0,02	1,21±0,03	1,06±0,03	1,15±0,06	0,76±0,01	1,0±0,1	0,79±0,07	0,91±0,07		
SiO ₂	69,7±0,3	65,2±0,3	72,9±0,5	70,5±0,3	67,8±0,5	68,6±0,5	70,6±0,2	64,0±0,3		
SO ₃	0,51±0,02	0,48±0,04	0,71±0,02	0,52±0,06	0,45±0,04	0,88±0,09	0,39±0,04	0,58±0,05		
Cl	0,69±0,01	0,83±0,01	0,91±0,03	0,76±0,01	0,83±0,02	0,90±0,01	1,15±0,04	0,82±0,06		
K ₂ O	1,32±0,02	1,70±0,07	1,09±0,04	1,10±0,03	1,38±0,04	1,85±0,05	1,48±0,06	2,4±0,1		
CaO	5,9±0,1	4,3±0,1	5,32±0,07	4,79±0,09	4,63±0,02	4,9±0,2	5,98±0,01	5,9±0,3		
MnO	0,68±0,02	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.		
Fe ₂ O ₃	0,46±0,01	0,45±0,03	0,43±0,08	0,38±0,03	0,31±0,03	0,58±0,01	0,49±0,07	0,42±0,03		
CoO	δ.α.	0,11±0,04	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.		
CuO	δ.α.	0,49±0,04	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.		
Mn	7311	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	191		
Sr	552	290	425	335	333	360	382	1358		
Zr	27	15	11	18	12	16	21	31		
Sb	δ.α.	δ.α.	δ.α.	2067	1912	3057	477	δ.α.		

Элемент	Средние значения содержания элементов в % к.п.									
	R.25	R.26	R.27	R.28	R.29	R.30	R.31	R.32		
Na ₂ O	18,8±0,1	16,3±0,1	10,4±0,3	21,3±0,4	18,6±0,2	15,7±0,4	15,9±0,3	19,0±0,7		
MgO	3,877±0,007	2,43±0,08	6,7±0,1	6,76±0,09	3,6±0,1	0,45±0,02	2,68±0,009	4,0±0,1		
Al ₂ O ₃	1,24±0,05	1,04±0,02	1,65±0,08	1,26±0,05	1,10±0,06	0,75±0,09	0,61±0,01	1,42±0,08		
SiO ₂	68,37±0,03	69,6±0,3	75,1±0,5	61,3±0,2	67,6±0,2	70,69±0,02	70,7±0,2	68,0±0,8		
SO ₃	0,43±0,04	0,48±0,06	0,44±0,05	0,9±0,2	0,520±0,003	0,40±0,02	0,49±0,02	0,54±0,05		
Cl	0,72±0,03	0,96±0,05	0,69±0,02	0,85±0,05	0,87±0,01	1,09±0,06	0,78±0,03	0,69±0,02		
K ₂ O	1,83±0,01	1,89±0,09	1,06±0,05	2,11±0,02	1,56±0,05	0,25±0,07	1,37±0,02	1,54±0,04		
CaO	4,30±0,02	6,67±0,03	3,5±0,2	4,82±0,08	5,9±0,1	9,7±0,2	7,2±0,1	4,42±0,09		
TiO ₂	δ.α.	δ.α.	δ.α.	0,15±0,06	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.		
MnO	0,42±0,01	0,62±0,06	0,49±0,06	0,24±0,01	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.		
Fe ₂ O ₃	δ.α.	δ.α.	δ.α.	0,31±0,05	0,29±0,01	1,0±0,1	0,37±0,02	0,38±0,04		
Mn	δ.α.	δ.α.	δ.α.	3292	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.		
Zn	δ.α.	δ.α.	101	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.		
Sr	242	711	324	403	336	451	397	265		
Zr	21	38	22	17	13	112	δ.α.	18		
Sb	2909	δ.α.	327	408	δ.α.	δ.α.	1495	1939		
Pb	δ.α.	δ.α.	82	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.		

% k.p.	Na ₂ O	18±1	16,9±0,7	21,37±0,09	14,9±0,2	17,8±0,2	20,9±0,1	16,0±0,4	16,4±0,3
	MgO	2,62±0,03	0,88±0,03	6,18±0,03	4,0±0,2	4,92±0,08	0,63±0,01	2,75±0,09	4,8±0,3
	Al ₂ O ₃	0,73±0,03	3,09±0,04	0,67±0,07	1,20±0,07	1,01±0,05	0,87±0,01	1,15±0,03	1,1±0,1
	SiO ₂	70,6±0,8	68,5±0,3	64,91±0,07	70,87±0,07	69,2±0,2	70,38±0,05	69,2±0,3	68,9±0,4
	SO ₃	0,7±0,1	1,0±0,1	0,52±0,01	0,9±0,1	0,57±0,06	0,39±0,02	0,51±0,04	0,9±0,3
	Cl	0,98±0,05	0,98±0,05	0,56±0,02	0,98±0,03	0,73±0,01	0,85±0,01	0,89±0,02	0,83±0,09
	K ₂ O	1,03±0,01	1,13±0,04	1,60±0,02	1,86±0,06	1,58±0,03	0,14±0,00	1,35±0,03	1,81±0,09
	CaO	5,3±0,1	6,3±0,1	3,89±0,06	4,5±0,1	3,89±0,03	5,56±0,10	7,62±0,02	4,47±0,08
	MnO	δ.α.	0,80±0,09	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.
	Fe ₂ O ₃	0,47±0,07	0,80±0,04	0,29±0,01	0,67±0,09	0,31±0,03	0,318±0,005	0,55±0,04	0,8±0,1
p.p.d	Mn	δ.α.	8408	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.
	Rb	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.
	Sr	518	1142	348	425	425	211	497	496
	Zr	31	52	13	22	22	47	23	24
	Sb	1986	2634	677	2523	2523	δ.α.	846	2677
	Pb	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.

p.p.m	% k.g.									
	R.41	R.42	R.43	R.44	R.45	R.46	R.47	R.48		
Na ₂ O	19,1±0,3	16,6±0,4	18,7±0,2	16,5±0,3	17,3±0,2	20,8±0,4	19,6±0,1	19,4±0,3		
MgO	4,9±0,2	3,7±0,2	0,85±0,02	3,86±0,08	4,47±0,03	4,4±0,1	3,38±0,06	2,50±0,03		
Al ₂ O ₃	1,1±0,1	1,09±0,06	0,67±0,02	1,00±0,07	0,88±0,04	1,39±0,02	0,66±0,08	0,51±0,08		
SiO ₂	57,7±0,1	67,0±0,3	71,54±0,07	69,9±0,3	67,23±0,07	66,6±0,3	68,6±0,1	70,8±0,1		
P ₂ O ₅	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	0,12±0,06	δ.α.	δ.α.		
SO ₃	0,9±0,1	1,3±0,1	0,62±0,04	0,57±0,04	0,50±0,03	0,45±0,02	0,55±0,06	0,52±0,07		
Cl	1,92±0,06	1,14±0,05	0,25±0,02	1,01±0,04	0,72±0,02	0,63±0,02	0,71±0,01	0,86±0,03		
K ₂ O	4,5±0,1	1,65±0,04	0,84±0,03	1,75±0,02	2,51±0,04	1,37±0,04	1,10±0,01	0,82±0,02		
CaO	8,92±0,05	6,93±0,04	6,2±0,1	4,79±0,07	5,94±0,07	3,9±0,1	5,19±0,02	4,15±0,04		
TiO ₂	δ.α.	δ.α.	δ.α.	0,16±0,05	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.		
Fe ₂ O ₃	1,04±0,07	0,67±0,05	0,27±0,04	0,47±0,03	0,42±0,01	0,34±0,02	0,22±0,01	0,37±0,05		
Mn	544	968	128	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.		
Sr	454	484	148	524	364	270	363	473		
Zr	27	19		26	14	22	11	20		
Sb	4910	1998	6498	1854	1290	2063	1048	1604		
Pb	δ.α.	δ.α.	12	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.		

	R.49	R.50	R.51	R.52	R.53	R.54	R.55	R.56
% k.β.	Na ₂ O MgO Al ₂ O ₃ SiO ₂ SO ₃ Cl K ₂ O CaO TiO ₂ MnO Fe ₂ O ₃	20,70±0,10 4,35±0,04 1,31±0,01 66,41±0,10 0,55±0,01 0,67±0,01 1,48±0,02 4,16±0,03 δ.α. δ.α.	19,5±0,2 3,9±0,1 1,06±0,03 66,4±0,2 0,51±0,08 0,77±0,05 1,19±0,03 6,36±0,02 δ.α. δ.α.	20,2±0,8 5,8±0,2 1,19±0,10 68,1±0,7 0,34±0,04 0,66±0,05 0,68±0,01 2,7±0,2 δ.α. 0,05±0,02	18,5±0,2 4,9±0,2 1,0±0,1 66,0±0,2 0,7±0,1 0,80±0,07 2,32±0,08 5,28±0,07 δ.α. δ.α.	23,2±0,4 6,10±0,07 1,37±0,09 63,8±0,4 0,6±0,2 0,52±0,05 1,23±0,04 2,9±0,2 δ.α. δ.α.	18,0±0,1 2,84±0,09 0,97±0,04 69,3±0,1 0,78±0,05 0,72±0,02 1,26±0,03 5,66±0,03 δ.α. δ.α.	19,1±0,4 4,7±0,1 0,9±0,1 66,8±0,6 0,56±0,05 0,65±0,04 1,52±0,05 5,19±0,07 0,12±0,06 0,17±0,02 0,32±0,02
p.p.m	Mn Sr Zr Sb Pb	δ.α. 414 18 1310 δ.α.	δ.α. 296 26 1840 δ.α.	156 314 1298 δ.α.	558 358 12 1279 δ.α.	396 316 19 828 δ.α.	δ.α. 322 18 1550 δ.α.	985 334 13 2364 δ.α.

	% к.р.									
	R.65	R.66	R.67	R.68	R.69	R.70	R.71	R.72		
Na₂O	22,3±0,2	16,3±0,3	18,2±0,1	17,60±0,04	20,6±0,4	14,6±0,2	18,4±0,6	14±1		
MgO	4,34±0,01	3,1±0,2	2,69±0,02	5,35±0,02	6,01±0,09	1,55±0,03	4,0±0,2	2,4±0,2		
Al₂O₃	1,55±0,04	1,9±0,1	1,31±0,04	1,955±0,005	0,9±0,3	0,68±0,02	0,92±0,03	1,12±0,09		
SiO₂	64,22±0,07	68,2±0,3	69,5±0,1	66,8±0,2	62,1±0,4	72,2±0,3	68,2±0,2	72±2		
SO₃	0,54±0,01	0,7±0,2	0,43±0,02	0,67±0,02	0,8±0,1	0,69±0,04	0,48±0,08	0,49±0,02		
Cl	0,68±0,00	1,08±0,04	0,55±0,03	0,58±0,01	0,90±0,06	0,71±0,02	1,01±0,03	1,23±0,06		
K₂O	1,73±0,03	1,79±0,09	1,10±0,03	1,945±0,005	2,7±0,1	1,02±0,00	1,57±0,02	1,79±0,10		
CaO	4,23±0,04	6,2±0,2	5,83±0,07	5,47±0,02	5,7±0,1	5,91±0,04	5,0±0,4	6,9±0,5		
TiO₂	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	0,15±0,01	δ.α.	δ.α.		
Fe₂O₃	0,37±0,01	0,68±0,09	0,40±0,01	δ.α.	0,34±0,09	0,62±0,06	0,40±0,04	0,9±0,1		
CoO	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	0,24±0,02	δ.α.	δ.α.		
CuO	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	1,7±0,1	δ.α.	δ.α.		
Zn	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	36	281	δ.α.	δ.α.		
Br	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	36	δ.α.	δ.α.		
Rb	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.		
Sr	221	774	205	285	426	913	550	482		
Zr	13	42	13	13	δ.α.	59	41	23		
Sb	1802	δ.α.	2992	2460	δ.α.	δ.α.	δ.α.	3070		
Pb	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	566	δ.α.	δ.α.		

% к.п.	Na ₂ O	17,7±0,2	18,87±0,09	21,1±0,2	20,4±0,2	20,15±0,04	18±2	17,2±0,4	20,6±0,2
	MgO	3,91±0,06	1,90±0,06	2,84±0,01	6,92±0,07	3,20±0,03	3,00±0,29	3,22±0,06	5,14±0,07
	Al ₂ O ₃	1,53±0,03	0,84±0,06	0,72±0,03	0,93±0,07	0,76±0,02	0,95±0,03	0,98±0,02	0,84±0,01
	SiO ₂	68,2±0,2	71,24±0,05	67,8±0,1	63,94±0,07	68,51±0,08	71±3	70,0±0,1	65,8±0,1
	SO ₃	0,62±0,06	0,51±0,03	0,42±0,04	0,44±0,02	0,47±0,01	0,51±0,09	0,57±0,03	0,39±0,02
	Cl	0,82±0,04	1,06±0,04	1,26±0,02	0,75±0,03	0,92±0,02	0,83±0,05	0,89±0,03	0,75±0,01
	K ₂ O	1,74±0,03	0,65±0,03	0,66±0,01	1,45±0,02	0,96±0,01	0,92±0,07	0,90±0,04	1,22±0,03
	CaO	4,99±0,06	4,65±0,02	4,97±0,05	4,92±0,08	4,75±0,01	4,7±0,3	6,0±0,2	5,09±0,05
	Fe ₂ O ₃	0,45±0,01	0,29±0,01	0,25±0,00	0,29±0,05	0,28±0,03	0,30±0,02	0,33±0,05	0,26±0,01
	ppm	Mn	δ.α.	δ.α.	550	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.
Sr		279	488	360	293	255	439	331	315
Zr		15	15	12	δ.α.	15	12	δ.α.	δ.α.
Sb		2138	δ.α.	δ.α.	1658	1028	δ.α.	2646	1830
Pb		δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.

% к.р.	Na ₂ O	20,3±0,5	13,1±0,1	19,6±0,4	20,03±0,09	20,1±0,1	20,2±0,1
	MgO	3,6±0,1	2,57±0,03	0,86±0,01	2,30±0,01	3,93±0,07	0,85±0,03
	Al ₂ O ₃	0,96±0,01	0,80±0,02	0,52±0,03	0,89±0,02	0,88±0,02	1,16±0,02
	SiO ₂	67,9±0,4	69,0±0,1	72,4±0,3	69,35±0,08	67,35±0,02	70,26±0,08
	SO ₃	0,65±0,06	0,44±0,09	0,73±0,02	0,64±0,02	0,49±0,06	0,58±0,02
	Cl	0,64±0,01	0,93±0,03	0,66±0,02	0,61±0,05	0,84±0,01	0,93±0,01
	K ₂ O	0,79±0,03	1,66±0,03	0,29±0,01	0,77±0,01	1,39±0,00	0,15±0,01
	CaO	4,8±0,2	9,88±0,02	4,8±0,1	4,76±0,07	4,78±0,07	4,16±0,01
	TiO ₂	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	0,11±0,02
	MnO	δ.α.	0,73±0,08	0,15±0,03	0,23±0,01	δ.α.	0,99±0,01
	Fe ₂ O ₃	0,33±0,01	0,85±0,06	δ.α.	0,41±0,01	0,26±0,03	0,33±0,03
	CuO	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	0,27±0,02
	ppm	Mn	δ.α.	9878	δ.α.	2195	δ.α.
Zn		δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	29
Sr		286	1711	397	419	403	213
Zr		δ.α.	40	17	24	12	60
Sb		2238	3753	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.
Pb		δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.

2. Ψήφοι Θήβας

[illegible]

% κ.β.	Na ₂ O	18.10±0.06	15.89±0.07	18.7±0.8	17.3±0.1	15.1±0.6	21.9±0.4	15.9±0.2	18.0±0.2
	MgO	0.63±0.04	0.543±0.005	0.52±0.06	0.57±0.05	0.68±0.05	0.77±0.02	0.66±0.06	0.9±0.2
	Al ₂ O ₃	2.98±0.03	2.56±0.03	2.9±0.1	2.5±0.1	3.7±0.9	1.09±0.02	1.07±0.09	1.19±0.07
	SiO ₂	69.8±0.2	70.1±0.3	70.3±0.7	69.3±0.2	70.3±0.3	67.1±0.2	70.4±0.6	68.9±0.3
	SO ₃	0.49±0.02	0.53±0.03	0.44±0.03	0.32±0.01	0.32±0.01	0.58±0.05	0.63±0.02	0.56±0.02
	Cl	1.245±0.009	1.07±0.03	1.06±0.03	1.51±0.02	1.48±0.04	1.08±0.02	1.40±0.05	1.17±0.03
	K ₂ O	0.39±0.05	0.50±0.04	0.40±0.04	0.47±0.04	0.393±0.007	0.14±0.01	0.19±0.01	0.173±0.007
	CaO	5.54±0.05	7.84±0.08	5.5±0.4	7.5±0.1	7.7±0.2	5.84±0.10	7.8±0.4	7.1±0.3
	TiO ₂	0.27±0.02	0.32±0.02	δ.α.	0.16±0.04	δ.α.	0.16±0.02	δ.α.	δ.α.
	MnO	0.14±0.01	0.20±0.01	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.
ppm	Fe ₂ O ₃	0.51±0.05	0.65±0.02	0.25±0.02	0.37±0.03	0.360±0.006	1.43±0.02	1.92±0.08	2.10±0.05
	CoO	0.21±0.04	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.
	CuO	0.12±0.04	0.13±0.02	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.
	Ti	δ.α.	321	δ.α.	402	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.
	Mn	δ.α.	126	δ.α.	202	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.
	Zn	80	187	δ.α.	71	28	δ.α.	δ.α.	δ.α.
	Br	δ.α.	11	δ.α.	25	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.
	Rb	δ.α.	δ.α.	δ.α.	12	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.
	Sr	501	748	576	965	627	476	52	δ.α.
	Zr	36	δ.α.	43	117	159	503	41	δ.α.
Sn	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	
Sb	2310	598	2623	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.
Pb	14	219	δ.α.	δ.α.	δ.α.	189	δ.α.	δ.α.	δ.α.
As	19	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.

% k.p.	Na ₂ O	15.5±0.3	15.5±0.4	19.1±0.3	16.9±0.6	14.2±0.4	14.2±0.5	13.69±0.04	19.7±0.3
	MgO	0.47±0.04	0.60±0.08	0.68±0.02	0.81±0.01	0.68±0.03	0.8±0.2	0.62±0.02	0.84±0.04
	Al ₂ O ₃	2.99±0.09	3.4±0.3	3.0±0.1	3.27±0.03	2.75±0.03	2.6±0.2	2.76±0.05	2.8±0.2
	SiO ₂	70.6±0.2	70.92±0.06	69.8±0.2	70.3±0.2	70.8±0.5	71.2±0.6	73.43±0.07	69.2±0.1
	SO ₃	0.35±0.03	0.28±0.07	0.49±0.02	0.63±0.01	0.76±0.05	0.86±0.06	0.76±0.02	0.43±0.05
	Cl	1.24±0.01	1.22±0.06	1.13±0.01	1.07±0.05	1.11±0.05	1.34±0.09	1.10±0.04	1.15±0.07
	K ₂ O	0.93±0.09	0.78±0.05	0.23±0.01	0.65±0.01	0.84±0.04	0.52±0.07	0.52±0.02	0.52±0.05
	CaO	7.25±0.09	6.7±0.3	5.1±0.2	5.2±0.2	7.24±0.07	6.6±0.3	6.68±0.06	5.0±0.2
	TiO ₂	0.16±0.02	0.13±0.05	0.06±0.06	0.07±0.03	0.05±0.03	0.11±0.01	δ.α.	δ.α.
	MnO	0.06±0.02	0.04±0.03	0.03±0.03	0.03±0.03	0.04±0.01	0.05±0.02	δ.α.	δ.α.
	Fe ₂ O ₃	0.34±0.03	0.26±0.04	0.32±0.08	0.37±0.03	1.1±0.2	0.38±0.04	0.46±0.02	0.38±0.02
	CoO	0.052±0.009	0.05±0.02	0.06±0.04	0.05±0.03	0.060±0.006	0.04±0.02	δ.α.	δ.α.
	CuO	0.040±0.010	0.04±0.02	0.05±0.03	0.72±0.07	0.32±0.08	1.16±0.07	δ.α.	δ.α.
ppm	Ti	241	δ.α.	δ.α.	73	28	67	δ.α.	δ.α.
	Mn	103	δ.α.	δ.α.	26	18	64	δ.α.	δ.α.
	Zn	36	17	66	78	50	62	δ.α.	δ.α.
	Br	δ.α.	21	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.
	Rb	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.
	Sr	474	807	558	326	253	347	560	δ.α.
	Zr	δ.α.	50	38	δ.α.	22	28	81	δ.α.
	Sn	δ.α.	δ.α.	δ.α.	245	δ.α.	379	δ.α.	δ.α.
	Sb	2304	4406	1876	588	3190	4944	6410	δ.α.
	Pb	δ.α.	δ.α.	701	954	549	313	87	δ.α.
	As	δ.α.	26	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.

	T25					T26					T27					T28					T29				
	T25					T26					T27					T28					T29				
% k.ß	Na ₂ O	19.9±0.3				19.9±0.3					20.1±0.2					14.4±0.4					17.7±0.5				
	MgO	0.84±0.01				0.80±0.04					0.92±0.06					0.72±0.09					0.70±0.03				
	Al ₂ O ₃	3.07±0.03				2.1±0.1					2.1±0.2					3.6±0.3					1.82±0.05				
	SiO ₂	67.8±0.1				68.1±0.1					68.7±0.2					71.4±0.2					71.0±0.3				
	SO ₃	0.79±0.08				0.43±0.06					0.48±0.03					0.70±0.02					0.39±0.03				
	Cl	0.63±0.04				1.46±0.05					1.19±0.03					0.94±0.02					1.41±0.04				
	K ₂ O	0.73±0.06				0.29±0.06					0.237±0.009					0.51±0.02					0.290±0.006				
	CaO	5.0±0.2				4.66±0.08					4.4±0.1					7.3±0.2					4.7±0.2				
	TiO ₂	0.18±0.05				0.17±0.02					0.14±0.02					δ.α.					0.107±0.007				
	MnO	0.17±0.04				0.393±0.009					0.26±0.02					δ.α.					0.19±0.02				
	Fe ₂ O ₃	0.68±0.06				0.93±0.01					0.89±0.02					0.39±0.01					1.03±0.03				
	CoO	0.09±0.03				0.17±0.01					0.12±0.03					δ.α.					0.18±0.03				
	CuO	0.14±0.03				0.60±0.03					0.47±0.02					δ.α.					0.43±0.02				
uudd	Ti	440				439					469					δ.α.					453				
	Mn	1850				3531					1877					δ.α.					1163				
	Zn	106				192					121					28					168				
	Br	14				δ.α.					δ.α.					δ.α.					δ.α.				
	Rb	16				δ.α.					δ.α.					δ.α.					δ.α.				
	Sr	601				178					170					625					224				
	Zr	δ.α.				203					165					56					116				
	Sn	δ.α.				δ.α.					δ.α.					δ.α.					δ.α.				
	Sb	δ.α.				233					401					δ.α.					601				
	Pb	33				353					242					276					321				
	As	δ.α.				δ.α.					δ.α.					41					δ.α.				

3. Εφραλώματα Ρόδου

Χημική ανάλυση του κυρίως σώματος (σε τομή)

	E.1	E.2	E.3	E.4	E.5	E.6	E.7	E.8	E.9	E.10
% κ.β.										
Na ₂ O	3.9±0.2	1.5±0.3	0.12±0.01	0.07±0.01	0.54±0.09	3.5±0.2	1.3±0.2	2.9±0.2	2.1±0.2	0.14±0.09
MgO	2.2±0.2	0.49±0.08	0.31±0.03	0.19±0.04	0.30±0.08	1.00±0.01	6.4±0.3	0.8±0.1	0.47±0.07	0.27±0.01
Al ₂ O ₃	5.8±0.4	2.5±0.5	0.70±0.06	0.70±0.04	1.7±0.2	4.0±0.4	13.2±0.2	3.4±0.3	3.2±0.3	1.1±0.1
SiO ₂	78±1	92±1	95.67±0.03	95.4±0.2	94.5±0.5	87.5±0.5	48.1±0.5	87.0±0.7	90.0±0.4	94.1±0.4
P ₂ O ₅	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	0.49±0.04	δ.α.	δ.α.	δ.α.
SO ₃	δ.α.	δ.α.	0.35±0.03	0.46±0.02	δ.α.	δ.α.	0.4±0.1	0.38±0.07	0.15±0.01	0.28±0.02
Cl	0.20±0.02	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	0.08±0.02	δ.α.	δ.α.	0.14±0.02	±
K ₂ O	1.10±0.08	0.8±0.2	0.12±0.01	0.257±0.009	0.38±0.03	0.54±0.03	1.0±0.1	0.81±0.07	1.1±0.2	0.14±0.02
CaO	2.8±0.1	1.3±0.2	0.39±0.02	0.44±0.02	0.9±1	1.39±0.02	19.4±0.7	2.2±0.8	1.08±0.09	0.67±0.03
TiO ₂	0.6±0.1	0.16±0.03	0.273±0.009	0.23±0.02	±	0.19±0.01	0.78±0.01	0.32±0.04	δ.α.	0.35±0.03
MnO	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	0.11±0.02	0.28±0.02	δ.α.	δ.α.	δ.α.
Fe ₂ O ₃	5.7±0.2	1.6±0.2	1.64±0.07	1.9±0.1	1.5±0.3	1.6±0.1	8.5±0.4	2.27±0.07	2.0±0.3	1.3±0.2
CuO	δ.α.	δ.α.	0.42±0.06	0.40±0.07	±	0.17±0.01	0.17±0.05	δ.α.	δ.α.	1.9±0.5
ZrO ₂	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	0.2±0.1	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.

Χημική ανάλυση του εφυσάλωματος (σε τομή)

	E.1	E.2	E.3	E.4	E.5*	E.6	E.7	E.8	E.9	E.10*
% κ.β.										
Na ₂ O	1.6±0.6	2.9±0.2	0.03±0.01	0.06±0.02		1.7±0.2	2.4±0.2	4.4±0.6	4.0±0.8	
MgO	3.4±0.2	0.30±0.03	0.46±0.08	0.9±0.6		1.3±0.2	7.1±0.1	0.65±0.05	0.423±0.009	
Al ₂ O ₃	7±1	2.0±0.4	0.745±0.005	0.8±0.1		4.6±0.5	11.9±0.5	7±2	4±1	
SiO ₂	70±4	90±1	94.2±0.9	88±4		83±2	51±2	78±2	87±3	
P ₂ O ₅	δ.α.	δ.α.	δ.α.	0.25±0.09		δ.α.	0.46±0.02	δ.α.	δ.α.	
SO ₃	0.37±0.09	δ.α.	0.40±0.09	0.43±0.08		δ.α.	0.46±0.08	0.39±0.05	δ.α.	
Cl	0.38±0.07	0.29±0.03	δ.α.	δ.α.		0.11±0.01	δ.α.	0.19±0.03	0.30±0.03	
K ₂ O	1.4±0.4	1.1±0.2	0.13±0.02	0.4±0.1		0.69±0.03	1.2±0.2	2.7±0.8	1.3±0.3	
CaO	10±4	1.2±0.1	2±1	4±2		2.9±0.4	16±1	1.5±0.1	0.96±0.06	
TiO ₂	0.5±0.1	0.22±0.02	0.165±0.005	0.4±0.1		0.38±0.06	0.8±0.1	0.43±0.04	0.21±0.05	
Cr ₂ O ₃	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.		0.07±0.01	0.13±0.06	δ.α.	δ.α.	
MnO	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.		0.12±0.05	δ.α.	δ.α.	δ.α.	
Fe ₂ O ₃	4±1	1.6±0.6	1.0±0.2	3.8±0.8		4±1	7.5±0.3	3.3±0.7	1.5±0.4	
CuO	0.59±0.05	0.7±0.3	1.40±0.04	0.9±0.3		1.2±0.3	0.2±0.1	1.2±0.4	0.33±0.07	
As ₂ O ₃	δ.α.	δ.α.	δ.α.	0.72±0.05		δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	

Χημική ανάλυση του εφυσάλωματος (εξωτερική επιφάνεια)

	E.1	E.2	E.3	E.4	E.5	E.6	E.7	E.8	E.9	E.10*
% κ.β.										
Na₂O	0.05±0.01	0.41±0.02	δ.α.	δ.α.	0.41±0.06	1.1±0.6	0.9±0.1	7.2±0.2	1.3±0.3	
MgO	4.6±0.2	1.6±0.2	6.9±0.9	1.7±0.4	1.6±0.1	2.5±0.4	7±1	1.3±0.1	1.7±0.5	
Al₂O₃	5.0±0.5	3.0±0.3	6.6±0.6	1.5±0.2	4.0±0.4	4.0±0.4	6.1±0.8	3.5±0.1	6.7±1.0	
SiO₂	58±2	86±2	53±1	89±2	81.8±0.7	79±3	58.8±0.9	76±1	73±5	
P₂O₅	δ.α.	δ.α.	1.04±0.03	0.2±0.1	δ.α.	δ.α.	0.40±0.10	δ.α.	δ.α.	
SO₃	0.6±0.2	0.7±0.1	0.7±0.2	0.43±0.05	1.2±0.1	0.6±0.1	1.3±0.2	0.90±0.08	0.8±0.2	
Cl	0.39±0.07	0.31±0.03	0.36±0.03	0.12±0.01	0.59±0.08	0.4±0.1	0.20±0.05	0.54±0.08	0.8±0.2	
K₂O	1.15±0.04	0.56±0.05	0.95±0.06	0.63±0.08	1.75±0.04	1.1±0.2	0.82±0.08	1.48±0.04	1.2±0.3	
CaO	21±4	3.3±0.8	18±1	2±1	3.5±0.2	6±2	15.0±0.8	2.3±0.1	10±4	
TiO₂	1.6±0.6	0.30±0.06	0.362±0.008	0.30±0.06	0.37±0.04	0.33±0.10	0.68±0.04	0.26±0.02	0.30±0.07	
MnO	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	1.8±0.3	δ.α.	
Fe₂O₃	5±1	2.5±0.4	4.3±0.1	2.4±0.2	2.3±0.2	3.4±0.4	3.9±0.3	2.5±0.3	2.4±0.6	
CuO	4±1	1.5±0.3	8±2	1.1±0.2	2.5±0.2	2.0±0.5	1.5±0.2	2.4±0.2	1.1±0.1	
PbO	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	3.3±0.4	δ.α.	δ.α.	

*Το δείγμα Ε.5 δεν είχε εφυσάλωμα σε τομή ενώ το Ε.10 δεν είχε καθόλου.

4. Δείγματα από άλλες περιοχές

Βυζαντινή ύαλος Freestone et al 2002

Ρωμαϊκή και Μεσαιωνική ύαλος
Silvestri et al 2005

Δείγμα	CaO (% κ.β.)	Sr (ppm)	Δείγμα	CaO (% κ.β.)	Sr (ppm)
Frees.1	7.4	398	Silv.1	4.81	278
Frees.2	8.4	462	Silv.2	4.79	283
Frees.3	9.2	452	Silv.3	4.95	297
Frees.4	6.3	359	Silv.4	4.16	298
Frees.5	11	343	Silv.5	4.36	253
Frees.6	11	521	Silv.6	7.11	384
Frees.7	7.6	382	Silv.7	7.68	402
Frees.8	8.8	455	Silv.8	8.72	459
Frees.9	8.7	423	Silv.9	7.5	360
Frees.10	8.5	348	Silv.10	6.67	380
Frees.11	7.9	376	Silv.11	6.48	398
Frees.12	7.4	358	Silv.12	6.39	393
Frees.13	8.7	413	Silv.13	7.32	475
Frees.14	5.9	492	Silv.14	7.95	450
Frees.15	5.2	409	Silv.15	6.01	390
			Silv.16	7.53	465
			Silv.17	6.6	408
			Silv.18	6.1	389
			Silv.19	6.13	375
			Silv.20	5.54	329
			Silv.21	7.58	442
			Silv.22	7.82	442
			Silv.23	7.79	515
			Silv.24	7.95	433
			Silv.25	6.37	446
			Silv.26	6.57	561
			Silv.27	7.1	315
			Silv.28	6.61	441
			Silv.29	4.65	342
			Silv.30	7.89	476
			Silv.31	6.82	487
			Silv.32	10.18	541
			Silv.33	14.66	84
			Silv.34	10.46	604
			Silv.35	10.56	625
			Silv.36	10.62	386
			Silv.37	7.17	425
			Silv.38	10.29	560

Ύαλος Σαλανιδών, Mirti et al 2009

Ρωμαϊκή ύαλος, Jackson et al 2009

Δείγμα	Cao (% κ.β.)	Sr (ppm)	Δείγμα	Cao (% κ.β.)	Sr (ppm)
Mirti1	6.69	383	Jack.1	6.79	441
Mirti2	8.23	610	Jack.2	5.77	338
Mirti3	6.74	462	Jack.3	8.27	471
Mirti4	6.3	351	Jack.4	6.04	378
Mirti5	6.04	372	Jack.5	7.26	426
Mirti6	8.43	465	Jack.6	5.22	356
Mirti7	6.77	417	Jack.7	6.47	400
Mirti8	8	550	Jack.8	6.47	396
Mirti9	7.86	590	Jack.9	6.92	445
Mirti10	8.24	370	Jack.10	7.34	423
Mirti11	9.35	630	Jack.11	5.77	387
Mirti12	5.34	590	Jack.12	4.03	277
Mirti13	6.43	414	Jack.13	5.8	332
Mirti14	6.98	350	Jack.14	5.25	365
Mirti15	6.7	354	Jack.15	6.65	417
Mirti16	5.21	263	Jack.16	7.03	464
Mirti17	7.82	510	Jack.17	5.24	352
Mirti18	6.86	410	Jack.18	3.98	275
Mirti19	5.87	325	Jack.19	6.39	423
Mirti20	6.05	540	Jack.20	5.9	399
Mirti21	7.45	451	Jack.21	5.92	365
Mirti22	6.56	510	Jack.22	6.97	429
Mirti23	7.41	580	Jack.23	6.09	382
Mirti24	6.13	317	Jack.24	5.18	355
Mirti25	7.01	347	Jack.25	7.32	428
Mirti26	6.24	312	Jack.26	5.7	361
Mirti27	5.05	590	Jack.27	5.93	347
Mirti28	6.39	458	Jack.28	5.78	378
Mirti29	7	349	Jack.29	6.12	428
Mirti30	7.51	380	Jack.30	5.88	398
Mirti31	7.77	381	Jack.31	5.77	390
Mirti32	5.98	720	Jack.32	6.38	411
Mirti33	6.53	329	Jack.33	5.85	370
Mirti34	5.91	377	Jack.34	5.06	353
Mirti35	6.16	413	Jack.35	5.85	356
Mirti36	6.92	389	Jack.36	6.29	448
Mirti37	5.03	630	Jack.37	6.54	414
Mirti38	6.71	312	Jack.38	5.33	333
Mirti39	7.55	304	Jack.39	7.72	477
Mirti40	9.4	482	Jack.40	6.97	428
Mirti41	5.94	405	Jack.41	3.42	242
Mirti42	7.36	530	Jack.42	5.35	363

Μεσοποταμιακή ύαλος,
Shortland et al 2007

Αιγυπτιακή ύαλος,
Shortland et al 2007

Δείγμα	Sr (ppm)	Zr (ppm)	Δείγμα	Sr (ppm)	Zr (ppm)
Sh.1	380	5.03	Sh.26	710	41.7
Sh.2	450	3.84	Sh.27	863	22.5
Sh.3	324	9.6	Sh.28	470	24.3
Sh.4	419	5.74	Sh.29	535	20.2
Sh.5	536	4.55	Sh.30	1332	35
Sh.6	333	6.07	Sh.31	753	37.8
Sh.7	432	4.96	Sh.32	1229	38.1
Sh.8	374	8.36	Sh.33	420	59.1
Sh.9	420	8.82	Sh.34	411	40.8
Sh.10	430	6.35	Sh.35	447	38.9
Sh.11	297	4.25	Sh.36	371	35.9
Sh.12	443	7.55	Sh.37	661	15.5
Sh.13	339	11.2	Sh.38	667	13.8
Sh.14	327	10.3	Sh.39	877	35.5
Sh.15	413	4.32	Sh.40	659	79.6
Sh.16	469	13	Sh.41	474	46.9
Sh.17	488	7.01	Sh.42	594	26.9
Sh.18	315	3.73	Sh.43	764	47.3
Sh.19	415	6.97	Sh.44	504	50.5
Sh.20	418	14.9	Sh.45	474	73.2
Sh.21	356	2.5	Sh.46	725	39.5
Sh.22	361	6.88	Sh.47	734	41.7
Sh.23	287	8.76	Sh.48	573	34.7
Sh.24	524	5.53	Sh.49	692	43.5
Sh.25	618	6.35	Sh.50	349	37.5
			Sh.51	900	42.3
			Sh.52	261	73.5
			Sh.53	276	47.6
			Sh.54	255	51.4
			Sh.55	1253	42.5

Ρωμαϊκή ύαλος, Silvestri et al 2008

Δείγμα	Sr (ppm)	Zr (ppm)	Δείγμα	Sr (ppm)	Zr (ppm)	Δείγμα	Sr (ppm)	Zr (ppm)
Silv.1	292	46	Silv.37	326	43	Silv.72	465	43
Silv.2	353	49	Silv.38	289	38	Silv.73	478	46
Silv.3	289	44	Silv.39	359	48	Silv.74	465	43
Silv.4	334	51	Silv.40	268	45	Silv.75	320	45
Silv.5	291	42	Silv.41	383	59	Silv.76	312	50
Silv.6	280	41	Silv.42	270	45	Silv.77	450	53
Silv.7	376	40	Silv.43	314	49	Silv.78	488	47
Silv.8	261	42	Silv.44	319	48	Silv.79	389	60
Silv.9	267	46	Silv.45	290	43	Silv.80	375	57
Silv.10	425	131	Silv.46	297	40	Silv.81	446	95
Silv.11	258	44	Silv.47	319	51	Silv.82	574	52
Silv.12	361	50	Silv.48	372	59	Silv.83	427	103
Silv.13	426	49	Silv.49	305	47	Silv.84	329	50
Silv.14	262	43	Silv.50	269	51			
Silv.15	319	43	Silv.51	282	41			
Silv.16	293	39	Silv.52	270	45			
Silv.17	275	46	Silv.53	268	43			
Silv.18	291	51	Silv.54	254	45			
Silv.19	291	44	Silv.55	502	68			
Silv.20	263	43	Silv.56	398	58			
Silv.21	262	46	Silv.57	286	47			
Silv.22	397	56	Silv.58	300	44			
Silv.23	507	33	Silv.59	278	41			
Silv.24	276	49	Silv.60	284	47			
Silv.25	298	48	Silv.61	283	43			
Silv.26	265	44	Silv.62	297	42			
Silv.27	305	42	Silv.63	298	43			
Silv.28	317	40	Silv.64	253	41			
Silv.29	431	37	Silv.65	394	63			
Silv.30	388	58	Silv.66	518	43			
Silv.31	252	43	Silv.67	469	43			
Silv.32	285	43	Silv.68	401	55			
Silv.33	290	41	Silv.69	471	33			
Silv.34	358	46	Silv.70	485	47			
Silv.35	321	49	Silv.71	491	47			
Silv.36	279	43	Silv.72	438	94			

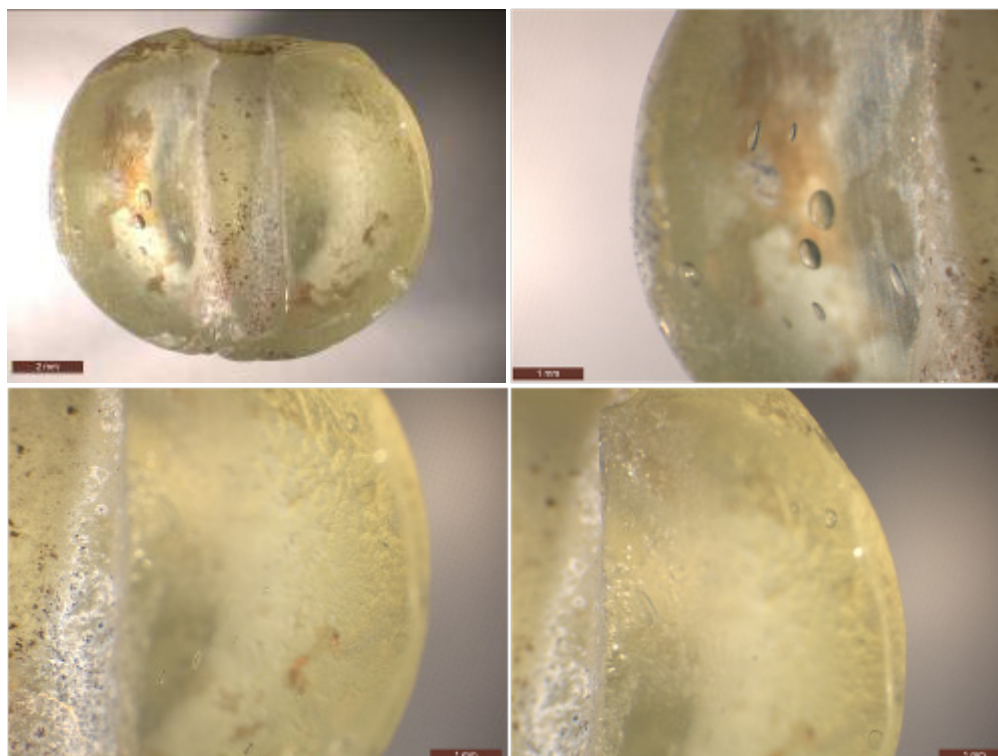
Υαλος της Μεσοποταμίας και της Εγγύς Ανατολής, Nimrud, 7^{ος} αι. π.Χ., Brill 1999

Δείγμα	SiO ₂ % κ.β.	Na ₂ O % κ.β.	CaO % κ.β.	K ₂ O % κ.β.	MgO % κ.β.	Al ₂ O ₃ % κ.β.
545	70.05	13.7	9.12	1.54	3.25	0.87
546	69.83	13.7	9.9	1.5	2.92	1.01
547	70.01	14	8.85	1.41	3.21	0.95
548	68.75	13	10	1.25	3.33	1.12
3254	68.89	16.5	7.69	1.11	2.3	0.5
3230	68.78	15.9	4.65	0.25	2.04	4.07
3231	61.02	15.4	2.97	0.87	5.91	6.06
3232	63.76	14.9	4.17	0.77	4.8	6.91
3233	58.65	15.4	3.82	0.74	4.32	6.72
3234	57.97	15.8	3.82	0.78	4.26	7.29
3235	67.21	15.3	6.19	1.35	2.83	0.56
3236	67.6	14.3	6.23	1.47	2.89	1.12
1121	63.58	13	7.36	0.8	1.84	0.72
3237	47.36	9.88	3.8	0.71	2.32	0.71
3239	51.32	12.8	2.49	0.89	1.27	1.15
3241	51.54	6.9	3.06	0.54	1.39	0.72
3243	42.73	9.13	5.06	2.21	3.57	1.28
3245	58.5	12.7	1.28	0.77	0.37	0.65
3246	52.84	7.76	1.78	0.62	1.11	0.69
3247	52.08	3.39	1.34	0.29	0.54	0.39
3248	51.72	3.18	1.34	0.28	0.54	0.39
3229	66.02	18.5	2.88	0.41	3.29	5.02

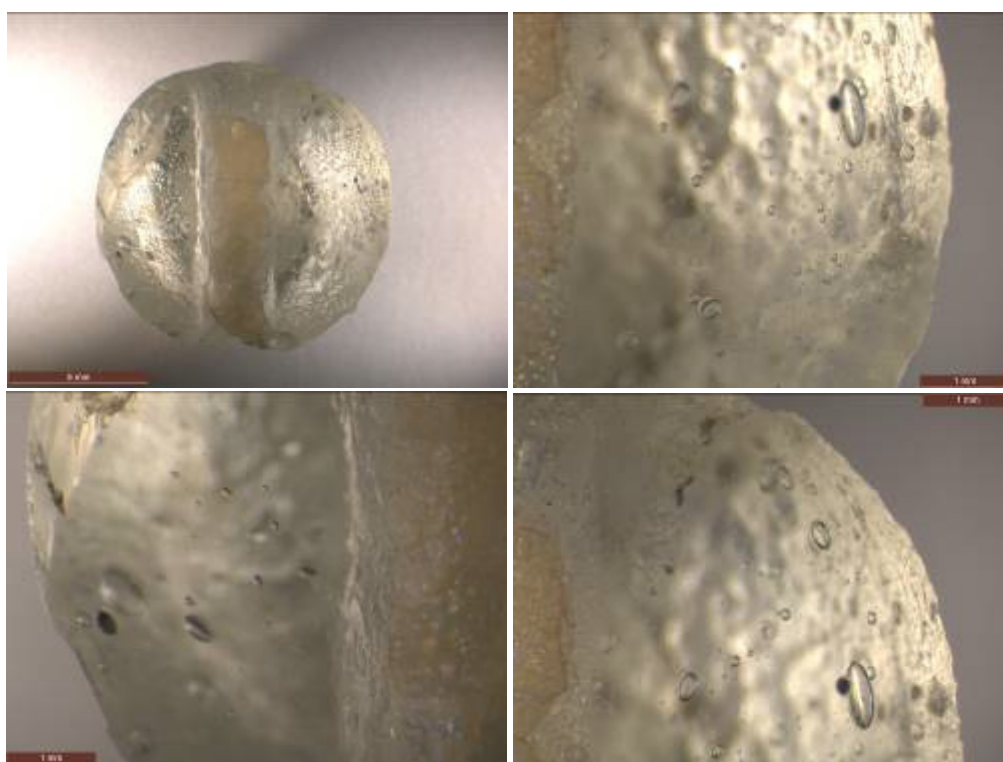
Ελληνιστική ύαλος, Ροδιακό υαλουργείο, ύστερος 3^{ος} – 2^{ος} αι. π.Χ., Brill 1999

Δείγμα	SiO ₂ %κ.β.	Na ₂ O %κ.β.	CaO %κ.β.	K ₂ O %κ.β.	MgO %κ.β.	Al ₂ O ₃ % κ.β.
3500	70.18	18.1	7.88	0.63	0.46	2.09
3501	75.4	14.9	6.52	0.48	0.37	1.5
3502	72.05	13.8	10.2	59	0.71	1.9
3508	67.57	17.7	8.86	1.78	1.4	1.85
3509	72.11	15	8.78	0.82	0.78	1.74
3511	70.99	12.9	8.36	1.26	0.84	2.23
3512	68.81	17.3	8.09	0.91	0.6	1.81
3513	73.19	15.2	6.55	0.53	0.35	1.79
3514	70.2	16.4	7.31	0.89	0.6	2.23
3503	67.19	16.5	10.6	0.74	0.65	1.8
3505	71.76	15.2	7.59	1.55	0.51	2.02
3504	69.35	18.2	7.9	0.61	0.51	2.14
3506	69.04	16.2	8.92	1.12	0.72	1.75
3507	70.68	16.1	7.77	0.59	0.62	2.21
3510	64.48	14.7	6.72	0.82	0.41	1.65
3516	65.81	9.35	6.86	1.04	0.51	1.87
3770	75.02	13.7	6.74	1.04	2.07	0.38
3515	70.37	10.5	9.17	1.22	0.87	2.31

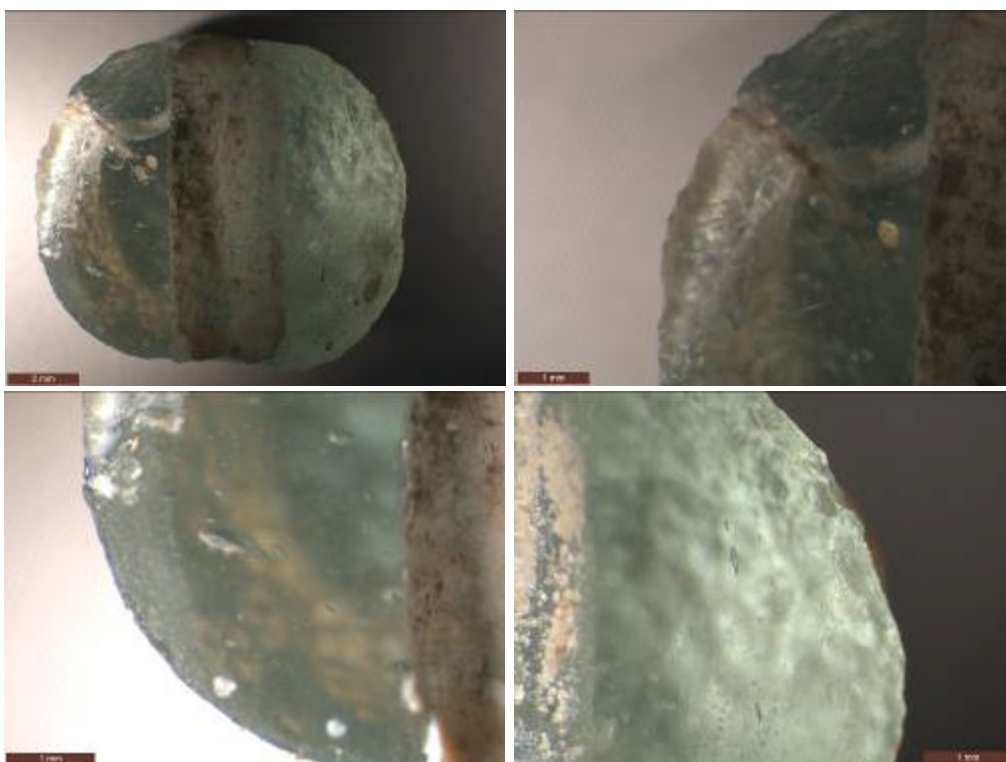
III. Φωτογραφική τεκμηρίωση φυσαλίδων με στερεοσκόπιο



Δείγμα R.9



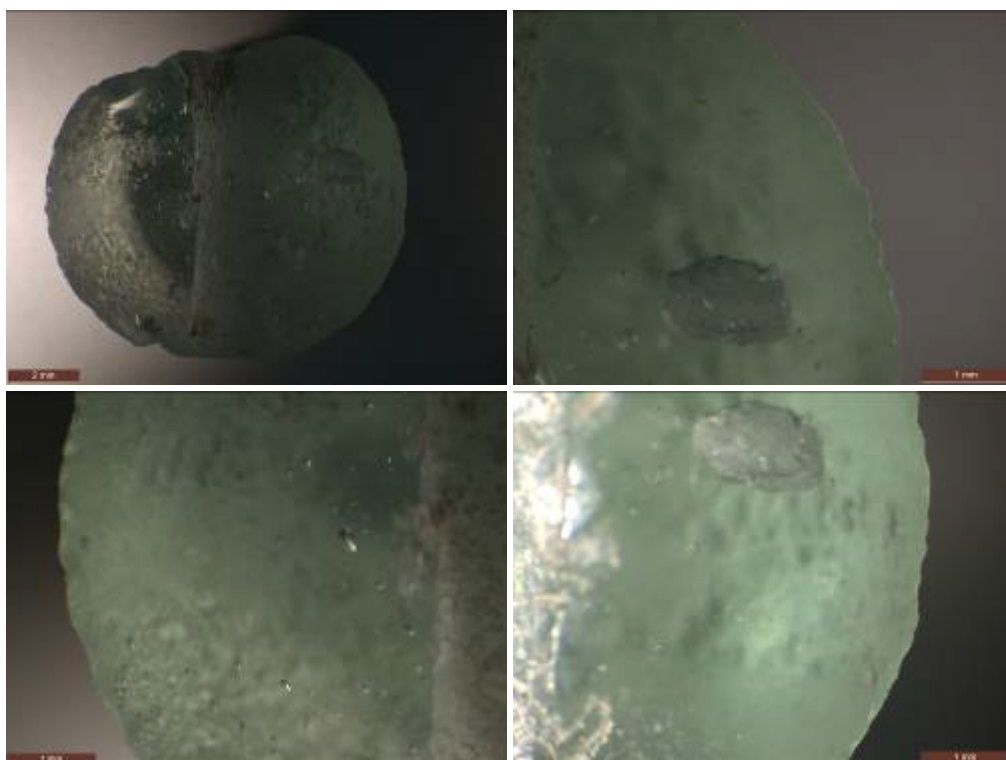
Δείγμα R.10



Δείγμα R.11



Δείγμα R.20



Δείγμα R.54



Δείγμα R.67

IV. Πίνακας χρονολογιών*

*Κατά Hoelscher 2005

Εποχές / Περίοδοι	Χρονολογία	Κείμενα	Ιστορικά γεγονότα
Πρώιμη εποχή χαλκού στο Αιγαίο I-III Πρωτομινωική, πρωτοελλαδική, Πρωτοκυκλαδική	3200-1200	Χωρίς γραφή	
Μέση εποχή χαλκού στο Αιγαίο Μεσομινωική, μεσοελλαδική, μεσοκυκλαδική MM / ME I-II MM / ME III	2100-1700 2100-1800 1800-1700	Ιερογλυφικά Γραμμική Α	Παλαιά ανάκτορα, Κρήτη Νέα ανάκτορα, Κρήτη
Ύστερη εποχή χαλκού στο Αιγαίο Υστερομινωική, υστεροελλαδική, υστεροκυκλαδική YM I A / YE I YM I B / YE II A YM II / YE II B YM III A1 / YE III A1 YM III A2 / YE III A2 YM III B / YE III B YM III Γ/YE III Γ	1700-1050 1700-1600 1600- 1500 (πλην της Κνωσού) 1500-1450 1450-1400 1400-1350 1350-1200 1200-1050	Γραμμική Β Χωρίς γραφή	Βασιλικοί τάφοι Μυκηνών Έκρηξη ηφαιστείου Θήρας Καταστροφή των νέων ανακτόρων Καταστροφή και ανοικοδόμηση της Κνωσού Καταστροφή των μυκηναϊκών ανακτόρων

Εποχές / Περίοδοι	Χρονολογία	Κείμενα	Ιστορικά γεγονότα
Υπομινωική/υπομυκηναϊκή Εποχή	1050-1000		«ΣΚΟΤΕΙΝΟΙ ΑΙΩΝΕΣ»
Πρωτογεωμετρική εποχή	1000-900		» »
Γεωμετρική εποχή Πρώιμη γεωμετρική Μέση γεωμετρική Ύστερη γεωμετρική (πρωτοαρχαϊκή)	900-700 900-850 850-760 760-700	Έπος Όμηρος, Ησίοδος	» » Δημιουργία της πόλης-κράτους Ίδρυση των πρώτων αποικιών
Αρχαϊκή εποχή Πρώιμη αρχαϊκή (ανατολίζουσα) Μέση αρχαϊκή Ύστερη αρχαϊκή	700-490/80 700-620 620-560 560-490/80	Λυρική ποίηση: Αρχίλοχος, Αλκαίος Σαπφώ, Σόλων. Προσωκρατικοί: Θαλής, Αναξίμαν- δρος, Παρμενίδης, Ηράκλειτος.	561-510 Τυραννίδα των Πεισιστρατιδών στην Αθήνα 508/7. Μεταρρυθμίσεις του Κλεισθένη

Κλασική εποχή Αυστηρός ρυθμός Ώριμη κλασική Πλούσιος ρυθμός Ύστερη κλασική	490/80-330/20 490/80-450 450-430 430-400 400-330/20	Τραγωδία Αισχύλος, Σοφοκλής Ευριπίδης Αρχαία Κωμωδία Αριστοφάνης Ιστορία Ηρόδοτος, Θουκυδίδης Φιλοσοφία Σοφιστές, Σωκράτης, Πλάτων, Αριστοτέλης	490-480/79 Περσικοί πόλεμοι 478/77 Δηλιακή/Αθηναϊκή Συμμαχία Κίμων, Περικλής 431-404 Πελοποννησιακός πόλεμος Λυκούργος της Αθήνας
Εποχές / Περίοδοι	Χρονολογία	Κείμενα	Ιστορικά γεγονότα
Ελληνιστική εποχή Πρώιμη ελληνιστική Ώριμη ελληνιστική Ύστερη ελληνιστική	330/20-30 330/20-230 230-150 150-30	Νέα κωμωδία Μένανδρος Φιλοσοφία Στωικοί, Επικούρειοι Κυνικοί <i>Ποίηση</i> Θεόκριτος, Καλλίμαχος	336-323 Αλέξανδρος ο Μέγας Βασίλεια / Ηγεμονίες: -Μακεδονία / Πέλλα Αντιονίδες -Ασία / Αντιόχεια Σελευκίδες -Αίγυπτος / Αλεξάνδρεια Πτολεμαίοι -Μικρά Ασία

