



Η αντιστρεψιμότητα στη χρήση στερεωτικών και συγκολλητικών μέσων σε αρχαιολογικά οστά

Σταμάτης Χ. Μπογιατζής, Ελένη Παναγιωτοπούλου και Γιώργος Παναγιάρης
ΤΕΙ Αθήνας, Τμήμα Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης, ΑγίουΣπυρίδωνος, 12210 Αιγάλεω

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κατάσταση διατήρησης των αρχαιολογικών οστών διαφέρει σημαντικά ανάλογα με το περιβάλλον ταφής. Στην περίπτωση οστών που έχουν υποστεί φθορά, θεμελιώδες στάδιο των εργασιών συντήρησης είναι η στερέωσή τους, διαδικασία στην οποία λαμβάνεται υπ' όψη το είδος της φθοράς του αντικείμενου που, μεταξύ άλλων, εξαρτάται από τις συνθήκες του ταφικού περιβάλλοντος. Επιτυγχάνουμε αντιστρεπτή στερέωση όταν όλη η ποσότητα του πολυμερικού στερεωτικού/συγκολλητικού μπορεί να αφαιρεθεί με τη χρήση διαλυτών χωρίς να επηρεάζεται η κατάσταση του οστού.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης με φασματοσκοπία FTIR της αντιστρεψιμότητας στη διαδικασία της στερέωσης με πολυακρυλικά και πολυβινυλικά στερεωτικά μέσα.



Φωτογραφία των δειγμάτων των οστών κατόπιν στερέωσης και συνακόλουθης αφαίρεσης των στερεωτικών (Paraloid B72, Primal AC33 and Mowilith 60, αντίστοιχα)

ΔΕΙΓΜΑΤΑ

Επιλέχθηκαν εγκαρσίως τετμημένα δείγματα αρχαιολογικού μηριαίου οστού της Πρωτοβυζαντινής περιόδου (6-7ου αιώνα) από την περιοχή της Ακρινής (πλησίον της Κοζάνης)

ΣΤΕΡΕΩΤΙΚΑ

Χρησιμοποιήθηκαν δυο ακρυλικές ρητίνες (Paraloid B72 και Primal AC33) και μια βινυλική ρητίνη (Mowilith 60)

Paraloid B72 συμπολυμερές από ethyl methacrylate and methyl acrylate

Primal AC33 συμπολυμερές από methyl methacrylate (MMA) και ethyl acrylate (EA)

Mowilith 60 polyvinyl acetate (PVA)

ADSORPTION DEPTH OF CONSOLIDANTS IN BONES

Η προσρόφηση και διεισδυτικότητα των στερεωτικών μέσων στο οστό ελέγχθηκε με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM) ως εξής: παρασκευάστηκαν διαλύματα των στερεωτικών στις κατάλληλες αναλογίες τα οποία χρωματίστηκαν με τη χρωστική Alizarin Red S ($C_{14}H_7O_7S Na$). Στη συνέχεια εμβάπτιση τα δοκίμια που προορίζονταν για τον έλεγχο για (α) εικοσιτέσσερις ώρες, (β) επτά ημέρες και (γ) δύο εβδομάδες. Μετά από κάθε εμβάπτιση τα δοκίμια παρατηρούνταν στο στερεομικροσκόπιο. Οι δοκιμές του χρόνου σταμάτησαν όταν στο μικροσκόπιο φάνηκε να έχει διεισδύσει η κόλλα. Τα δοκίμια της τελικής εμβάπτισης παρατηρήθηκαν στο SEM και αναλύθηκαν στοιχειακά, ώστε να ανιχνευτεί το θείο (S) ως μάρτυρας παρουσίας της χρωστικής.

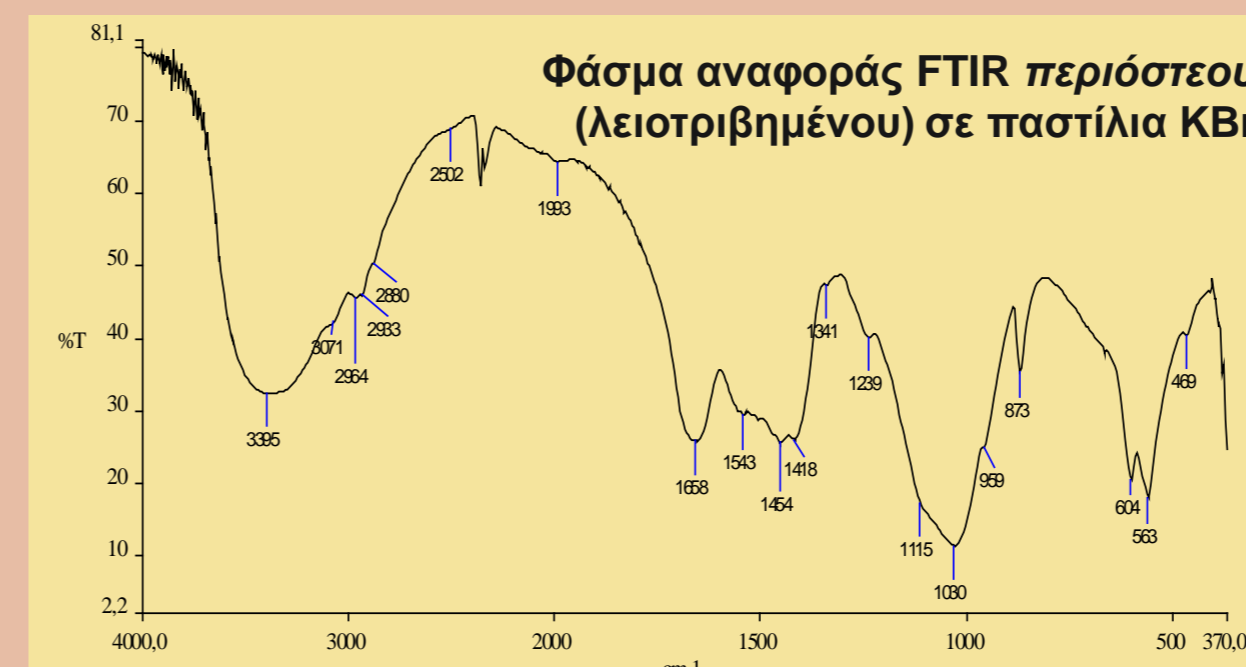
ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΤΩΝ ΣΤΕΡΕΩΤΙΚΩΝ

Η απομάκρυνση (αφαίρεση) των στερεωτικών από το οστό είναι το στάδιο-κλειδί στον έλεγχο της αντιστρεψιμότητας τη στερέωσης. Έγινε με εμβάπτιση των στερεωμένων δοκιμίων σε ακετόνη η οποία από προηγούμενες μελέτες φάνηκε ότι είναι πολύ πιο αποτελεσματική από άλλους διαλύτες (π.χ. νερό και αιθανόλη).

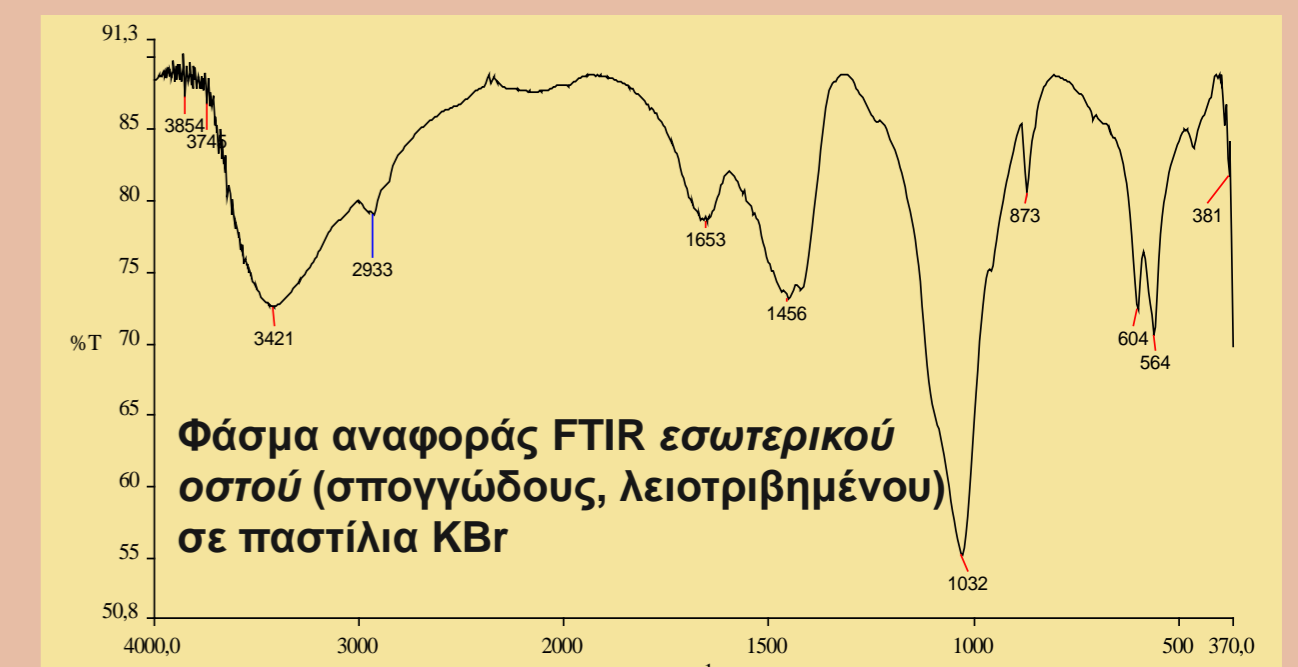
ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ FTIR ΣΤΑ ΟΣΤΑ

Η φασματοσκοπία υπερύθρου με μετασχηματισμό Fourier (FTIR) παρέχει πληροφορίες για την ύπαρξη των διαφόρων δεσμών οι οποίοι είναι παρόντες στις χημικές ενώσεις που απαρτίζουν ένα υλικό.

Στην περίπτωση των ανθρώπινων οστών, τα οποία αποτελούνται κυρίως από κολλαγόνο, υδροξυαπατίτη και ανθρακικά άλατα, παρατηρούνται σε ένα και μόνο φάσμα FTIR οι κορυφές όλων των παραπάνω συστατικών.

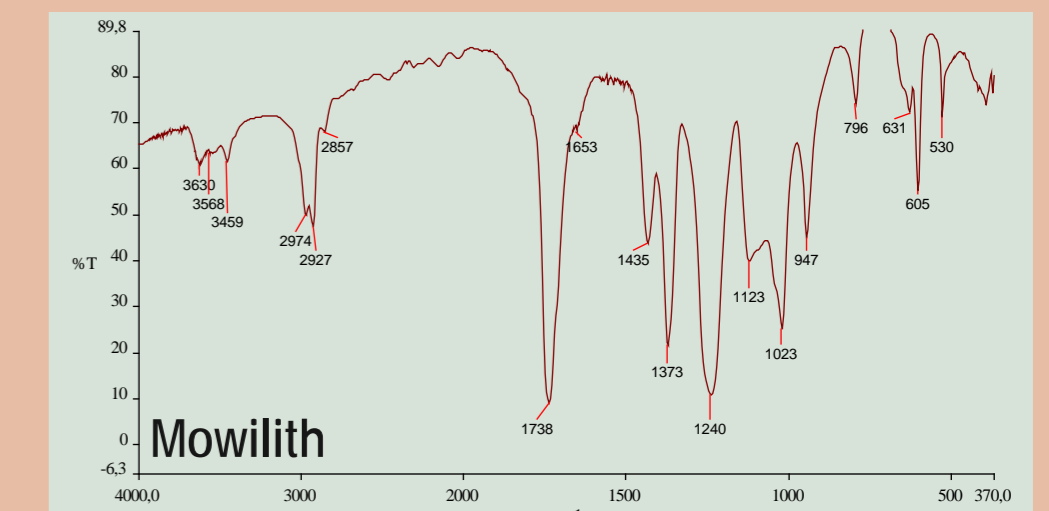
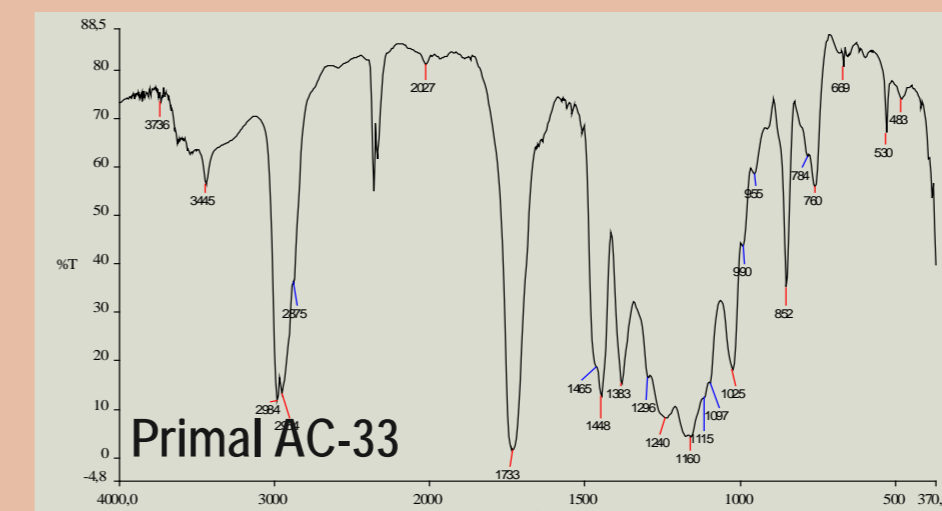
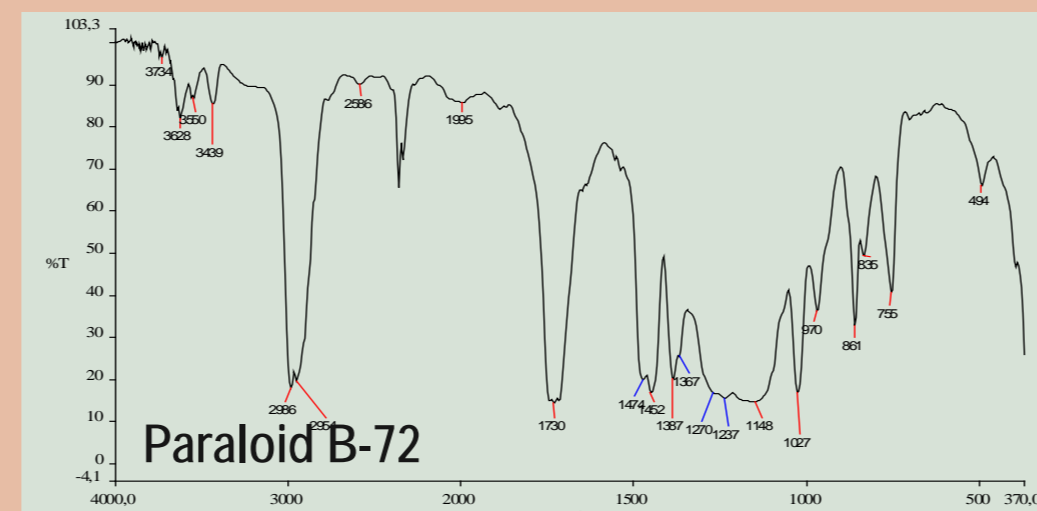


2502, 1454, 873, 713 CO_3^{2-} ν_3 Type A
3399 νNH , νNH_2 , 1658, 1543, 1237 (amide I, II, III) κολλαγόνο
1030 $\nu_3 PO_4^{3-}$ (sym), 603, 561 $\nu_4 PO_4^{3-}$ (asym) υδροξυαπατίτης



1456, 873, 713 CO_3^{2-} ν_3 Type A
3421 νNH , νNH_2 , 1653, (1550), 1237 (amide I, II, III) κολλαγόνο
1032 $\nu_3 PO_4^{3-}$ (sym), 604, 564 $\nu_4 PO_4^{3-}$ (asym) υδροξυαπατίτης

Φάσματα FTIR αναφοράς των ρητινών που χρησιμοποιήθηκαν στη στερέωση των οστών



ΦΑΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΡΗΤΙΝΩΝ ΣΤΕΡΕΩΣΗΣ

Στην περίπτωση των φασμάτων FTIR μιας συνθετικής ρητίνης (π.χ. ακρυλικών και βινυλικών πολυμερών) παρατηρούνται κορυφές σε συγκεκριμένους κυματοαριθμούς (cm^{-1}) οι οποίοι είναι σε πολλές περιπτώσεις διαφορετικοί από εκείνους των οστών.

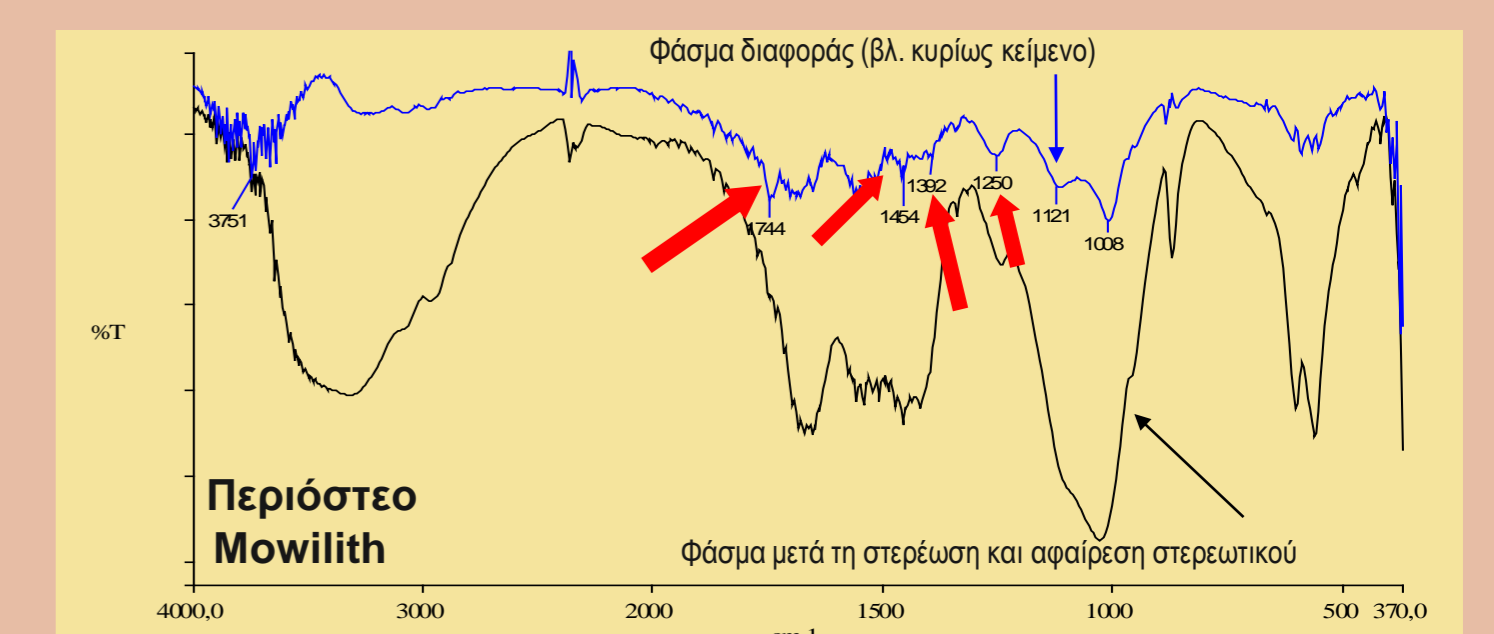
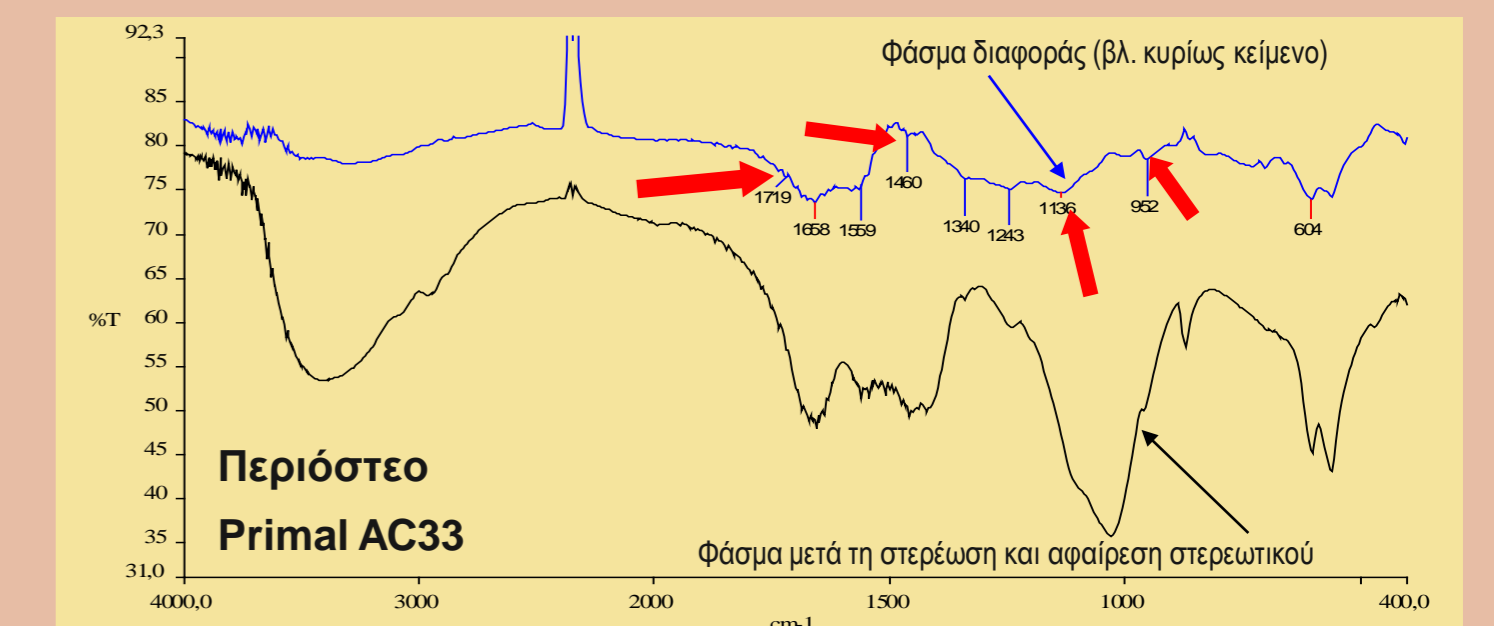
Αυτό σημαίνει ότι όταν λαμβάνεται φάσμα FTIR σε ένα σύνθετο υλικό (π.χ. στερεωμένο οστό, στο οποίο συνυπάρχει μια ποσότητα ρητίνης), μπορούμε να διακρίνουμε τις κορυφές του στερεωτικού από εκείνες του ίδιου του οστού.

ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΗΣ ΑΦΑΙΡΕΣΗΣ ΦΑΣΜΑΤΩΝ FTIR

Μια δυσκολία προκύπτει όταν αφαιρείται το στερεωτικό από το οστό, οπότε η ποσότητα της ρητίνης που χρησιμοποιήθηκε για τη στερέωση είναι σε εξαιρετικά μικρή ποσότητα (<2-3%). Τότε οι κορυφές της ρητίνης που εξακολουθεί να κατακρατείται στο οστό δεν είναι εμφανείς με την πρώτη εξέταση.

Σε αυτή την περίπτωση, η **αφαίρεση** από το φάσμα του στερεωμένου οστού, εκείνη του φάσματος του στερεωτικού, μπορεί να αποκαλύψει πιο καθαρά τις κορυφές της αντίστοιχης ρητίνης. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται από το λογισμικό επεξεργασίας των φασμάτων FTIR.

Στα διπλάνα φάσματα παρουσιάζονται τα **φάσματα διαφοράς (αφαίρεσης)**, των οστών στην αρχική κατάσταση, από εκείνα των οστών μετά την στερέωση και την απομάκρυνση των ρητινών. Με τα **κόκκινα βέλη** σημειώνονται οι κορυφές που αντιστοιχούν στα στερεωτικά



ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ FTIR

Περίοστο στερεωμένο με Mowilith	Κορυφές (ώμοι) στα 3751, 1739, 1462, 1252 cm^{-1} μαρτυρούν την παρουσία παραμένουσας ποσότητας Mowilith. Η απομάκρυνση του στερεωτικού δεν ήταν πλήρης.
Εσωτερικό οστού (σπογγώδες) στερεωμένο με Mowilith	Δεν ανιχνεύθηκαν κορυφές που να αντιστοιχούν στο Mowilith. Αυτό συμβαίνει είτε επειδή η ρητίνη δεν διείσδυσε αποτελεσματικά στο σπογγώδες, είτε επειδή η απομάκρυνση έγινε σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό.
Περίοστο στερεωμένο με Paraloid B72	Κορυφές (ώμοι) στα 1740, 1461, 1140, 957 μαρτυρούν οριακά μικρή ποσότητα Paraloid B72. Η απομάκρυνση του στερεωτικού ήταν ικανοποιητική.
Εσωτερικό οστού (σπογγώδες) στερεωμένο με Paraloid B72	Κορυφές (ώμοι) στα 1740, 1456, 1394, 1160, 970 μαρτυρούν μικρή ποσότητα Paraloid B72. Η απομάκρυνση του στερεωτικού ήταν οριακή.
Περίοστο στερεωμένο με Primal AC33	Μικρές κορυφές (ώμοι) στα (1719), 1460, 1340, 1136, 952 μαρτυρούν οριακά μικρή ποσότητα Primal AC33. Η απομάκρυνση του στερεωτικού ήταν ικανοποιητική.
Εσωτερικό οστού (σπογγώδες) στερεωμένο με Primal AC33	Κορυφές (ώμοι) στα 1740, 1455, 1340, 972 μαρτυρούν μικρή ποσότητα Primal AC33. Η απομάκρυνση του στερεωτικού ήταν οριακή.

ΠΟΣΟΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Προς ενίσχυση των ποιοτικών αποτελεσμάτων από τη φασματοσκοπία FTIR πραγματοποιήθηκε σταθμική ποσοτική μελέτη κατά την οποία διαπιστώθηκε ότι στα οστά κατακρατούνται ποσά ρητίνης, κατά μέσο όρο ίσα με 2.32%, 1.38% και 2.60% του βάρους του οστού στην περίπτωση του Paraloid B72, του Primal και του Mowilith αντίστοιχα. Μετά την αφαίρεση του στερεωτικού παρέμεινε στο οστό, αντίστοιχα, το 27%, 43% και 25% της ρητίνης που είχε αρχικά κατακρατηθεί κατά τη στερέωση. Τα ποσά αυτά έχουν διορθωθεί κατά το βάρος του αρχαιολογικού οστού που αποκολλήθηκε και συγκρατήθηκε στο διάλυμα κατά τη στερέωση και απομάκρυνση του στερεωτικού.

Τα ποσοτικά αυτά αποτελέσματα καταδεικνύουν το βαθμό στον οποίο επηρεάζονται τα οστά κατά τη διάρκεια τη διαδικασίας της στερέωσης και με αυτό τον τρόπο υποστηρίζουν τα φασματοσκοπικά δεδομένα.

Συμπερασματικά, με σκοπό την αξιοποίηση των αποτελεσμάτων, πρέπει να εκτιμηθεί από τους ερευνητές της βιολογικής ανθρωπολογίας μέχρι ποιου βαθμού αντιστρεψιμότητας είναι επιτρεπτή η διαδικασία της στερέωσης των αρχαιολογικών οστών.