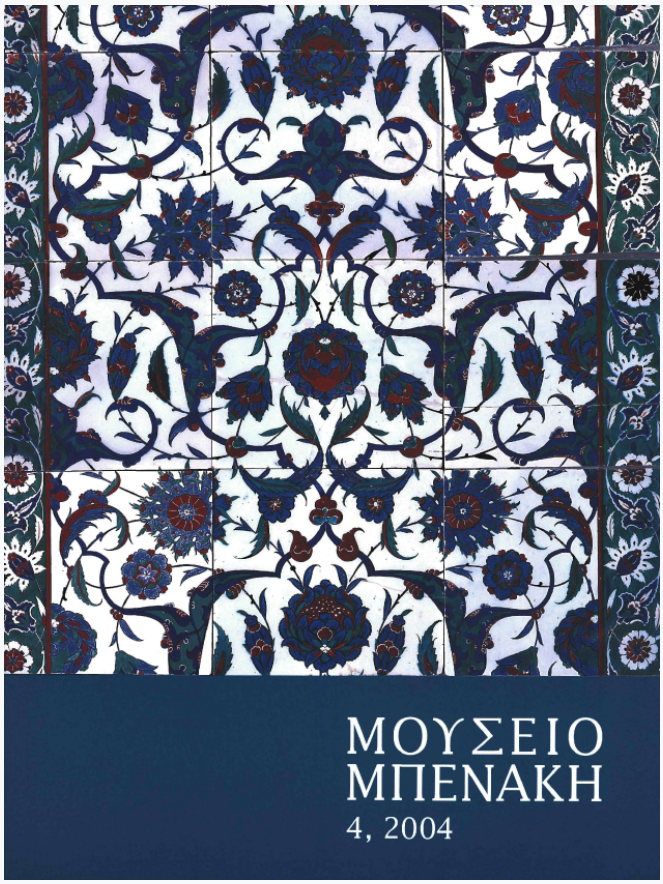
ePublishing

**Mouseio Benaki Journal**

Vol 4 (2004)




# Glass medallions with religious themes in the Byzantine collection at the Benaki Museum: technical analysis

*Δέσποινα Κοτζαμάνη*

doi: 10.12681/benaki.18280

Copyright © 2018, Δέσποινα Κοτζαμάνη

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0.

**To cite this article:**

Κοτζαμάνη Δ. (2018). Glass medallions with religious themes in the Byzantine collection at the Benaki Museum: technical analysis. *Mouseio Benaki Journal*, *4*, 75–89. https://doi.org/10.12681/benaki.18280

https://epublishing.ekt.gr | **e-Publisher:** EKT | **Downloaded at:** 26/12/2025 04:34:29

ΔΕΣΠΟΙΝΑ ΚΟΤΖΑΜΑΝΗ

# Γυάλινα μετάλλια με θρησκευτικές παραστάσεις στη Βυζαντινή Συλλογή του Μουσείου Μπενάκη: τεχνική μελέτη

Η ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ εννέα μεταλλίων από γυαλί[1] μεσαιωνικής μικροτεχνίας που ανήκουν στη συλλογή του Μουσείου Μπενάκη είχε ως στόχο να υποστηρίξει την έρευνα της Βασιλικής Φωσκόλου[2] με στοιχεία που σχετίζονται με την τεχνική κατασκευής των αντικειμένων αυτών καθώς και με τη χημική τους σύσταση.

Για την επίτευξη του στόχου αυτού έπρεπε να ερευνηθεί η μέθοδος κατασκευής τους και να προσδιοριστεί η ποιοτική και ποσοτική σύστασή τους. Δυστυχώς, δεν υπήρχαν άλλες δημοσιεύσεις σχετικές με την τεχνική ανάλυση τέτοιων αντικειμένων ώστε να λειτουργήσουν ως συγκριτικό υλικό. Βοηθητικές, όμως, είναι οι αναφορές για αναλύσεις σε κόκκινα γυαλιά ή σε κόκκινα σμάλτα γενικότερα, που σαφώς αποτελούν μία βάση δεδομένων. Έτσι, τα μετάλλια μπορούν τουλάχιστον να καταταχθούν στην ευρύτερη ομάδα των κόκκινων γυαλιών.

Από τα εννέα μετάλλια που εκτίθενται, επιλέχθηκαν πέντε με αρ. ευρ. 13546, 13525, 13522, 13524, 13523 ως τα πιο αντιπροσωπευτικά (εικ. 1). Η επιλογή τους έγινε καταρχήν με βάση το μέγεθος και το σχήμα τους,[3] και δευτερευόντως με βάση το χρώμα τους, ανάλογα με τις διαβαθμίσεις και τις ιδιαιτερότητες που αυτό παρουσίαζε.

Το στερεοσκόπιο, το μεταλλογραφικό καθώς και το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης αποτέλεσαν τα ερευνητικά μέσα για την ανάλυση των μεταλλίων.

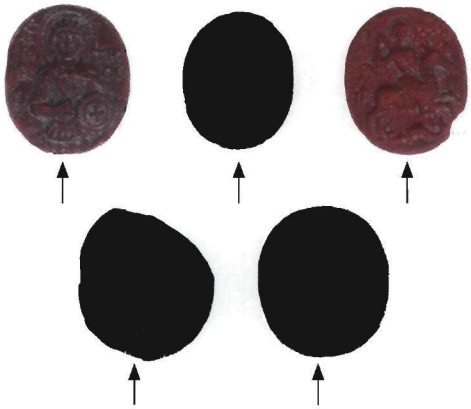
Είναι γνωστό βέβαια ότι οι δύο τελευταίες μέθοδοι ανάλυσης θεωρούνται καταστρεπτικές, καθώς απαιτούν την εξαγωγή δείγματος, κάτι που στην περίπτωση των υπό εξέταση μεταλλίων δεν ήταν δυνατό.[4] Ωστόσο, η χρησιμοποίησή τους κρίθηκε εφικτή, χάρη στον κατάλληλο τρόπο προετοιμασίας των μεταλλίων στα οποία εφαρμόστηκε.

## Μέθοδοι ανάλυσης

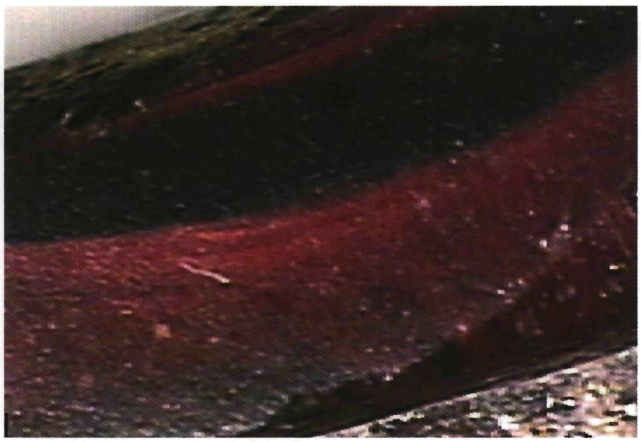
*Στερεοσκόπιο.* Αρχικά τα μετάλλια εξετάστηκαν κάτω από το στερεοσκόπιο Olympus SZX9, σε μεγεθύνσεις 20x μέχρι και 100x. Ενώ μακροσκοπικά μοιάζουν με συμπαγείς πέτρες με ομοιόμορφες μονόχρωμες ή και ποικίλες αποχρώσεις, κάτω από το στερεοσκόπιο έγινε φανερή η γυάλινη υφή τους από τις αντανακλάσεις του φωτός και από κάποιες παγιδευμένες φυσαλίδες αέρα που βρίσκονται διάσπαρτες στη μάζα του γυαλιού, σε άλλα μετάλλια περισσότερο και σε άλλα λιγότερο.

Στο μετάλλιο με αρ. ευρ. 13525 (εικ. 2), εκτός από τις αποχρώσεις που εμφάνιζε –αντίστοιχες με αυτές που παρατηρήθηκαν και στα άλλα μετάλλια–, παρατηρήθηκε μια επιπλέον χρωματική ανομοιογένεια: σε ορισμένες περιοχές η μάζα του γυαλιού είναι χρωματισμένη ενώ σε άλλες (κυρίως προς τα τοιχώματα) διαφανής.

Επίσης, ενώ μακροσκοπικά τα μετάλλια φαίνονται να διατηρούνται σε αρκετά καλή κατάσταση, κάτω από τις μεγεθύνσεις αυτές παρουσιάζουν κοιλότητες (εικ. 3) που καλύπτουν σχεδόν όλη την επιφάνειά τους (ένδειξη βελονισμού).[5] Πιθανολογούνται διάφορες αιτίες, όπως ανομοιογένεια της μάζας του γυαλιού (πιθανές ακαθαρσίες, κόκκοι άμμου) ή οργανική επίδραση.[6] Όμως, η σύσταση του γυαλιού και συγκεκριμένα οι τιμές του σχηματιστή δικτύου (διοξειδίου του πυριτίου) στην περίπτωση των μεταλλίων θεωρούνται οι περισσότερο υπεύθυνες για τον συγκεκριμένο τύπο διάβρωσης του γυαλιού.[7]



Εικ. 1. Τα πέντε μετάλλια του Μουσείου Μπενάκη. Το μαύρο βέλος υποδεικνύει τη λειασμένη περιοχή στο τοίχωμά τους.



Εικ. 2. Το μετάλλιο με αρ. ευρ. 13525. Παρατηρείται χρωματική ανομοιογένεια στη μάζα του γυαλιού: σε ορισμένες περιοχές είναι χρωματισμένη ενώ σε άλλες διαφανής (65x).

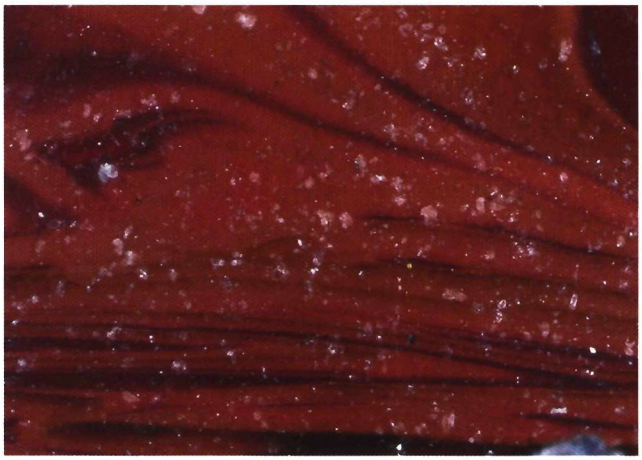
Εικ. 3. Ένδειξη βελονισμού (40x).

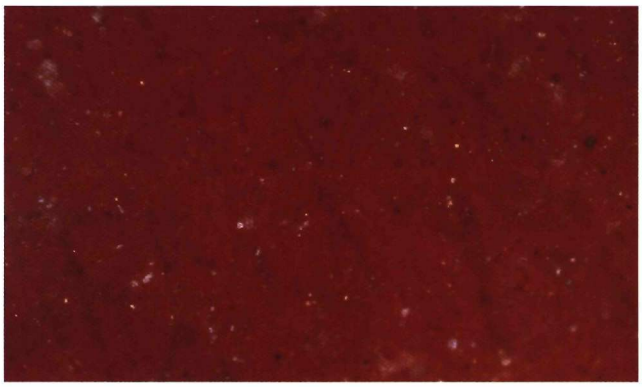
*Μεταλλογραφικό μικροσκόπιο.* Για την παρατήρηση κάτω από το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο δεν χρειάστηκε να αφαιρεθεί κάποιο δείγμα όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Απλώς λειάνθηκε μια πολύ μικρή περιοχή της επιφάνειας, περίπου 8 χιλ., στο τοίχωμα των μεταλλίων (πλάγια τομή). Δηλαδή τα μετάλλια προετοιμάστηκαν ολόκληρα σαν να αποτελούσαν αυτά τα ίδια δείγματα από κάποιο μεγαλύτερο αντικείμενο. Για την επεξεργασία της μικρής αυτής επιφάνειας πραγματοποιήθηκε λείανση και στίλβωση κατά στάδια, σύμφωνα με τη διαδικασία που ακολουθείται προκειμένου να εξεταστεί ένα εγκιβωτισμένο δείγμα κάτω από το μεταλλογραφικό ή το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης.

Οι λειασμένες επιφάνειες εξετάστηκαν στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο Olympus AX70, κάτω από πολωμένο και μη πολωμένο φως σε μεγεθύνσεις που κυμάνθηκαν από 100x μέχρι και 500x.

Σε όλες τις περιπτώσεις αποκαλύφθηκε η μικροκρυσταλλική δομή τους, με την παρουσία δύο φάσεων: μία φάση ομοιογενούς χρωματισμού με διάσπαρτους μικρούς κρυστάλλους σε χρώμα κοκκινωπό ή σε χρώμα μαύρο, και μία φάση σωματιδίων με μεταλλική υφή και λάμψη (εικ. 4-6). Σε καμία πλάγια τομή δεν παρατηρήθηκαν κρύσταλλοι δενδριτών.[8] Παράλληλα με τις δύο αυτές φάσεις συνυπάρχουν πολυάριθμες τυπικά εμφανιζόμενες φυσαλίδες αέρα στα όρια των κρυστάλλων.

Οι διάφορες αποχρώσεις, που με γυμνό μάτι σε άλλα μετάλλια διακρίνονται πιο έντονες και σε άλλα πιο αχνές, κάτω από το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο δεν παρουσιάζονται τόσο συγκεχυμένες –είναι περισσότερο ξεκάθαρες. Σε πλάγια τομή στα μετάλλια με αρ. ευρ. 13522 και 13546, ο χρωματισμός σε πλάγια τομή είναι απλός, με αποχρώσεις του κόκκινου (εικ. 5, 6)· ενώ στα μετάλλια με αρ. ευρ. 13525, 13524 διακρίνονται περισσότερα χρωματικά στρώματα που εναλλάσσονται, όπως κόκκινο πορφυρό, κόκκινο μουντό μέχρι και μαύρο για το πρώτο και μουντό κόκκινο, καφέ και μαύρο για το δεύτερο αντίστοιχα (εικ. 2, 7). Όσον αναφορά το μετάλλιο με αρ. ευρ. 13523, τα χρωματικά του στρώματα (όπως κόκκινο φωτεινό, κίτρινο, πράσινο) δεν εναλλάσ-





Εικ. 4-6. Τα μετάλλια με αρ. ευρ. 13522 (πολωμένο φως), 13546 και 13522 (μη πολωμένο). Διακρίνεται μία φάση ομοιογενούς χρωματισμού με διάσπαρτους μικρούς κρυστάλλους σε χρώμα κοκκινωπό και μαύρο, μία φάση σωματιδίων με μεταλλική υφή και λάμψη, καθώς και τυπικά εμφανιζόμενες φυσαλίδες αέρα στα όρια των κρυστάλλων (300x).

σονται με το σκούρο κόκκινο προς μαύρο που υπερτερεί των υπολοίπων. Εδώ, τα στρώματα αυτά ξεκινούν από τη μία άκρη ή το μέσο της τομής και καταλήγουν στην άλλη άκρη της που αντιστοιχεί στη μπροστινή επιφάνεια των απεικονίσεων, η οποία ήταν και η βάση κατά τη διαδικασία της χύτευσης του γυαλιού στο καλούπι (εικ. 8). Για τον λόγο αυτό, το μετάλλιο θυμίζει περισσότερο cameo παρά κάποια πέτρα.

Επίσης, ο ανομοιογενής χρωματισμός που παρατηρήθηκε στο μετάλλιο με αρ. ευρ. 13525 επιβεβαιώθηκε και κατά την εξέτασή του σε πλάγια τομή. Το κοκκινόμαυρο χρώμα που παρουσιάζει, σιγά σιγά εξασθενεί προς τη διαφανή μάζα του γυαλιού, αφήνοντας αρκετές περιοχές μη χρωματισμένες (εικ. 9).

*Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).* Δεδομένου ότι δεν ήταν δυνατόν να εξεταστούν τα μετάλλια οπτικά στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο,[9] η χρήση του περιορίστηκε αποκλειστικά στον ποιοτικό και τον ποσοτικό προσδιορισμό της σύστασής τους, με εφαρμογή της πηγής σε τοπικά επιλεγμένες περιοχές της πίσω επιφάνειας.[10]

Το μικροσκόπιο που χρησιμοποιήθηκε είναι Jeol JSM 5600 και ανήκει στο Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ). Για την καλύτερη λήψη αντιπροσωπευτικών αποτελεσμάτων σύστασης, η σάρωση της δέσμης ηλεκτρονίων έγινε σε μη διαβρωμένες περιοχές των μεταλλίων και περιοχές που δεν υπήρχαν έντονες ανωμαλίες, προκειμένου να αποφευχθεί τυχόν έλλειμμα στα αποτελέσματα.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρουσιάζονται στον πίνακα 1. Προκειμένου να διευκολύνεται η σύγκριση και η ταυτοποίηση των αποτελεσμάτων με αντίστοιχα αναλύσεων άλλων κόκκινων γυαλιών που έχουν δημοσιευθεί στο παρελθόν, αυτά αποδίδονται με κανονικοποίηση στα 100.

## Αποτελέσματα

*Τεχνική κατασκευής.* Τα μετάλλια έχουν κατασκευαστεί με την τεχνική της χύτευσης σε καλούπι. Δεν διακρίνονται βέβαια μικρορηγματώσεις[11] ή κάποιο ίχνος από τη χρήση καλουπιού, οι οποίες να επιβεβαιώνουν ένα τέτοιο τρόπο κατασκευής, ούτε καλά αναπτυσσόμενοι κρύσταλλοι δενδριτών κυπρίτη στο δίκτυο του γυαλιού –λόγω του χαμηλού ή εντελώς ανύπαρκτου ποσοστού μολύβδου όπως θα δούμε παρακάτω.[12] Ωστόσο, η επίπεδη επιφάνεια στο πίσω μέρος των

Εικ. 7. Το μετάλλιο με αρ. ευρ. 13524. Διακρίνονται τα χρωματικά στρώματα που εναλλάσσονται, όπως μουντό κόκκινο, καφέ και μαύρο (300x).

Εικ. 8. Το μετάλλιο με αρ. ευρ. 13523. Τα χρωματικά στρώματα κόκκινο φωτεινό, κίτρινο και πράσινο δεν εναλλάσσονται με το σκούρο κόκκινο προς μαύρο. Ξεκινούν από τη μία άκρη ή το μέσο της τομής και καταλήγουν στην άλλη άκρη της (65x).

μεταλλίων, το επίπεδο φόντο των απεικονίσεων, χωρίς την ταυτόχρονη ανύψωση των τοιχωμάτων τους περιμετρικά –στοιχεία που θα δήλωναν εμπίεση–, καθώς και το υψηλό ποσοστό των αλκαλίων σύμφωνα με τον πίνακα 1, αποτελούν τις ισχυρότερες ενδείξεις για τη χρήση της τεχνικής της χύτευσης.

Πιο συγκεκριμένα, με τη χρήση ενός τόσο υψηλού ποσοστού αλκαλίων, όπως αυτό του οξειδίου το καλίου και δευτερευόντως του οξειδίου του νατρίου, ήταν δυνατόν να παρασκευαστεί ένα γυαλί κατάλληλο για χύτευση σε καλούπι, εφόσον τα οξείδια αυτά επέτρεπαν την πιο εύκολη ροή του και σε χαμηλότερες θερμοκρασίες.[13]

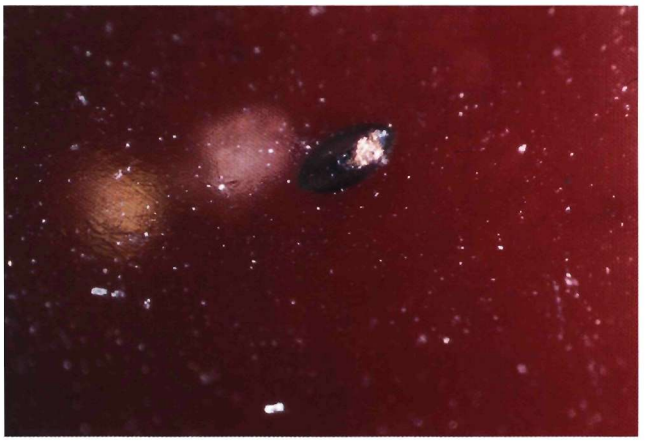
Με βάση μάλιστα συγκρίσεις που έγιναν στο παρελθόν[14] μεταξύ δειγμάτων από αντικείμενα κατασκευασμένα με τη μέθοδο της χύτευσης και δειγμάτων από αντικείμενα μορφοποιημένα με τη μέθοδο της εμφύσησης, η ποσοστιαία σχέση κυρίως του διοξειδίου του πυριτίου καθώς και των οξειδίων του ασβεστίου και του μαγνησίου και του τριοξειδίου του αργιλίου, με τα αντίστοιχα αλκάλια (καλίου - νατρίου) που ανιχνεύθηκαν στη σύστασή τους, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι τα μετάλλια πιθανόν ανήκουν στην κατηγορία της χυτής μορφοποίησης.[15]

*Σύσταση γυαλιού.* Όλα τα γυαλιά, ανάλογα με τις περιοχές που σαρώθηκαν από τη δέσμη ηλεκτρονίων (τοπικές και ευρύτερες), παρουσιάζουν σχετική διακύμανση ως προς τη σύστασή τους. Το διοξείδιο του πυριτίου, ως σχηματιστής του δικτύου[16] του γυάλινου υλικού, εμφανίζεται σε ποσοστό που κυμαίνεται από 39,38% μέχρι 63,40%. Τα αλκάλια οξειδίου του καλίου (γυαλιά ποτάσας) και νατρίου (γυαλιά σόδας) που λειτουργούν ως τροποποιητές του δικτύου[17] παρουσιάζουν τιμές που κυμαίνονται από 6,15% μέχρι 23,09% και 2,13% μέχρι 9,75% αντίστοιχα. Ενώ ο τροποποιητής[18] οξείδιο του ασβεστίου που δρα ως σταθεροποιητής στο δίκτυο του γυαλιού ανιχνεύεται σε ποσοστά που κυμαίνονται από 4,38% μέχρι και 20%.

Τα τέσσερα αυτά στοιχεία και η περιεκτικότητά τους στο γυαλί κατατάσσουν τα μετάλλια στην κατηγορία των γυαλιών ποτάσας –το κάλιο ανιχνεύτηκε σε μεγαλύτερο ποσοστό από το νάτριο. Η παρουσία και του δεύτερου αλκαλίου (νατρίου) και σε συγκεντρώσεις που θεωρούνται υψηλές (πάνω από 2%) είχε ως στόχο την αύξηση της σταθερότητας του γυαλιού, φαινόμενο που ονομάζεται επίδραση του μεικτού αλκαλίου.[19]

Σύμφωνα με την κλασική θεωρία, η ποτάσα και το ασβέστιο που εμπεριέχονται στο γυαλί κατασκευής των μεταλλίων, στα υψηλά αυτά ποσοστά, προέρχονται από στάχτες καμένων ξύλων,[20] παρόλο που βιβλιογραφικά έχει αναφερθεί ότι προέρχονται και από στάχτες καμένων φυτών, τα οποία δυστυχώς ως καύσιμη ύλη ήταν και είναι γενικά δύσκολο να προσδιοριστούν.[21]

Οι στάχτες από ξύλα ήταν ευρέως διαθέσιμες στην Κεντρική και τη Βόρεια Ευρώπη από τον 8ο ή τον 9ο



Εικ. 9. Το μετάλλιο με αρ. ευρ. 13525. Το κοκκινόμαυρο χρώμα που παρουσιάζει, σιγά σιγά εξασθενεί προς τη διαφανή μάζα του γυαλιού αφήνοντας αρκετές περιοχές μη χρωματισμένες (100x).

αι. μ.Χ.[22] Πιο συγκεκριμένα, κατά την περίοδο αυτή η παραγωγή του γυαλιού νίτρου[23] παρήκμασε, πιθανόν λόγω της μειωμένης προμήθειας νίτρου, το οποίο στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου αντικαταστάθηκε από στάχτες φυτών, ενώ στην Κεντρική και τη Βόρεια Ευρώπη από στάχτες ξύλων, με αποτέλεσμα την παραγωγή γυαλιού υψηλής περιεκτικότητας σε ποτάσα και ασβέστιο.[24]

Πράγματι, από τις συγκεντρώσεις τόσο της ποτάσσας όσο και του ασβεστίου που ανιχνεύθηκαν, παρατηρείται ότι στις περισσότερες αναλύσεις υπάρχει λίγο ή πολύ μία αντίστροφη σχέση μεταξύ των δύο αυτών στοιχείων. Συμπεραίνεται λοιπόν ότι υφίσταται αστάθεια στη σύσταση της στάχτης από ξύλα, η οποία χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των μεταλλίων –κατά τον ίδιο τρόπο που συμπεριφέρεται η σόδα και το ασβέστιο στη σύσταση της στάχτης από τα καμένα φυτά.[25]

Βέβαια, τα υψηλά ποσοστά οξειδίου του ασβεστίου που ανιχνεύτηκαν στα μετάλλια είναι ασυνήθιστα.[26] Ενδεχομένως οφείλονται σε μη συνειδητό εξευγενισμό των πρώτων υλών για την πιο εύκολη κατεργασία του γυαλιού, και όχι σε καλή γνώση των προβλημάτων που δημιουργεί ένα τόσο υψηλό ποσοστό του οξειδίου αυτού στο γυαλί.[27] Στην προκειμένη περίπτωση, στα μετάλλια ίσως να μην υπήρχαν τέτοιου είδους απαιτήσεις από τους υαλουργούς, καθώς η τεχνική κατασκευής τους ήταν ιδιαίτερα απλή.

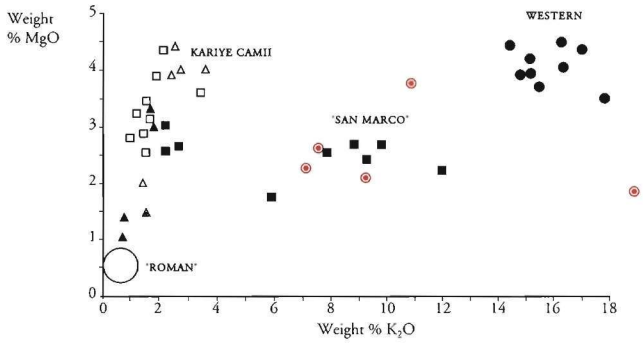
Η αλουμίνα βρέθηκε σε αρκετά υψηλό ποσοστό πάνω από 0,77% που φτάνει μέχρι και 9,99%. Ως στοιχείο βελτιώνει την ανθεκτικότητα του γυαλιού και προκαλεί αύξηση του σημείου τήξης της πρώτης ύλης. Όμως, στην πραγματικότητα αποτελεί πρόσμιξη αναπόφευκτη, καθώς αποτελεί συστατικό των τοιχωμάτων των χωνευτηρίων.[28] Λόγω όμως της αυξημένης της περιεκτικότητας (κατά μέσο όρο πάνω από 3%), θα πρέπει να είχε εισαχθεί και συγχωνευθεί με το γυαλί, προερχόμενη από άμμο κάποιας συγκεκριμένης περιοχής με υψηλά σε αυτό το στοιχείο ποσοστά.[29]

Το θείο εμφανίζεται ως επί το πλείστον στο μετάλλιο με αρ. ευρ. 13524 και λιγότερο στο μετάλλιο με αρ. ευρ. 13522, με ανώτερη τιμή 1,44%. Γενικά, το θείο έχει περισσότερη σχέση με το νίτρο, διότι το τελευταίο συχνά σχετίζεται με το θειικό νάτριο. Στην περίπτωση των μεταλλίων όμως, επειδή είναι μεμονωμένη η παρουσία του στη σύσταση του γυαλιού κατασκευής τους, μάλλον είχε προστεθεί ως ακαθαρσία με ένα ή περισσότερα πρωτογενή[30] ή και δευτερογενή υλικά.

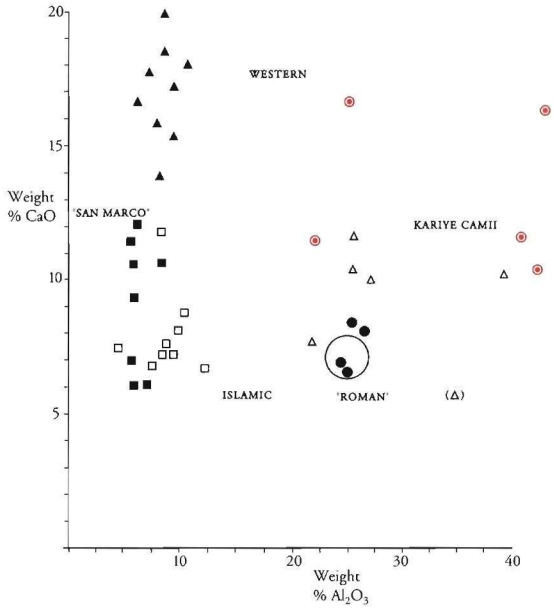
Ο φώσφορος, σε μορφή φωσφορικού πεντοξειδίου, παρουσιάζεται σημειακά (τοπικές περιοχές) στα μετάλλια με αρ. ευρ. 13546, 13522 και 13523 σε ποσοστά που κυμαίνονται από 1,68% μέχρι και 16,26%. Η ανίχνευσή του θα μπορούσε να οφείλεται στη χρήση στάχτης ξύλων που περιέχουν μεγαλύτερα ποσοστά φωσφόρου, σε σχέση με αυτά που εμπεριέχονται στη φυτική καύσιμη ύλη. Εφόσον όμως δεν ανιχνεύθηκε και βάριο –που συνήθως συνυπάρχει με το φώσφορο στα "δασώδη" γυαλιά–,[31] η παρουσία του μπορεί να έχει σχέση με φωσφορικές επικαθίσεις στην επιφάνεια του γυαλιού, ενδεχομένως ως αποτέλεσμα του μηχανισμού της διάβρωσης.[32] Επίσης, λόγω της παρουσίας και του χλωρίου στα μετάλλια, μπορεί και να έχει μεταφερθεί στο τήγμα του γυαλιού μέσω του ορυκτού που είχε επιλεγεί ως πηγή αυτού του αλκαλίου.[33]

*Χρώμα.* Από το ποσοστό του χαλκού που ανιχνεύθηκε (3,95-20,39%) συμπεραίνεται ότι ο χρωματισμός των μεταλλίων προέκυψε από τη χρήση του χαλκού ως μέσου.[34] Οι αποχρώσεις που παρουσιάζονται είναι επίσης αποτέλεσμα τόσο των οξειδο-αναγωγικών συνθηκών που επικρατούν στο καμίνι, όσο και της παρουσίας κάποιων μικρών ποσοτήτων οξειδίων μετάλλων μετάπτωσης που συνυπάρχουν μέσα στο τήγμα του γυαλιού.[35]

Γενικά, για το κόκκινο χρώμα είναι απαραίτητη η επίτευξη κατάλληλων αναγωγικών συνθηκών που επιτυγ-




Εικ. 10. Γραφική παράσταση της σχέσης των ποσοτήτων του οξειδίου του μαγνησίου και του οξειδίου του καλίου που ανιχνεύθηκαν στα μετάλλια (σημειωμένα με κόκκινο χρώμα) μαζί με τα αντίστοιχα ποσοστά γυαλιών του 11ου-14ου αιώνα από το Βυζάντιο, τη Βενετία, τη Δύση και τον ισλαμικό κόσμο που μελετήθηκαν από τους J. Henderson – M. Mundell Mango, Glass at Medieval Constantinople Preliminary Scientific Evidence, στο: C. Mango – G. Dagron (eds), *Constantinople and its Hinterland* (Oxford 1993).




Εικ. 11. Γραφική παράσταση της σχέσης των ποσοτήτων του οξειδίου του ασβεστίου και του πεντοξειδίου του αργιλίου που ανιχνεύθηκαν στα μετάλλια (σημειωμένα με κόκκινο χρώμα) μαζί με τα αντίστοιχα ποσοστά γυαλιών του 11ου-14ου αιώνα από το Βυζάντιο, τη Βενετία, τη Δύση και τον ισλαμικό κόσμο που μελετήθηκαν από τους J. Henderson – M. Mundell Mango, Glass at Medieval Constantinople Preliminary Scientific Evidence, στο: C. Mango – G. Dagron (eds), *Constantinople and its Hinterland* (Oxford 1993).

χάνονται, είτε ελέγχοντας την ατμόσφαιρα, είτε χρησιμοποιώντας αναγωγικά μέσα, ή ακόμη καλύτερα με τη χρήση και των δύο,[36] προκειμένου τα μεμονωμένα ιόντα $Cu^{++}$ να αναχθούν σε $Cu^{+}$. Το αποτέλεσμα της αναγωγής αυτής είναι η παρουσία κόκκινων κρυστάλλων υποξειδίου του χαλκού, δηλαδή κυπρίτη. Αν μάλιστα πραγματοποιείται περαιτέρω αναγωγή του μίγματος του γυαλιού, τότε δημιουργούνται και κρύσταλλοι μεταλλικού χαλκού.

Στα μετάλλια του Μουσείου Μπενάκη ανιχνεύθηκαν και οι δύο αυτές μορφές μικρών κρυστάλλων (κρύσταλλοι υποξειδίου του χαλκού και μεταλλικού χαλκού), οι οποίες διαφοροποιούν το χρώμα του γυαλιού κατασκευής τους, προσδίδοντας μια μουντή απόχρωση κόκκινου, σε σχέση με το λαμπερό κόκκινο που παρουσιάζουν άλλα γυάλινα αντικείμενα ή υλικά.[37] Παράλληλα, λειτουργούν ως μέσα αδιαφανοποίησης, σε αντίθεση με άλλα γυάλινα αντικείμενα που οφείλουν την αδιαφάνειά τους, είτε στην ανάπτυξη κρυστάλλων δενδριτών υποξειδίου του χαλκού[38] και στη μορφή τους,[39] είτε σε μέσα που συνειδητά εισάγονται στο τήγμα του γυαλιού σε διασπορά ώστε να μη διέρχεται το φως.[40]

Μάλιστα αυτή η μουντή κόκκινη απόχρωση, άλλοτε γίνεται πορφυρή ή και μαύρη –όταν το ποσοστό του ξεπερνά το 5%.[41] Οι διαβαθμίσεις οφείλονται στην αφθονία αυτών των κρυστάλλων στο δίκτυο του γυαλιού· σε ορισμένες μάλιστα περιπτώσεις και στο μέγεθός τους[42] ή και στη συνύπαρξη του χαλκού με τα άλλα μεταλλικά οξείδια που υπάρχουν στο τήγμα του πυριτικού δικτύου όπως προαναφέρθηκε.

Οι σκουρόχρωμες αυτές λωρίδες θα μπορούσαν να αποδοθούν και στη παρουσία του σιδήρου, λόγω του ιδιαίτερα αυξημένου ποσοστού του στη σύσταση του γυαλιού των μεταλλίων του Μουσείου Μπενάκη (πάνω από 1%), το οποίο είναι αρκετά μεγαλύτερο από αυτό που συνήθως απαντά σε ένα διαφανές ή μερικώς χρωματισμένο γυαλί.[43] Επίσης, οι λωρίδες αυτές θα μπορούσαν να συσχετιστούν και με τη συνύπαρξη του σιδήρου με το μαγγάνιο και το θείο σε καπνώδη ατμόσφαιρα στον φούρνο,[44] αν και για την τελευταία υπόθεση –σύμφωνα με τον πίνακα 1– δεν υπάρχει ταυτόχρονη ανίχνευση των στοιχείων αυτών.

Από τις δύο παραπάνω περιπτώσεις, η προσθήκη του σιδήρου φαίνεται να ήταν συνειδητή (εκτίμηση που δικαιολογείται από το υψηλό ποσοστό του), όχι όμως για τον χρωματισμό των γυαλιών. Ο πραγματικός ρό-

| ΜΕΤΑΛΛΙΑ | ΣΤΟΙΧΕΙΑ % | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Na_2O$ | MgO | $Al_2O_3$ | $SiO_2$ | Cl | $K_2O$ | CaO | MnO | $Fe_2O_3$ | Cu | Mo | $P_2O_5$ | PbO | $SO_3$ |
| 13546 | 7,62 | 1,67 | 1,53 | 47,86 | 0,88 | 10,72 | 15,35 | 1,73 | 4,44 | 7,89 | - | - | - | - |
| | 4,74 | 2,04 | 4,37 | 52,01 | 2,26 | 11,50 | 13,05 | - | 6,06 | 3,95 | - | - | - | - |
| | 3,37 | 3,05 | 7,19 | 45,56 | 2,01 | 9,39 | 14,32 | - | 7,93 | - | 7,18 | - | - | - |
| | 2,13 | 5,67 | - | 48,34 | 1,92 | 12,82 | 4,38 | - | 9,11 | - | - | 5,06 | 10,57 | - |
| 13525 | 9,34 | 2,38 | 2,19 | 53,8 | 1,40 | 6,15 | 14,92 | 1,35 | - | 8,68 | - | - | - | - |
| | 6,60 | 1,78 | 2,74 | 51,25 | 1,61 | 7,11 | 15,01 | 1,52 | 1,87 | 10,51 | - | - | - | - |
| | 6,79 | 1,91 | 3,11 | 54,62 | 1,41 | 8,44 | 14,64 | 1,15 | - | 7,93 | - | - | - | - |
| | 5,46 | 1,43 | 1,74 | 43,92 | 1,01 | 8,35 | 19,34 | 2,09 | - | 16,67 | - | - | - | - |
| 13522 | 2,93 | 1,36 | 1,66 | 44,37 | 0,68 | 23,09 | 12,28 | - | 6,94 | 7,95 | - | 1,68 | - | - |
| | 3,00 | 0,77 | 2,80 | 46,08 | 0,94 | 20,54 | 10,61 | - | 8,80 | 6,45 | - | - | - | - |
| | 3,10 | 0,89 | 2,68 | 44,26 | 1,02 | 20,46 | 10,49 | - | 9,14 | 5,50 | - | 2,07 | - | 0,39 |
| 13524 | 4,73 | 1,64 | 3,32 | 57,79 | 1,11 | 8,82 | 14,43 | - | - | 7,57 | - | - | - | 0,58 |
| | 2,94 | 0,92 | 5,88 | 56,40 | 1,55 | 12,66 | 12,04 | - | 2,26 | 4,37 | - | - | - | 0,99 |
| | 4,87 | 2,94 | 8,60 | 39,32 | 2,86 | 11,05 | 23,27 | - | 4,48 | - | - | - | - | 2,60 |
| | 5,08 | 1,69 | 2,58 | 54,45 | 1,47 | 7,64 | 16,64 | - | - | 10,44 | - | - | - | - |
| | 6,73 | 1,94 | 2,49 | 55,58 | 1,70 | 7,10 | 15,29 | - | - | 9,17 | - | - | - | - |
| Περιοχή πράσινου | 5,67 | 1,94 | 4,66 | 50,92 | 1,44 | 8,00 | 14,23 | 1,39 | 2,24 | 9,51 | - | - | - | - |
| | 6,39 | 2,25 | 3,60 | 52,25 | 1,52 | 8,25 | 14,40 | 0,90 | 1,36 | 9,09 | - | - | - | - |
| | 3,36 | 2,49 | 9,99 | 41,51 | 1,17 | 8,44 | 20,62 | - | 6,73 | 4,24 | - | - | - | 1,44 |
| | 9,75 | 2,07 | 2,36 | 50,35 | 2,18 | 7,09 | 13,31 | 0,98 | 1,11 | 10,80 | - | - | - | - |
| 13523 | 5,91 | 2,05 | 1,45 | 39,38 | - | 8,18 | 11,48 | - | 3,42 | 19,90 | - | - | 8,22 | - |
| | 8,39 | 2,28 | 0,94 | 38,21 | - | 7,09 | 9,97 | - | 3,49 | 20,39 | - | - | 9,25 | - |
| | - | 3,08 | 5,78 | 51,89 | 2,46 | 8,67 | 7,66 | - | 7,54 | - | - | - | 12,92 | - |
| | - | 1,36 | 6,83 | 63,40 | - | 9,20 | 10,18 | - | 9,03 | - | - | - | - | - |
| | - | 2,28 | 8,73 | 42,67 | - | 6,42 | 11,98 | - | 11,07 | - | - | 16,86 | - | - |
| | - | - | 4,32 | 52,01 | - | 6,84 | 5,85 | - | 8,41 | 7,35 | - | - | 15,22 | - |
| | 5,27 | 2,64 | 3,42 | 45,52 | - | 7,10 | 9,91 | - | 6,36 | 9,06 | - | - | 10,70 | - |
| | 5,33 | 2,98 | 3,76 | 48,41 | - | 7,28 | 7,85 | - | 4,36 | 9,45 | - | - | 10,59 | - |

Πίνακας 1. Χημική ανάλυση των πέντε επιλεγμένων μεταλλίων με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης. Ανάλυση σημειακών και ευρύτερων περιοχών της επιφάνειας.

λος του σιδήρου, και μάλιστα για την κατασκευή αυτού του είδους γυαλιών, θα πρέπει να ήταν άλλος. Παλαιότερες αναλύσεις γυαλιών με παρεμφερή χαρακτηριστικά καθώς και μελέτες της κρυσταλλικής δομής τέτοιων γυαλιών, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο σίδηρος συμμετείχε ουσιαστικά στην αναγωγή των οξειδίων χαλκού και συνέβαλε στη δημιουργία του υποξειδίου του χαλκού.[45] Ήταν προσδοκώμενο δηλαδή από τους υαλουργούς ο σίδηρος να συμπεριφέρεται ως ένα σωστό αναγωγικό μέσο για τον χαλκό σε αδιαφανή κόκκινα, όπως λειτουργούσε για τον χρυσό και τον άργυρο κατά τη δημιουργία των διχρωικών γυαλιών.[46]

Η ιδιαιτερότητα στη μορφή των χρωματικών στρωμάτων στο μετάλλιο με αρ. ευρ. 13523 σε σχέση με τα άλλα, θα μπορούσε να αποδοθεί στη διαφορετική μορφολογία των κρυστάλλων ανάμεσα στα χρώματα.[47] Δεδομένου ότι η μικροσκοπική παρατήρηση δεν αποκάλυψε τέτοιου είδους διαφοροποιήσεις, η διαμόρφωση μίας τέτοιας στρωματογραφίας πιθανόν οφείλεται στην καθίζηση κάποιων από τα οξείδια που υπήρχαν

στη σύσταση του γυαλιού (τα πιο βαριά στοιχεία) κατά το στάδιο της τήξης του.[48] Ένα τέτοιο φαινόμενο συνήθως παρατηρείται σε γυαλιά που περιέχουν σημαντική ποσότητα μολύβδου. Συνεπώς, στην προκειμένη περίπτωση το φαινόμενο αυτό μπορεί να δικαιολογηθεί εφόσον ο μόλυβδος ανιχνεύθηκε ως επί το πλείστον στο μετάλλιο αυτό (στο μετάλλιο με αρ. ευρ. 13546 ανιχνεύθηκε μόνο σε μία περιοχή).

Το ποσοστό του μολύβδου ως οξείδιο του μολύβδου δεν είναι τέτοιο που να δικαιολογεί οποιοδήποτε σκεπτικό συνειδητής προσθήκης του,[49] με σκοπό τη βελτίωση των ιδιοτήτων του γυαλιού αυτού.[50] Η ύπαρξή του ήταν τυχαία, γεγονός που αποδεικνύει ότι οι κατασκευαστές των γυάλινων μεταλλίων δεν επιδίωξαν την αξιοποίηση και την εκμετάλλευση των σημαντικών ιδιοτήτων του μολύβδου κατά την κατασκευή τους –μετά τη 2η χιλιετία δεν αναφέρεται συχνά η εμφάνιση κόκκινων γυαλιών με χαμηλό ποσοστό μολύβδου καθώς γνώριζαν πια τις καλές ιδιότητες του μολύβδου.[51]

Το μαγγάνιο, υπό μορφή οξειδίου του μαγγανίου,[52] ανιχνεύθηκε μόνο στα μετάλλια με αρ. ευρ. 13546, 13525 και 13524. Σε αυτά το ποσοστό του ξεπερνά το 0,5%, περιεκτικότητα που δηλώνει συνειδητή προσθήκη.[53] Το οξείδιο του μαγγανίου συνήθως εισαγόταν στη φουρνιά[54] πριν από το αρχικό στάδιο τήξης της, για να βελτιώσει τη σύστασή της μέσω της μείωσης των φυσαλίδων αέρα στο τήγμα γυαλιού, ή εισαγόταν για να προκαλέσει χρωματισμό ή αποχρωματισμό στο δεύτερο στάδιο τήξης του γυαλιού.[55] Η παρουσία του στα τρία παραπάνω μετάλλια δικαιολογεί απόλυτα τον μικρό αριθμό φυσαλίδων αέρα· σε ό,τι αφορά τα δύο πρώτα είναι πιθανό το μαγγάνιο να είχε εισαχθεί ως χρωματιστής, συμβάλλοντας στη ροζ-πορφυρή (παρουσία χαλκού) μέχρι και μαύρη (παρουσία σιδήρου) απόχρωση που είναι ιδιαίτερα χαρακτηριστική στον Μεσαίωνα.[56]

Η παρουσία των διαφανών περιοχών στο μετάλλιο με αρ. ευρ. 13525 ερμηνεύεται με τη χρήση ενός μη ικανοποιητικά χρωματισμένου τήγματος γυαλιού που προήλθε από τις μη ελεγχόμενες αναγωγικές συνθήκες που επικρατούν μέσα στο πυριατήριο, ή/και στην αλληλεπίδραση μεταξύ των εκτεταμένων αναγωγικών συνθηκών στην επιφάνεια του τήγματος, με τα αέρια που επικρατούν στον κλειστό αυτόν χώρο.[57]

## Συμπεράσματα

Όπως αναφέρθηκε αρχικά, τα αποτελέσματα από τη μελέτη των πέντε μεταλλίων βασίστηκαν στις πληροφορίες που συλλέχθηκαν από την οπτική παρατήρηση καθώς και τη μελέτη της μικροδομής και τη χημική ανάλυσή τους, με σκοπό να συγκριθούν με τα αντίστοιχα βιβλιογραφικά δεδομένα.

Τα μετάλλια είναι κατασκευασμένα με την τεχνική της χύτευσης σε καλούπι. Η σύστασή τους, από ένα μεικτό τύπο αλκαλίων ποτάσας, σόδας, ασβεστίου και πυριτίου, τα κατατάσσει τυπικά σε "δασώδη" γυαλιά πλούσια σε ποτάσα.

Η σύσταση αυτή παραπέμπει σε εργαστήρια της Βορειοδυτικής Ευρώπης, τα οποία ήδη από τον 8ο-9ο αι. μ.Χ.[58] παρήγαγαν γυαλιά αυτής της σύστασης. Αντίθετα, την ίδια περίοδο στην Ανατολή γινόταν χρήση γυαλιών σόδας από καμένα φυτά, τα οποία αντικατέστησαν τα παλαιότερα γυαλιά σόδας νίτρου.[59]

Η δυτική προέλευση των γυάλινων μεταλλίων του Μουσείου Μπενάκη επιβεβαιώνεται και από τα αποτελέσματα χημικών αναλύσεων που έχουν πραγματοποιηθεί σε δείγματα βυζαντινών γυαλιών του 12ου αιώνα, τα οποία διαφοροποιούνται από εκείνα των δυτικοευρωπαϊκών γυαλιών της ίδιας περιόδου[60] ως προς τα υψηλά ποσοστά ποτάσας που παρουσιάζουν τα δεύτερα.

Τα ποσοστά του μαγνησίου που ανιχνεύθηκαν στα μετάλλια, σε σχέση με τα ποσοστά του καλίου, αποτελούν ένα επιπρόσθετο στοιχείο, ενδεικτικό της προέλευσης των μεταλλίων (εικ. 10), το οποίο επίσης συνηγορεί στη δυτική προέλευσή τους.[61] Δεν θα μπορούσε να υποθεί με βεβαιότητα το ίδιο για τα ποσοστά του ασβεστίου ως προς την αλουμίνα (εικ. 11), παρόλο που οι συγκεντρώσεις του ασβεστίου είναι πολύ κοντά στις αντίστοιχες που ανιχνεύθηκαν σε άλλα γυαλιά της ίδιας περιόδου που προέρχονται από τη Δύση. Στη περίπτωση αυτή, θα πρέπει να διαφέρει η πηγή προέλευσης της αλουμίνας.

Η πηγή του χρώματος από την οποία είναι φτιαγμένα τα μετάλλια είναι ο χαλκός. Έτσι κατατάσσονται στην κατηγορία των γυαλιών εκείνων που στην αρχαιότητα θεωρούνταν από τα πιο απαιτητικά ως προς την τεχνική κατασκευή τους.[62]

Τα γυαλιά αυτά ανήκουν στη κατηγορία των κόκκινων γυαλιών με χαμηλό ή ανύπαρκτο ποσοστό μολύβδου, και με μουντό στο χρώμα του συκωτιού, μάλλον σκοτεινό κόκκινο,[63] σε αντίθεση με τα κόκκινα γυαλιά με υψηλό ποσοστό μολύβδου (μέχρι και 24%) τα οποία παρουσιάζουν φωτεινό (sealing wax) κόκκινο χρώμα.[64]

Επιπρόσθετα, παρατηρείται σε αυτά και μια αδιαφάνεια που τα εντάσσει στην κατηγορία των θαμπών καφέ-κόκκινων γυαλιών.

Ως προς το χρώμα τους, ακόμα και το σχήμα τους, μιμούνται cameos, πολύτιμους και ημιπολύτιμους λίθους, γεγονός που συνηθιζόταν και στο παρελθόν,[65] με παράλληλη χρήση και άλλων μεταλλικών οξειδίων, όπως σιδήρου, μαγγανίου, μολύβδου.

Ιδιαιτερότητα του χρώματος των αντικειμένων αυτών αποτελεί ο συνδυασμός χαλκού - μολύβδου. Ένας τέτοιος συνδυασμός στα κόκκινα γυαλιά ήταν αρκετά διαδεδομένος κατά την 1η χιλιετία π.Χ.,[66] όπου το ποσοστό του μολύβδου ήταν αρκετά χαμηλό, ενώ αργότερα οι υαλουργοί γνωρίζοντας πλέον τις καλές ιδιότητες του μολύβδου επιδίωκαν να τις εκμεταλλευτούν,[67] κατασκευάζοντας γυαλιά με υψηλότερη περιεκτικότητα σε μόλυβδο.

Βέβαια, παρόλο που σε μεταγενέστερες περιόδους[68] είναι πλέον πολύ πιο συχνή η αναφορά σε κόκκινα γυαλιά με υψηλά ποσοστά χαλκού και μολύβδου, υπάρχουν και στοιχεία για παράλληλη χρήση και άλλων συνδυασμών των δύο οξειδίων των μετάλλων αυτών, όπως κόκκινων γυαλιών με χαμηλά ποσοστά τόσο χαλκού όσο και μολύβδου,[69] καθώς και γυαλιών με ενδιάμεσες συγκεντρώσεις που εναλλάσσονταν.[70] Στην τελευταία κατηγορία ανήκουν και τα μεσαιωνικά γυαλιά ποτάσας που κυριαρχούν στην Ευρώπη τον 12ο αιώνα.[71] Στην ομάδα αυτή κατατάσσεται και το γυαλί κατασκευής των μεταλλίων του Μουσείου Μπενάκη.

Η απουσία του μολύβδου από τη σύσταση των κόκκινων γυαλιών, αν και ήταν γνωστές οι ιδιότητές του, συνήθως οφειλόταν στην έλλειψη του κόκκινου γυαλιού ή του κατάλληλου λιθάργυρου ή της σκωρίας για την κατασκευή του[72] (έλλειψη παραπροϊόντων). Όμως, στην περίπτωση των μεταλλίων, μπορεί να ήταν και συνειδητή με σκοπό την πιο επιτυχή μίμηση ορυκτών και ημιπολύτιμων λίθων, καθώς και την αύξηση της παραγωγής τέτοιων αντικειμένων για συγκεκριμένες χρήσεις (αναμνηστικά προσκυνήματος) με μειωμένο κόστος και χαμηλότερη ποιότητα.[73] Όσον αφορά το μικρό ποσοστό του μολύβδου που ανιχνεύθηκε, αυτό μπορεί να οφείλεται στην εντελώς τυχαία εισαγωγή του μέσω της χρήσης παραπροϊόντων, διαδικασία που σχετίζεται και με άλλα οξείδια της σύστασης του γυαλιού κατασκευής τους.

Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη, εκτός από τη σύσταση του γυαλιού, και τα παραπάνω στοιχεία της σύστασης του χρώματος των μεταλλίων, συμπεραίνουμε ότι τα αντικείμενα του Μουσείου Μπενάκη κατασκευάστηκαν στη Δύση, εκτίμηση που συμφωνεί και με τα αντίστοιχα ιστορικά δεδομένα.[74] Η Βενετία ή ίσως η ευρύτερη περιοχή της, ως πιο συγκεκριμένη περιοχή προέλευσης, με βάση πάλι τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης, είναι πολύ πιθανή.[75] Μάλιστα, έχει αναφερθεί η κατασκευή κόκκινων γυαλιών και σμάλτων και σε εργαστήρια των Άλπεων, όπου γινόταν χρήση μόνο ποτάσας ή μολύβδου την ίδια περίπου περίοδο.[76]

Η αλήθεια είναι ότι στη Βενετία και την ευρύτερη περιοχή της οι ανασκαφές για την περίοδο που μας ενδιαφέρει είναι ελάχιστες και έχουν ξεκινήσει τα τελευταία χρόνια.[77] Παρά ταύτα, υπάρχουν κάποιες αναφορές για την κατασκευή όχι μόνο δύο διαφορετικών συστάσεων γυαλιού (σόδας - ποτάσας)[78] αλλά και δύο διαφορετικών ποιοτήτων του. Ως προς την ποιότητα, η μία ομάδα περιλάμβανε ένα καλά αποχρωματισμένο γυαλί, ενώ η δεύτερη ένα όχι καλά αποχρωματισμένο γυαλί, διαφορές που οφείλονται στο είδος και την καθαρότητα των πρώτων υλών καθώς και στη διαδικασία εξευγενισμού τους.[79]

Στην περίπτωση των υπό εξέταση μεταλλίων, ίχνη χαλαζία ως πηγή του πυριτίου, τα οποία συνήθως υποδηλώνουν προέλευση από περιοχές που έδιναν υψηλής ποιότητας γυαλί (όπως το Μιλάνο ή το Τορίνο), δεν αποκαλύφθηκαν από τη μικροσκοπική παρατήρηση. Άρα, η πρώτη ύλη για το γυαλί θα μπορούσε να προέρχεται από κάποια άλλη περιοχή που παρείχε πρώτη ύλη για χαμηλής ποιότητας γυαλί (όπως π.χ. η Βερόνα).[80]

Η μειωμένη ποιότητα της πηγής του πυριτίου επιβεβαιώνεται και από τα υψηλά ποσοστά του ασβεστίου και της αλουμίνας που ανιχνεύθηκαν στα μετάλλια.[81] Ενδεχομένως και ο χρωματισμός των μεταλλίων να βασίστηκε στη χρήση χαμηλής ποιότητας πρώτων υλών, όπως για παράδειγμα η επιλογή κάποιου ορυκτού προέλευσης του μαγγανίου από συγκεκριμένες περιοχές που περιείχε μεγαλύτερα ποσοστά σιδήρου[82] ή συνειδητά επιλεγμένων δευτερευόντων προϊόντων.

Στο ερώτημα αν η σύσταση και ο χρωματισμός των μεταλλίων προήλθε από παραπροϊόντα, η απάντηση είναι μάλλον θετική. Μάλιστα, σε ό,τι αφορά τον χρωματισμό τους, αυτός οφείλεται σε παραπροϊόντα πλούσια σε χαλκό.[83] Βιβλιογραφικά έχει αναφερθεί ότι σε αυτή την περίοδο το κόκκινο γυαλί ή το κόκκινο σμάλτο συνδέονταν περισσότερο με μεταλλουργικά

εργαστήρια, παρά με την παραγωγή αυτή καθαυτή του γυαλιού.[84] Αυτού του είδους η άποψη μάλλον οφείλεται στη δυσκολία χρωματισμού του γυαλιού με την προσθήκη του χαλκού υπό μορφή μετάλλου. Για τον λόγο αυτό, ο χαλκός εισαγόταν υπό μορφή κάποιας ουσίας που ενσωματωνόταν και διαλυόταν πιο εύκολα και άμεσα στο τήγμα γυαλιού. Γινόταν λοιπόν χρήση κάποιας βαθμίδας χαλκού από μεταλλουργικά εργαστήρια, ή ο υαλουργός απλά θέρμαινε στο πυριατήριο ψήγματα του μετάλλου αυτού (εισαγόμενα ή μη) μέχρι το στάδιο της οξείδωσης και στη συνέχεια τα κονιορτοποιούσε και τα διέσπειρε στο τήγμα του γυαλιού.[85] Ενδέχεται και να τοποθετούσε δύο διαφορετικών αποχρώσεων αδιαφανή τήγματα γυαλιού στο ίδιο χωνευτήριο, τα οποία στη συνέχεια ανάδευε δημιουργώντας ένα νέο μίγμα.[86]

Στα μετάλλια του Μουσείου Μπενάκη οι δύο τελευταίες διεργασίες χρωματισμού είναι πιθανότερο να έχουν εφαρμοστεί, καθώς δεν ανιχνεύθηκαν άλλα στοιχεία (όπως άργυρος, χρυσός, ψευδάργυρος ή κασσίτερος), τα οποία έχουν πιο άμεση σχέση με παραπροϊόντα μεταλλουργικών εργαστηρίων.[87] Ο μόλυβδος μάλιστα, που επίσης χαρακτηρίζει τέτοιου είδους μεταλλουργικές ύλες, είναι είτε απών είτε ελάχιστος μόνο ως ακαθαρσία λόγω της διαδικασίας ανακύκλωσης. Το ίδιο μπορεί να ισχύει και για τον σίδηρο ή το μαγγάνιο.

Η πολυπλοκότητα της κατασκευής τέτοιων γυαλιών που περιέχουν μια σειρά από διαφορετικά οξείδια μετάλλων σε διάφορες περιεκτικότητες –στοιχεία οφειλόμενα στη χρήση χαμένων σήμερα συνταγών που από ό,τι έχει βιβλιογραφικά αναφερθεί περιορίζονταν σε μικρές ομάδες υαλουργών ή σε οικογένειες– συνιστά παράγοντα που δυσκολεύει τον ακριβή προσδιορισμό των πηγών τέτοιων γυαλιών καθώς και τυχόν εξειδικευμένων εργαστηρίων.[88] Επιπλέον, είναι αρκετά δύσκολο να απαντήσει κανείς με σιγουριά σε ερωτήματα σχετικά με τη χρήση ενός μεταλλουργικού παραπροϊόντος ή ανακυκλωμένου ή πρωτογενούς προϊόντος ή προϊόντος μέσων συναλλαγών (εμπόριο), αλλά και με τη συνειδητή ή μη προσθήκη αυτού καθώς και του επιδέξιου ή μη χειρισμού από τον υαλουργό.

Τα ιστορικά στοιχεία, έτσι όπως παρουσιάστηκαν από τη Φωσκόλου, τα κοινά χαρακτηριστικά της τεχνικής κατασκευής καθώς και η ομοιομορφία των αποτελεσμάτων ανάλυσης των βασικών οξειδίων μετάλλων στη σύσταση του γυαλιού και του χρώματος, αποτελούν στοιχεία που υποστηρίζουν έναν κοινό τόπο και χώρο κατασκευής.

Ένας πολύ καλός τρόπος αποκόμισης πιο αξιόπιστων πληροφοριών είναι η έρευνα και άλλων περιοχών προέλευσης γυαλιών κατά τη μεσαιωνική περίοδο, καθώς και η μελέτη νεότερων δειγμάτων γυαλιών παρασκευασμένων με τέτοιο τρόπο ώστε να επικρατούν παρόμοιοι συνδυασμοί συνθηκών θέρμανσης, αναμίξεις και προσμίξεις κατά την παραγωγή κόκκινων γυαλιών.[89] Έτσι, με την έρευνα και την καταγραφή της κατασκευής και της σύστασης περισσότερων κόκκινων γυαλιών και από άλλες περιοχές της μεσαιωνικής περιόδου θα έρθουν στο φως περισσότερες και πιο τεκμηριωμένες απαντήσεις.

Δέσποινα Κοτζαμάνη
*Συντηρήτρια του Τμήματος Μετάλλου και Γυαλιού του Μουσείου Μπενάκη*
*e-mail:kotzamani@benaki.gr*

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ

* Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους Γ. Οικονόμου και Μ. Σακαλή του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), για την παροχή των αποτελεσμάτων των αναλύσεων με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης.

1. Οι περισσότεροι μελετητές τέτοιων μεταλλίων αναφέρονται σε μετάλλια κατασκευασμένα από υαλόμαζα. Ο όρος αυτός (glass paste) από τεχνικής πλευράς σχετίζεται περισσότερο με τα πρώιμα γυαλιά όπου το τήγμα γυαλιού δεν έχει φτάσει σε υψηλή θερμοκρασία ώστε να γίνει ομοιογενές. Φαινόμενο ανομοιογένειας δεν παρατηρήθηκε στα μετάλλια του Μουσείου Μπενάκη και πιθανόν να μη παρατηρείται και στα αντίστοιχα μετάλλια ανά τον κόσμο. Για τον λόγο αυτό, τα μετάλλια είναι καλύτερα να αναφέρονται ως μετάλλια από γυαλί.

2. Βλ. στον παρόντα τόμο, V. Foskolou, Glass medallions with religious themes in the Byzantine Collection at the Benaki Museum: a contribution to the study of the pilgrim tokens in Late Middle Ages.

3. Λόγω της περιορισμένης χωρητικότητας του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (ύψ. 3,5 εκ. και πλ. 7 εκ.), έπρεπε να επιλεγούν τα μετάλλια εκείνα που διέθεταν τις πλησιέστερες σε αυτά τα δεδομένα διαστάσεις.

4. Η εξαγωγή δείγματος ήταν ανέφικτη, διότι σχεδόν όλα τα μετάλλια του Μουσείου Μπενάκη έχουν πολύ μικρό μέγεθος και βέβαια η διαδικασία αυτή θα μπορούσε να προκαλέσει από μικρορηγματώσεις (στην καλύτερη περίπτωση) μέχρι και σπάσιμο.

5. R. Newton – S. Davison, *Conservation of glass* (London 1989).

6. Ε. Κοντού – Δ. Κοτζαμάνη – Β. Λαμπρόπουλος, *ΓΥΑΛΙ. Τεχνολογία, διάβρωση και συντήρηση* (Αθήνα 1995).

7. G. A. Cox κ.ά., A Study of the Weathering Behaviour of Medieval Glass from York Minister, *Journal of Glass Studies* 21 (1974) 54-75.

8. Κατά Brill οι κρύσταλλοι δενδριτών μπορούν να παρατηρηθούν σε μεγεθύνσεις της τάξης των 40x, ενώ οι λεπτοί μικροί κρύσταλλοι αφορούν γυαλιά στα οποία η δενδρίτες δεν μπορούν εντοπιστούν ούτε σε μεγενθύσεις των 200x, R. H. Brill – N. D. Cahill, A red opaque glass from Sardis and some thoughts on red opaques in general, *Journal of Glass Studies* 30 (1988) 16-27.

9. Θα ήταν πολλή σημαντική η εκμετάλλευση των οπτικών δυνατοτήτων που παρέχει το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, όπως μεγαλύτερο βάθος πεδίου και πίσω σκεδασμός. Δυστυχώς, στην προκειμένη περίπτωση αυτό δεν ήταν εφικτό.

10. Και όχι της πλάγιας τομής (λόγω του περιορισμένου ύψους που διαθέτει το μηχάνημα), οπότε τα αποτελέσματα θα ήταν ακόμη πιο αντιπροσωπευτικά.

11. Που οφείλονται στη διαφορετική θερμική διαστολή του γυαλιού και του καλουπιού, M. Cable – J. W. Smedley, The replication of an opaque red glass from Nimrud, στο: M. Bimson – I. C. Freestone (eds), *Early Vitreous Materials* (= *British Museum Occ. Paper* 56, London 1987) 151-64.

12. Που δημιουργούν ένα λαμπερό κόκκινο (sealing wax) ως αποτέλεσμα της χρήσης υψηλού ποσοστού μολύβδου. Για τον λόγο αυτό, εντάσσονται στη κατηγορία των κόκκινων γυαλιών με χαμηλό ή εντελώς ανύπαρκτο μόλυβδο που δίνουν ένα μουντό, σκοτεινό (σε χρώμα του συκωτιού) κόκκινο, M. Bimson, Opaque red glass, στο: Bimson – Freestone (ό.π.) 165-71.

13. A. Fischer – W. P. McCray, Glass production Activities as practiced at Sepphoris, Israel (37 B.C. - A.D. 1516), *Journal of Archaeological Science* 26 (1999) 893-905.

14. *ibid.*

15. Σύμφωνα με τους Fischer και McCray το ποσοστά των αλκαλίων $K_2O$ και $Na_2O$ στη σύσταση των γυάλινων αντικειμένων που έχουν μορφοποιηθεί με τη μέθοδο της χύτευσης είναι υψηλότερα από αυτά της σύστασης των φυσητών γυαλιών. Αντίστοιχα, τα χυτά γυαλιά παρουσιάζουν χαμηλότερες συγκεντρώσεις $SiO_2$, CaO, MgO και $Al_2O_3$. Οι συγκεντρώσεις των υπόλοιπων στοιχείων μεταξύ των δύο αυτών ομάδων είναι ίδιες, Fischer – McCray (σημ. 13).

16. Το διοξείδιο του πυριτίου είναι η βάση του γυαλιού.

17. Τα λεγόμενα ευτηκτικά, δηλαδή οξείδια που μειώνουν το σημείο τήξεως του γυαλιού.

18. Εξισορροπεί τα δυσμενή αποτελέσματα από την παρουσία των αλκαλίων, αυξάνοντας την ανθεκτικότητα των γυαλιών.

19. Newton – Davison (σημ. 5).

20. D. Whitehouse – L. Pilosi – M. T. Wyryski, Byzantine Silver Stain, *Journal of Glass Studies* 42 (2000) 85-96· I. C. Freestone, Composition and Affinities of glass from the furnaces on the island site Tyre, *Journal of Glass Studies* 44 (2002) 67-77.

21. I. Merchant κ.ά., Medieval Glass Making Technology: The corrosive nature of glass, στο: A. Sinclair – E. Slater – J. Gowlett (eds), *Archaeological Sciences* 64 (1997) 31-37.

22. M. Uboldi – M. Verita, Scientific Analyses of glasses from late Antique and early medieval Archaeological Sites in Northern Italy, *Journal of Glass Studies* 45 (2003) 115-35.

23. Natron: ευτηκτικό υλικό που προέρχεται από στάχτες καμένων φυτών από έλη με αλατούχο νερό που περιέχουν μεγάλο ποσοστό σόδας.

24. K. H. Wedepohl, Chemical Composition of Medieval glass from excavations in West Germany, *Glastechnische Berichte* 70,8 (1997) 246-55.

25. Freestone (σημ. 20).

26. *Ibid.*

27. Newton – Davison (σημ. 5).

28. Κοντού – Κοτζαμάνη – Λαμπρόπουλος (σημ. 6).

29. I. C. Freestone – Y. Gorin-Rosen, The great glass slab at Bet She'arim: An early glass making experiment, *Journal of Glass Studies* 41 (1999) 105-16.

30. J. W. H. Scheurs – R. H. Brill, Iron and Sulfate related colors in ancient glasses, *Archaeometry* 26 (1984) 199-209.

31. Uboldi – Verita (σημ. 22).

32. Whitehouse – Pilosi – Wyryski (σημ. 20).

33. J. Henderson, An unusual fourth century bowl from Dorchester, Doriet, England, *Journal of Glass Studies* 35 (1993) 120-35.

34. Whitehouse – Pilosi – Wyryski (σημ. 20).

35. Cable – Smedley (σημ. 11).

36. Brill – Cahill (σημ. 8).

37. I. Freestone, Looking into Glass, στο: S. Bowman (ed.), *Science and the Past* (London 1991).

38. I. C. Freestone, Composition and Microstructure of early opaque red glass, στο: Bimson – Freestone (σημ. 11) 165-71.

39. C. P. Stapleton – I. C. Freestone – S. G. E. Bowman, Composition and Origin of Early Medieval Opaque Red Enamel from Britain and Ireland, *Journal of Archaeological Science* 26 (1999) 913-22.

40. Όπως τα γυαλιά από τον Όσιο Λουκά (10ος αιώνας), τα οποία είχαν μερικώς αδιαφανοποιηθεί από την ανάμιξη κονιορτοποιημένων κρυστάλλων χαλαζία με το τήγμα του γυαλιού, Freestone (σημ. 37).

41. Newton – Davison (σημ. 5).

42. I. C. Freestone – C. P. Stapleton – V. Rigby, The production of red glass and enamel in the Late iron Age, Roman and Byzantine periods, στο: Ch. Entwistle (ed.), *Through a glass Brightly* (2003) 142-54.

43. Από τον 2ο αι. π.Χ. και μετά, μαύρο γυαλί παραγόταν με τη χρήση αρκετά υψηλού ποσοστού (πάνω από 10%) οξειδίου του σιδήρου, Freestone (σημ. 20)· Brill – Cahill (σημ. 8).

44. Newton – Davison (σημ. 5).

45. Freestone (σημ. 38).

46. Γυαλιά που παρουσιάζουν διαφανές πράσινο σε ανακλώμενο φωτισμό και διαφανές κόκκινο σε διερχόμενο φωτισμό. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στη διασπορά του αργύρου και του χρυσού και σε κάποιο βαθμό και του μαγγανίου (για το κόκκινο) στο τήγμα του γυαλιού, Brill – Cahill (σημ. 8).

47. Stapleton – Freestone – Bowman (σημ. 39).

48. Η καθίζηση προκύπτει στο αρχικό στάδιο της τήξης του γυαλιού, όταν κάποια από τα οξείδια μετάλλου αντιδρούν πιο εύκολα μεταξύ τους από κάποια άλλα (όπως χαλκός - μόλυβδος - πυρίτιο), διαφοροποιώντας έτσι την πυκνότητα σε ορισμένες περιοχές στο γυαλί. Το αρχικό τήγμα που δημιουργείται, έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από το τελικό προϊόν, είναι περισσότερο ρευστό, με αποτέλεσμα να ρέει πιο εύκολα στον πάτο του καλουπιού και να παραμένει εκεί, Cable – Smedley (σημ. 11).

49. Είναι συνειδητή η προσθήκη του όταν ανιχνεύεται σε ποσοστά πάνω από 10%. Freestone – Stapleton – Rigby (σημ. 42)· M. Verita, Analytical Investigation of European Enameled Beakers of 13th and 14th centuries, *Journal of Glass Studies* 37 (1995) 83-98.

50. Συναφές στοιχείο με τα αδιαφανή κόκκινα γυαλιά και ανιχνεύεται σε συγκεντρώσεις μέχρι και 40% σε γυαλιά σόδας. Θεωρείται υπεύθυνο για την ανάπτυξη των κρυστάλλων του κυπρίτη, ενώ παράλληλα μειώνει την τάση του γυαλιού να αφυαλωθεί (κακός σχηματισμός κρυστάλλων στη μάζα του γυαλιού), με αποτέλεσμα την αύξηση του δείκτη διάθλασης του γυαλιού βελτιώνοντας την οπτική και τις ιδιότητες του γυαλιού ως προς τη μίμηση των λίθων. Επίσης, ευνοεί την υψηλή σχέση μεταξύ του $Cu^{++}/Cu^{+}$ και την παραγωγή ενός κόκκινου γυαλιού αντί του πράσινου. Μειώνει το σημείο τήξης του γυαλιού παρέχοντας τη δυνατότητα καλύτερης εφαρμογής (όπως με τα σμάλτα), Verita (ό.π.)· E. V. Sayre – R. W. Smith, Compositional Categories of Ancient Glass, *Science* 133 (1961) 1824-26.

51. Λειτουργεί ως αποχρωματιστής για διαφανή γυαλιά και επιτυγχάνει ένα γυαλί ελεύθερο από αποχρώσεις που έχουν προκληθεί όταν είναι παρών ο σίδηρος, J. W. H. Scheurs – R. H. Brill, Iron and Sulfate related colors in ancient glasses, *Archaeometry* 26 (1984) 199-209· Freestone – Gorin-Rosen (σημ. 29) 105-16, ή επιτρέπει στα γυαλιά να αποκτήσουν κεχριμπαρί χρώμα (όπως στα ισλαμικά γυαλιά), Freestone – Stapleton – Rigby (σημ. 42). Στη ρωμαϊκή περίοδο ανιχνεύεται σε ποσοστά γύρω στο 0,1%, Ficher – McCray (σημ. 13). Το διοξείδιο του μαγγανίου μπορεί να έχει προέλθει από στάχτες φυτών και να είναι υπεύθυνο για τη μεταβολή του FeO σε $Fe_2O_3$, Merchant κ.ά. (σημ. 21) 31-37.

52. Freestone – Stapleton – Rigby (σημ. 42).

53. Freestone – Gorin-Rosen (σημ. 29).

54. Το σύνολο των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του γυαλιού.

55. Freestone – Gorin-Rosen (σημ. 51).

56. Freestone (σημ. 20).

57. Cable – Smedley (σημ. 11).

58. Τα γυαλιά που κατασκευάζονταν στην Ευρώπη τη χρονική περίοδο 50-100 μ.Χ. περιείχαν χαμηλά ποσοστά μαγνησίας και ποτάσας, Κοντού – Κοτζαμάνη – Λαμπρόπουλος (σημ. 6).

59. Έγιναν σημαντικές αλλαγές στη σύσταση των γυα-

λιών κατά τον 8ο και τον 9ο αιώνα, Freestone – Gorin-Rosen (σημ. 29).

60. J. Henderson – M. Mundell Mango, Glass at Medieval Constantinople Preliminary Scientific Evidence, στο: C. Mango – G. Dagron (eds), *Constantinople and its Hinterland* (Oxford 1993)· R. H. Brill, *Chemical Analysis of early Glasses* 1,2 (New York 1999).

61. Henderson – Mundell Mango (ό.π.).

62. Freestone (σημ. 37).

63. Τέτοια γυαλιά είχαν πρωτοεμφανιστεί στην Αίγυπτο στα μισά της 2ης χιλιετίας π.Χ. Ήταν βέβαια γυαλιά σόδας με υψηλά ποσοστά ποτάσας και μαγνησίας, Freestone (σημ. 20), τα οποία χρησιμοποιούνταν ως επί το πλείστον για χάνδρες, ενθέσεις και ως υποκατάστατο της κορναλίνης για τη διακόσμηση κοσμημάτων, Bimson (σημ. 12).

64. Που οφείλεται στους πολύ καλά αναπτυσσόμενους κρυστάλλους δενδριτών του κυπρίτη σε διασπορά σε ένα σχεδόν πλήρως άχρωμο δίκτυο γυαλιού, Bimson (σημ. 12).

65. Newton – Davison (σημ. 5).

66. Freestone (σημ. 20)· Bimson (σημ. 12)· Brill – Cahill (σημ. 8).

67. *Ibid.*

68. Όπως στην προρωμαϊκή, ρωμαϊκή και βυζαντινή περίοδο (αλλά μόνο γυαλιά σόδας), Freestone – Stapleton – Rigby (σημ. 42).

69. *Ibid.*

70. Freestone – Stapleton – Rigby (σημ. 42).

71. *Ibid.*

72. Στη ρωμαϊκή περίοδο τα χαμηλά ποσοστά χαλκού και μολύβδου στη σύσταση των γυαλιών είχαν σχέση με την έλλειψη του κόκκινου γυαλιού, Freestone – Stapleton – Rigby (σημ. 42).

73. Φωσκόλου (σημ. 2).

74. *Ibid.*

75. Την ίδια περίοδο (13ος-14ος αιώνας) έχει αναφερθεί και η κατασκευή γυαλιών σόδας, εφόσον η Βενετία εισήγαγε σόδα από στάχτες φυτών της Μέσης Ανατολής και μερικές φορές της Αιγύπτου, που αναπτύσσονταν σε χώματα που περιείχαν υψηλό ποσοστό χλωριούχου νατρίου (δεν ήταν πολύ καθαρή και τη χρησιμοποιούσαν για την κατασκευή κοινότυπων γυαλιών), Henderson – Mundell Mango (σημ. 60).

76. C. Pause, The origin of the enameled Beakers ad Co-lourless Ribbed Vessels of the 13th and 14th Centuries North of the Alps, *Rivista della Stazione Sperimentale del vetro* 23 (1993) 235-41.

77. Verita (σημ. 49).

78. Και γυαλιά σόδας και γυαλιά ποτάσας.

79. Verita (σημ. 49).

80. Πιθανολογείται η χρήση κάποιας πηγής του πυριτίου μειωμένης ποιότητας, όπως κονιορτοποιημένες πέτρες πυριτίου, σχετικά καθαρής άμμου, ή αμμόλιθο πλούσια σε χαλαζία ή χαλαζίτη, Freestone – Rosen (σημ. 29).

81. Henderson – Mundell Mango (σημ. 60).

82. Υπήρχαν υαλουργοί στη Βενετία που προτιμούσαν ορυκτό του μαγγανίου που προερχόταν από την Τοσκάνη ή τη Λιγουρία, το οποίο περιείχε υψηλότερο ποσοστό σιδήρου, D. Jacoby, Raw Materials for the glass Industries of Venice and the Terreferna about 1370 - about 1460, *Journal of Glass Studies* 35 (1993) 65-90.

83. Freestone – Stapleton – Rigby (σημ. 42).

84. Stapleton – Freestone – Bowman (σημ. 37).

85. Brill – Cahill (σημ. 8).

86. Ένας τρόπος απόδοσης εναλλακτικών χρωματικών στρωμάτων, Newton – Davison (σημ. 5).

87. Freestone – Stapleton – Rigby (σημ. 42).

88. *Ibid.*

89. Cable – Smedley (σημ. 11).

DESPINA KOTZAMANI

# Glass medallions with religious themes in the Byzantine collection at the Benaki Museum: technical analysis

The nine glass paste medallions in the Benaki Museum, examples of the minor arts of the mediaeval period, were subjected to examination in connection with the article by Vasiliki Foskolou: this involved visual observation, study of the microstructure and chemical analysis and aimed at confirming as far as possible that the resulting data was consistent with the historical arguments. A detailed study was made of five of the medallions (inv. nos 13546, 13525, 13522, 13524 and 13523), which were selected on the basis primarily of size and shape and secondarily of colour, taking into account the gradations and individual qualities which each object presented. For this purpose it was necessary to investigate the production techniques and to determine the quality and quantity of the components. Instruments used in the analysis were the stereoscope, the metallographic microscope and the electron scanning microscope (SEM).

The medallions were manufactured by the process of casting in a mould, and were made of mixed alkali glass (potassium, sodium, lime and silica) which falls into the category of potassium-rich forest-ash-glasses.

Glasses of this composition were widespread throughout Northwest Europe from the 8th-9th century A.D., while in the East there was a parallel use of plant-ash-based soda glasses, as substitutes for the earlier natron-based soda glasses. The source of the colour in the medallions was copper. This copper colouring technique was considered in antiquity as among the most demanding.

They fall within the category of red glasses with low or non-existent lead content, which are dull, darkish red (liver-coloured), by contrast with red glasses with a high lead content (up to 24%), which are bright sealing wax red. They also display an opacity which classifies them as dim red-brown glasses.

These glasses reproduce the colour and form of cameos, precious and semi-precious stones, which we have come across in other periods with a parallel use of other metal oxides such as iron, manganese and lead.

The copper: lead ratio is associated with a type of red glass which was fairly widespread –mainly in the 1st millennium B.C., since glassmakers afterwards recognised the superior qualities of lead and aimed to exploit them through the production of glass with increased lead content.

However, though there is more frequent reference to red glass with a high copper and lead content in later periods, indications can be found of a parallel use of other combinations of these two metal oxides and of glasses with variable intermediate concentrations. This last category includes mediaeval potassium glasses which were prevalent in 12th-century Europe. This category also includes the Benaki Museum medallions.

The absence of lead generally, in spite of its known qualities, can be attributed to the shortage of red glass or suitable litharge or slag for the manufacture of the glass (from the point of view of the use of secondary product). However in the case of the medallions it could have been deliberate, with the aim of the achieving a close resemblance to specifically designed minerals and semi-precious stones, as well as an increased output of objects of lower expense and quality to be used as pilgrim tokens. On the other hand the small content of lead which has been traced in certain medallions might be attributable to its entirely fortuitous introduction through the use of secondary products, a process which is associated with other oxides in the composition of the glass from which they were made.

The components of the medallions' colour, when taken with those of their glass, suggest that they were produced in the West, and this accords with the relevant historical data. The results of the chemical analysis again provide strong support for the attribution to Venice, or perhaps its wider region, as the specific area of manufacture. The truth is that there are certain indications of the production not only of two different components (potassium and soda) but also of two different qualities of glass. As regards quality, one group of glasses displays good discolourising agents, and the second poor discolourising agents: these variations derive from the nature and the purity of the primary materials and from the refining process (for example, the lower quality of the source of the silica or manganese).

To the question whether both the composition and the colouring of the medallions derives from secondary

products the answer is probably affirmative. As regards to the colouring, it probably derives from secondary products rich in copper. The bibliography states that at this period red glass or red enamel had close associations with the metallurgical industries rather than with the production of glass itself. This view is based on the difficulty of colouring glass by adding copper in the form of metal. For this reason copper was added in the form of a substance which could be dissolved and integrated more easily and quickly in the metal glass. Either a certain grade of copper was used by the metallurgical industries or the glassmaker simply heated in the crucible particles of metal (whether introduced or not) to the point of oxidisation and then crushed and dispersed them in the metal glass or placed opaque metal glasses of two different shades in the same crucible and stirred them so as to create a new blend.

The last two instances are perhaps the most relevant to the colouring of the Benaki Museum medallions, since no traces were found of other elements such as silver, gold, zinc or tin, which are more directly associated with the by-products of the metallurgical industries; while lead, which is also a feature of metallurgical materials of this type, is either absent or minimal in quantity, so that its presence may be explained as a contaminant in the recycling process. The same may apply to iron or manganese.

The complexity of the production of such glasses which contain a group of different metal oxides of varying content, composition and now lost techniques (which according to the bibliography were limited to small groups of glass-workers or to families), makes it difficult to approach the problem of the provenance of such glasses and the location of a specialised factory. It is also hard to respond with any certainty to questions concerning the use of a metallurgical secondary product or a recycled or primary product or a commercially acquired product, in combination with the deliberate or unconscious additional element of skilful or unskilled handling by the glass-maker.

The historical evidence presented above, the common technical production features and the uniformity of the results of the analysis of the basic metal oxides in the composition of the glass and the colouring, attest to a common area and place of manufacture.

The most productive source of further reliable information is likely to be the study of glasses from other areas of the mediaeval world and an examination of similarly produced glasses of later periods, which involved comparable conditions of heating, blending and admixture in red glass manufacture. Research and documentation of the production and composition of further red glasses from other regions of the mediaeval world will allow further and better attested responses to the questions which still remain unanswered.