



**Προστασία αντικειμένων εξαιρετικής πολιτιστικής αξίας:
Αντιμετώπιση φαινομένων ρωγμάτωσης επιστρωμάτων κατά
τη συντήρησή τους**

Χριστίνα Γιώτη, Αλεξάνδρα Παπαπαύλου, Μαρία
Κοσαρλή, Άγγελος Ντάφλος, Αλκιβιάδης Σ. Παϊπέτης



Περιεχόμενο Παρουσίασης

01

**Εισαγωγή-
Στόχοι**

02

**Μεθοδολογία-
Φασματοσκοπικές
Τεχνικές**

03

Αποτελέσματα

04

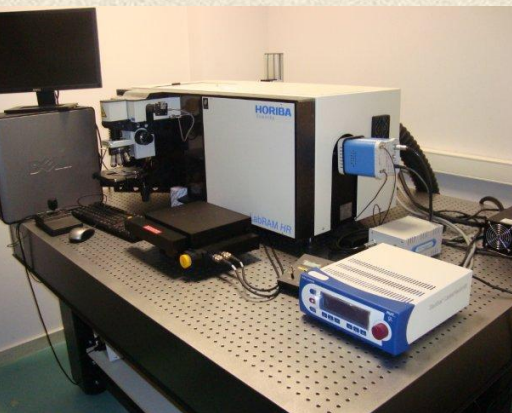
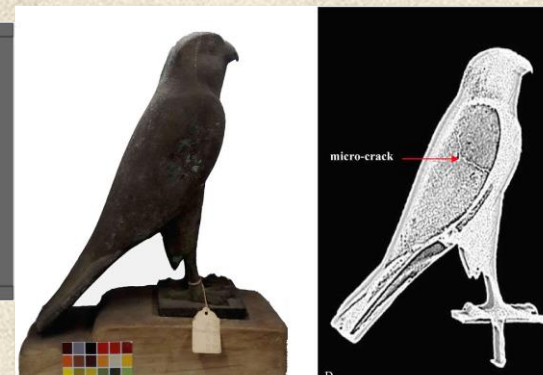
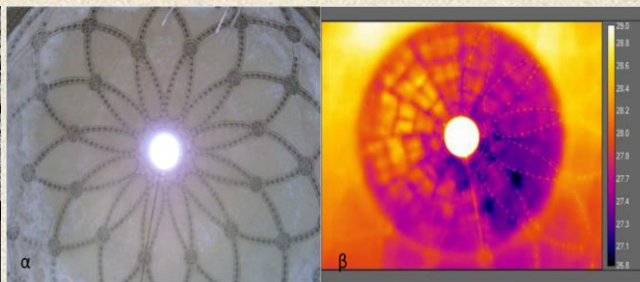
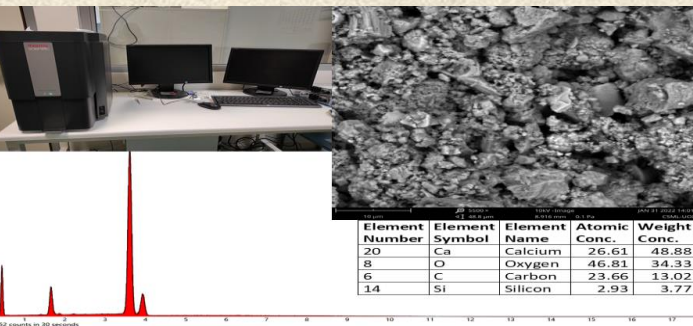
Συμπεράσματα



Εισαγωγή- Στόχος

Συνεχής βελτίωση των τεχνικών διατήρησης

Θεμελιώδης βασική προϋπόθεση: Αξιολόγηση και αναγνώριση των υλικών τεχνουργημάτων, η οποία θα προηγηθεί της στρατηγικής συντήρησης

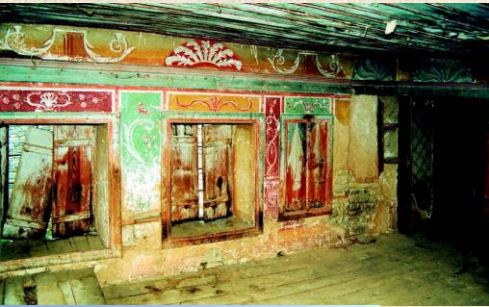


Εισαγωγή

Canvas and
Mortar

Διαδικασία η οποία ακολουθείται κατά τη συντήρηση- Πρωτόκολλο πλαισίωσης:

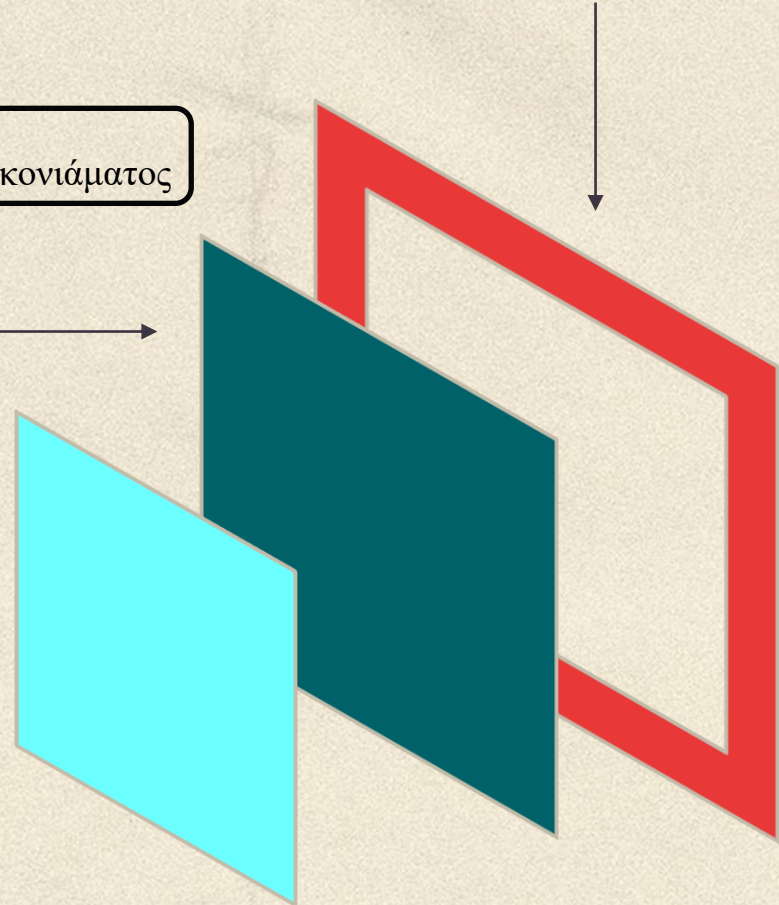
- I. Αφαίρεση από τον τοίχο
- II. Έκπλυση με νερό και αιθανόλη
- III. Επένδυση με ακρυλικό χρώμα (Primal)
- IV. Προσάρτηση σε καμβά πλαισίου με κόλλα (Vinavil) και μείγμα κονιάματος
- V. Ξήρανση σε θερμοκρασία δωματίου



Plaster



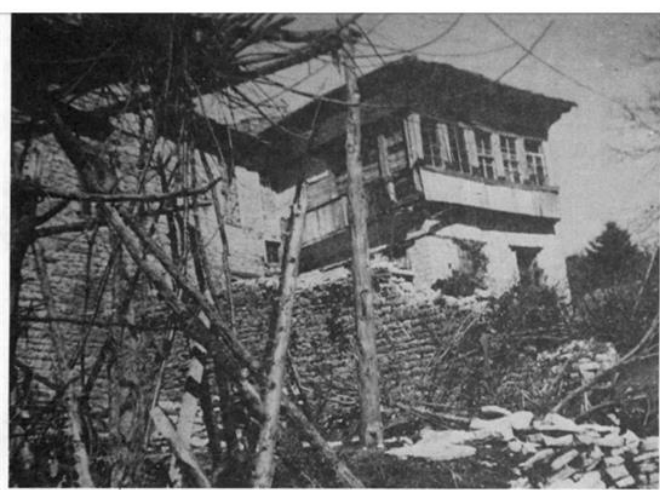
Painting



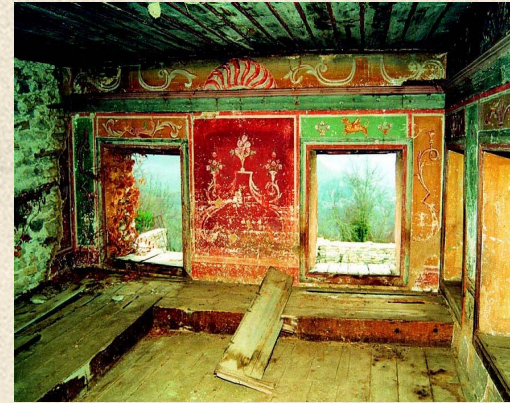
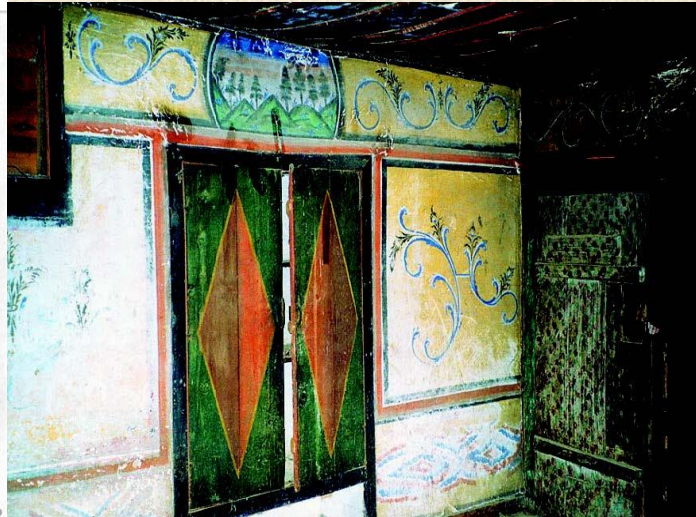
Εισαγωγή

Δύο τοιχογραφίες του 19ο αιώνα που εξήχθησαν από δύο διαφορετικά νεοκλασικά αρχοντικά στην περιοχή των Ιωαννίνων.

Στη δεύτερη τοιχογραφία, στο αρχοντικό Πλακίδα, παρατηρήθηκαν φαινόμενα κάμψης μετά τη χρήση του πρωτοκόλλου πλαισίωσης κατά τη διάρκεια της διαδικασίας συντήρησης.





Τό αρχοντικό σπίτι τού «Πλακίδα» στό Κουκούλι. Είναι χαρακτηριζόμενο από τήν 'Αρχαιολογική' Υπηρεσία όσν «διατηρητέο ιστορικό μνημείο». Κατά τό καλοκαίρι τού 1980 τό 'Υπουργείο Πολιτισμού δάθεσε 200.000 δρχ. γιά στερέωση και έπισκευή τής στέγης του. 'Αλλάτκα θά εχε δουλιάξει αύτή και θά ήταν άδύνατο νά γίνεταί λόγος γιά παραπέρα συντήρησης του.




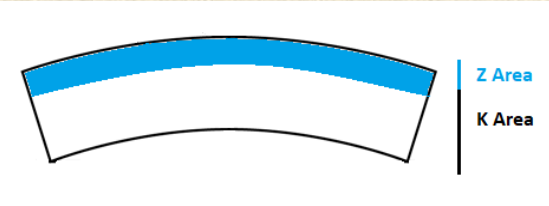




Εξήχθησαν δείγματα από το ζωγραφικό υπόστρωμα και το κονίαμα των δύο τοιχογραφιών



Εισαγωγή

- Τα δείγματα μελετήθηκαν με ολοκληρωμένη προσέγγιση, συνδυάζοντας  στοιχειομετρικές  φασματοσκοπικές τεχνικές

Painting 1 (P1)		 
Painting 2 (P2)		 

Εισαγωγή

Δείγμα P1z



Δείγμα P2z

Δείγματα 1/2z

Ζωγραφικό υπόστρωμα



Δείγματα 1/2k
Κονίαμα



Δείγμα P1k



Δείγμα P2k

Μεθοδολογία

Δομική Ανάλυση:

- Περίθλαση ακτίνων X (XRD)
- Φασματοσκοπία Raman
- Υπέρυθρη φασματοσκοπία

- Μικρο-Υπολογιστική Τομογραφία (μCT)
- Εμβάπτιση θαλάμου υγρασίας

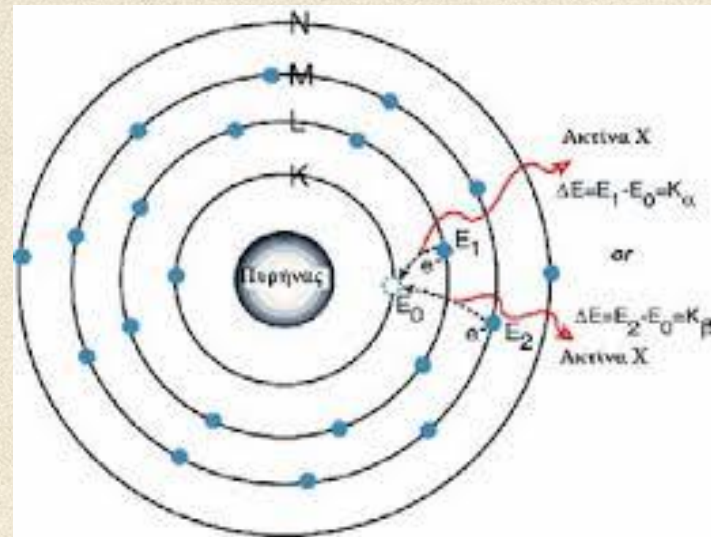
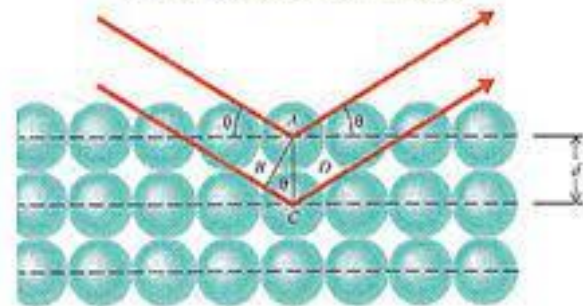
Μεθοδολογία- Περίθλαση ακτίνων X

Περίθλαση ακτίνων X (τεχνική της μεθόδου κόνεως):

- Ποιοτική ανάλυση
- Ποσοτική ανάλυση
- Ανάλυση δομής
- Προσδιορισμό τάσης στα μέταλλα
- Προσδιορισμό μεγέθους μορίων
- Αναγνώριση και αξιολόγηση πρώτων υλών

Περίθλαση ακτίνων X

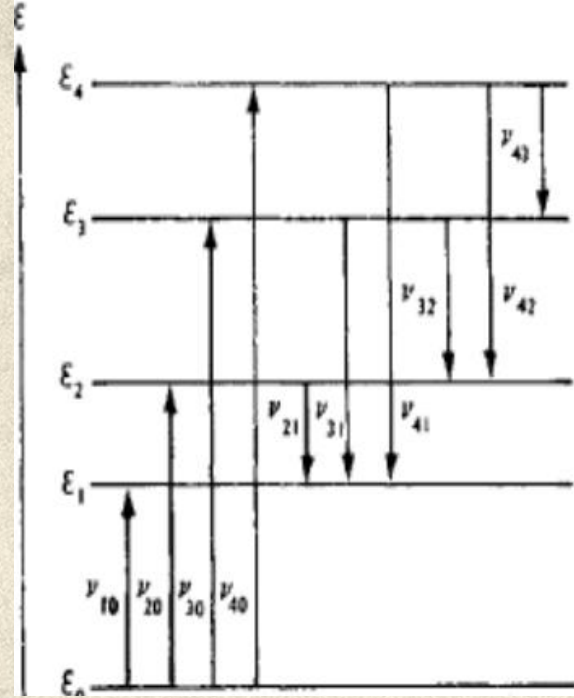
Νόμος του Bragg: $n \lambda = 2d \eta\mu\theta$



Μεθοδολογία - Φασματοσκοπία

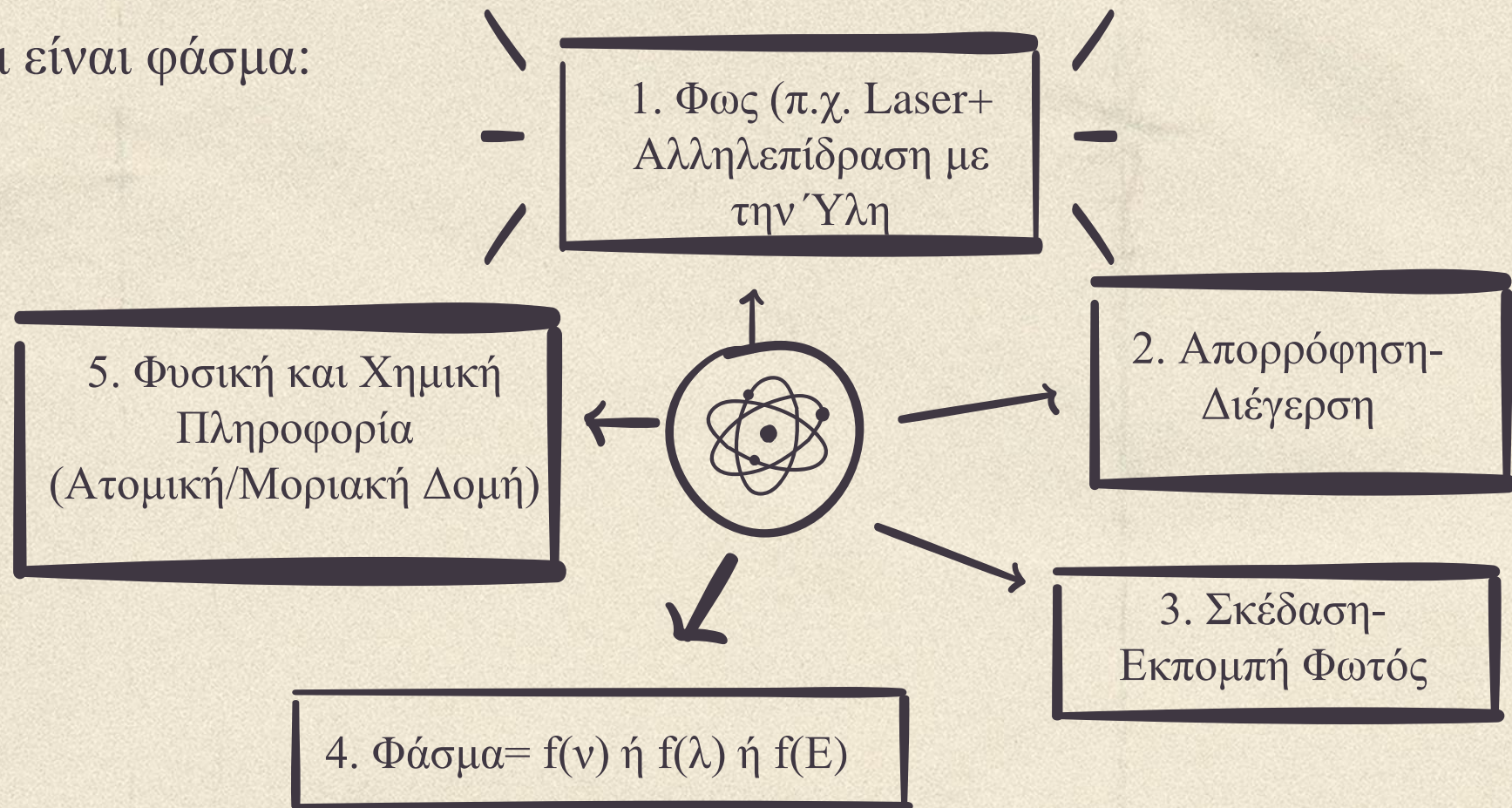
Φασματοσκοπία είναι το σύνολο των πειραματικών τεχνικών με τις οποίες μελετάται η αλληλεπίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολία με την ύλη (άτομα, μόρια, ιόντα). Η αλληλεπίδραση αυτή μπορεί να προκαλέσει ανακατεύθυνση της ακτινοβολίας ή/και μεταβάσεις μεταξύ των ενεργειακών σταθμών των ατόμων ή των μορίων:

- Η μετάβαση από ένα ενεργειακό επίπεδο προς ένα υψηλότερο με μεταφορά ενέργειας από την ακτινοβολία προς το άτομο ή το μόριο ονομάζεται **απορρόφηση**.
- Η μετάβαση από ένα ενεργειακά υψηλότερο επίπεδο σε ένα χαμηλότερο ονομάζεται **εκπομπή**, όταν η διεργασία συνοδεύεται από μεταφορά ενέργειας στο πεδίο της ακτινοβολίας.

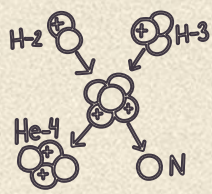


Μεθοδολογία - Φασματοσκοπία

Τι είναι φάσμα:



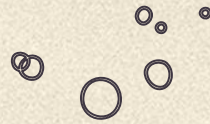
Μεθοδολογία - Φασματοσκοπία



Άρα το φάσμα παρέχει πληροφορίες για:

01. Ατομική και μοριακή δομή
(θεμελιώδεις φυσικοχημικές
ιδιότητες)

02. Φυσικοχημικές διεργασίες
(κινητική χημικών
αντιδράσεων)



03. Ανίχνευση και ανάλυση
ουσιών
(Τί και πόσο?)

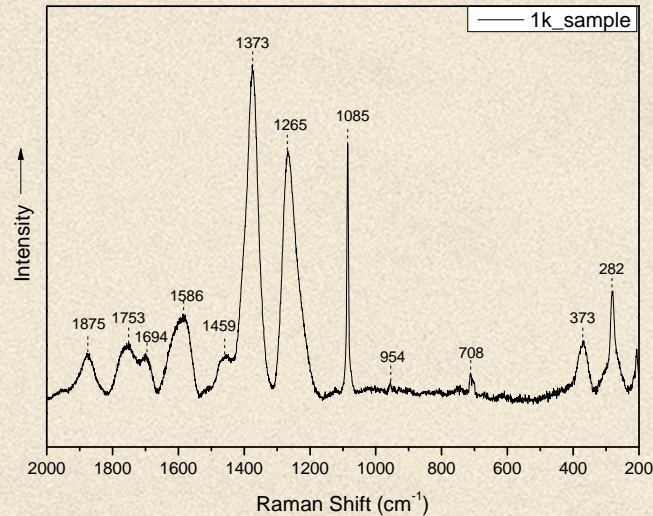
04. Απεικονιστική φασματοσκοπία
(Μικροσκοπία)



Μεθοδολογία – Φασματοσκοπία Raman

* Κάθε χημικό είδος δίνει το δικό του χαρακτηριστικό δονητικό φάσμα Raman, **το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον ποιοτικό του προσδιορισμό**. Γενικά, το φάσμα ενός είδους επηρεάζεται ελάχιστα από την ανάμιξη του με άλλα είδη.

* Η φασματοσκοπία Raman αποτελεί ένα ακόμα εργαλείο στην μελέτη του πολιτιστικού αποθέματος, καθώς πρόκειται για μια τεχνική η οποία μπορεί να δώσει πληροφορίες για τη δομή των μορίων μιας χημικής ένωσης και να επιβεβαιώσει - συνθέσει τα αποτελέσματα άλλων αναλύσεων.

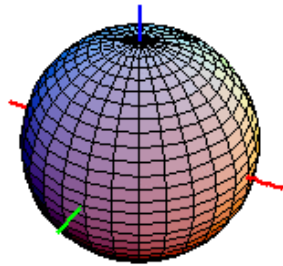


Μεθοδολογία – Φασματοσκοπία Raman

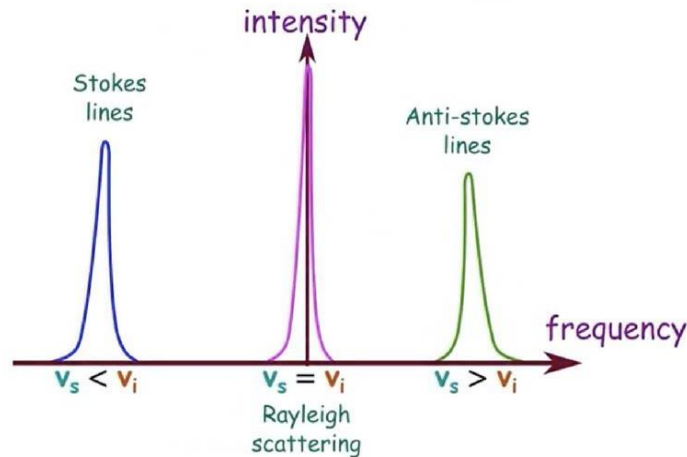
Τα φάσματα Raman έχουν της εξής μορφή:

Raman Spectroscopy

Basics and Principles



by: K.L. Sebastian



Άξονας xx': τα μήκη κύματος (ή κυματάριθμοι) σχετίζονται ως εξής:

$$\text{Μήκος κύματος} = \frac{1}{\text{Κυματάριθμος}}$$

Δηλώνουν πόσο άλλαξε η αρχική ακτινοβολία. Δηλαδή, πχ: μια δέσμη laser συχνότητας 532 nm έχει ως αποτέλεσμα μια ακτινοβολία με μικρότερο μήκος κύματος. Άρα ο άξονας xx' δηλώνει τη διαφορά

Άξονας yy': Δείχνει την ένταση Raman η οποία εξαρτάται από την ένταση του laser. Όσο πιο ισχυρό είναι το laser, τόσο πιο μεγάλες είναι οι κορυφές..

$$\Delta\nu = (\nu_{\text{αρχική}} - \nu_{\text{τελική}})$$

↓ ↓ ↓

Shift 532 nm Raman

Μεθοδολογία – Φασματοσκοπία Υπέρυθρου Μετασχηματισμού Fourier (FTIR)

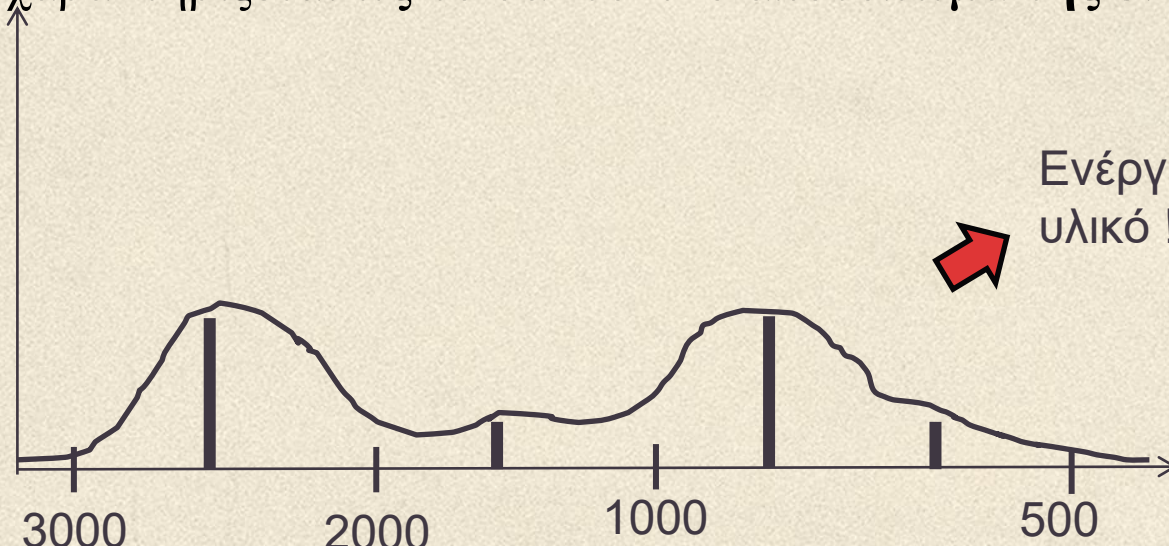
Η υπέρυθη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος εκτείνεται από το τέλος του ορατού φάσματος έως την περιοχή των μικροκυμάτων, δηλαδή μεταξύ 0,7 μm έως 300 μm , και διακρίνεται σε τρεις περιοχές:

- i. Το εγγύς υπέρυθρο (NIR) φάσμα που κυμαίνεται μεταξύ 0,8 μm έως 2,5 μm και αντιστοιχεί στους κυματαριθμούς 14.000-4.000 cm^{-1} .
- ii. Το μέσο υπέρυθρο (MIR) φάσμα που κυμαίνεται μεταξύ 2,5 μm έως 25 μm και αντιστοιχεί στους κυματαριθμούς 4.000-400 cm^{-1} .
- iii. Το άπω υπέρυθρο (FIR) φάσμα που κυμαίνεται μεταξύ 25 μm έως 300 μm και αντιστοιχεί στους κυματαριθμούς 400-10 cm^{-1} .

Βασικές μεταβολές στη δόνηση των μορίων λόγω απορρόφησης ακτινοβολίας.

Μεθοδολογία – Φασματοσκοπία Υπερύθρου Μετασχηματισμού Fourier (FTIR)

- Με την υπέρυθρη φασματοσκοπία είναι δυνατόν να προσδιοριστεί η μοριακή δομή και σύσταση οργανικών και ανόργανων ενώσεων, αλλά και ο προσανατολισμός των μορίων στον χώρο.
- Βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι έχει υψηλή διακριτική ικανότητα ανάλυσης (από πολύ μεγάλες συγκεντρώσεις ως το επίπεδο ιχνών μιας ένωσης). Αυτή η μεγάλη εκλεκτικότητά της κάνει το φάσμα που προκύπτει να χαρακτηρίζεται ως **το δακτυλικό αποτύπωμα της ένωσης**.



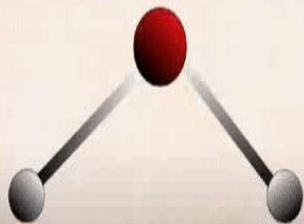
Ενέργεια που απορρόφησε το υλικό !!!

Εδώ ο άξονας x δεν είναι $\Delta\nu$ όπως το Raman, Είναι απλά ν (συχνότητα δόνησης)

Μεθοδολογία – Φασματοσκοπία - Δονήσεις

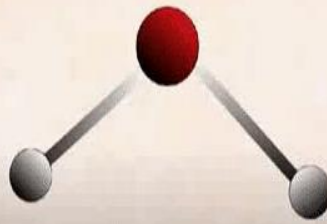
Stretching Vibrations

1. Symmetrical



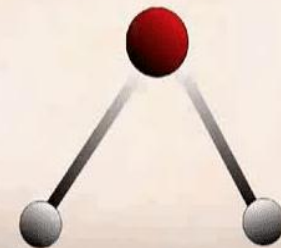
Stretching Vibrations

2. Antisymmetrical



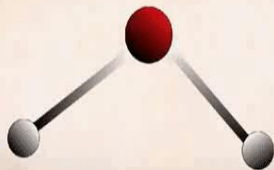
Bending Vibrations

1. Scissoring



Bending Vibrations

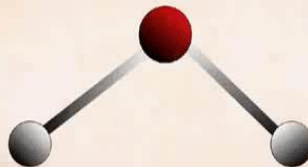
2. Rocking



Προτεινόμενο: How to Convert Voice to Text using Google Do

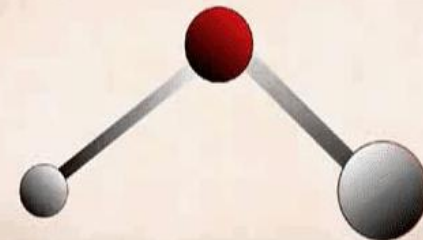
Bending Vibrations

3. Wagging



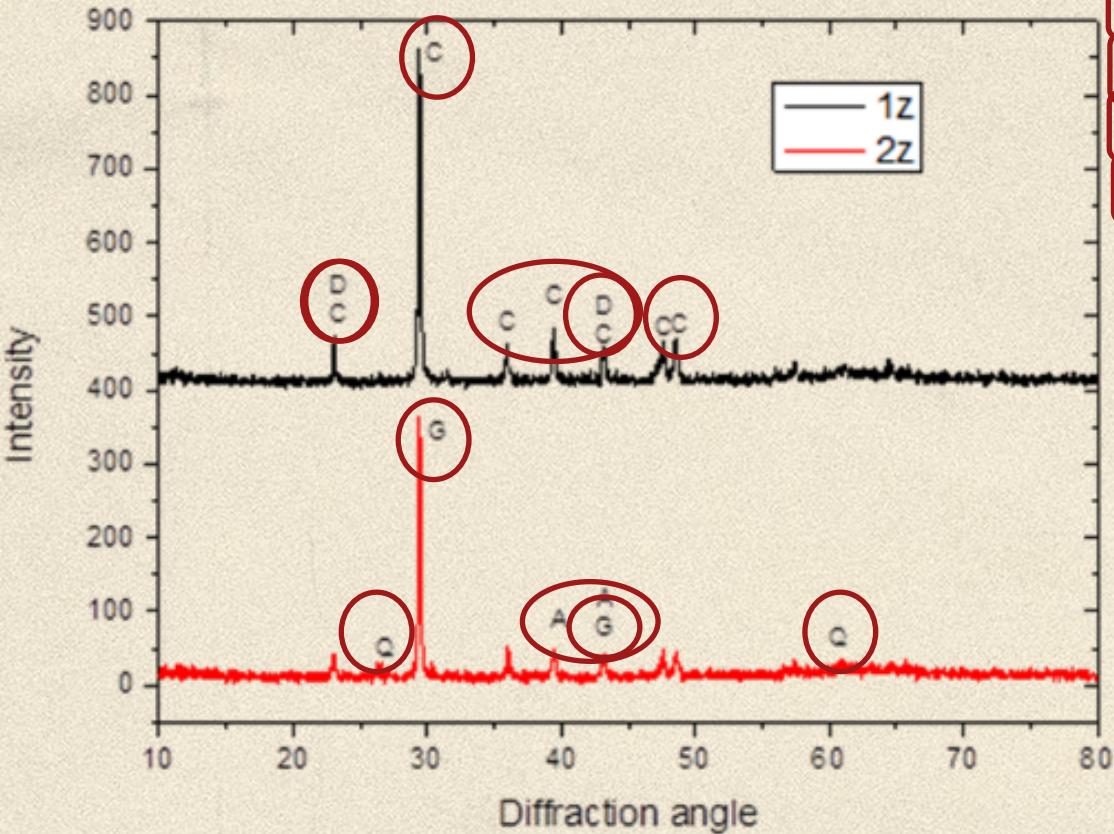
Bending Vibrations

4. Twisting



Αποτελέσματα – Περίθλαση ακτίνων X (XRD)

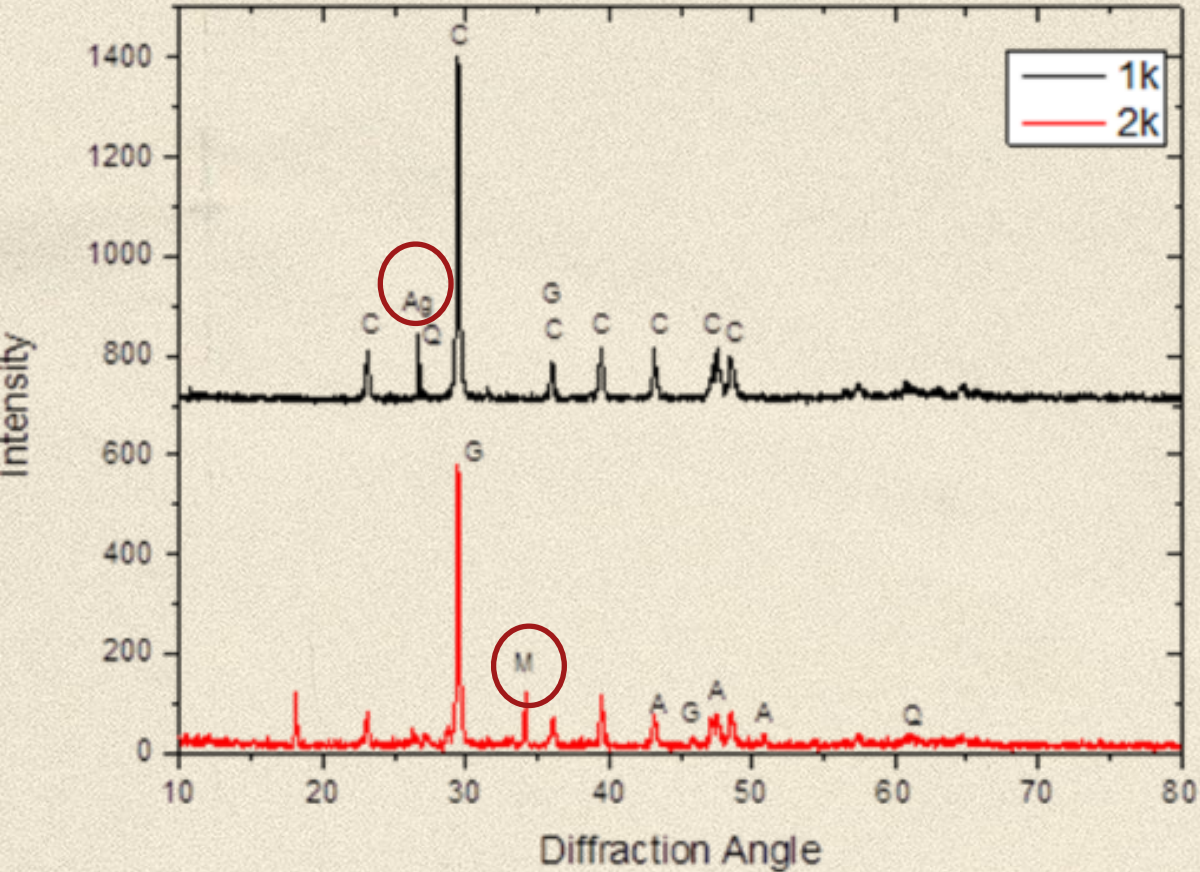
Δείγματα 1/2z
Ζωγραφικό υπόστρωμα



C=Calcite,
D=Dolomite
Q= Quartz,
G=Gypsum,
M= Manganite,
Ag= Ag₂O₃,
A=Aragonite.

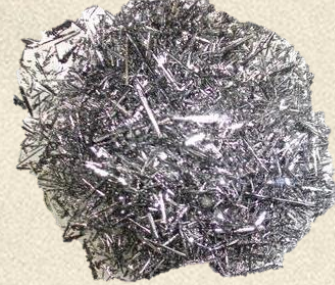


Αποτελέσματα – Περίθλαση ακτίνων X (XRD)



C=Calcite,
D=Dolomite,
Q= Quartz,
G=Gypsum,
M= Manganite,
Ag= Ag_2O_3 ,
A=Aragonite.

Δείγματα 1/2k
Κονίαμα

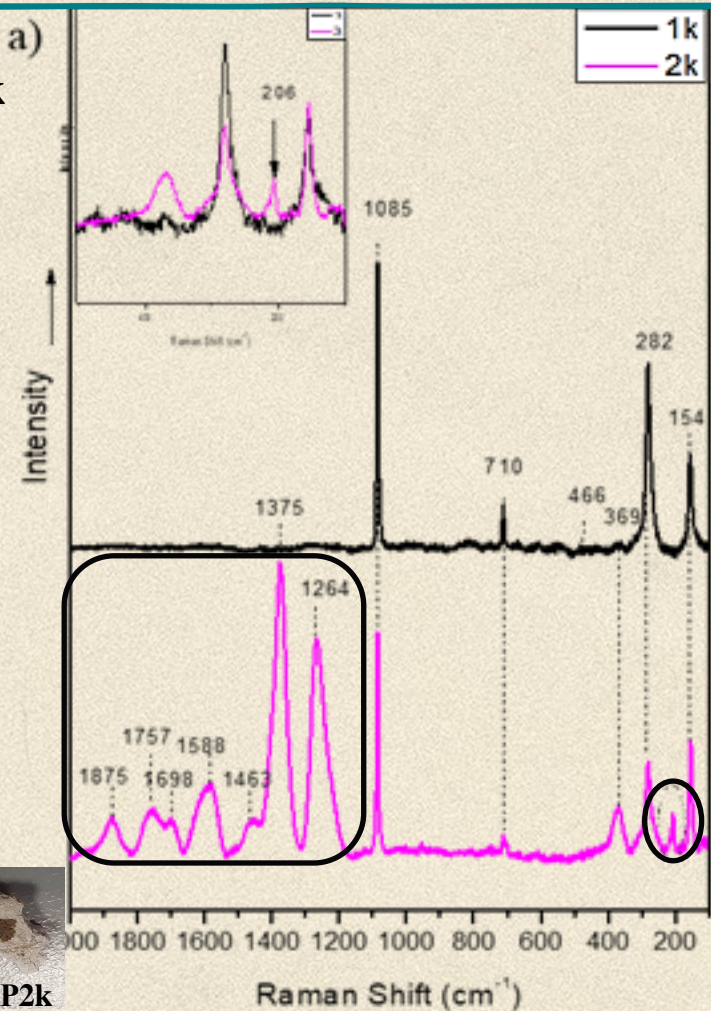


Δείγμα P1k

Δείγμα P2k

Αποτελέσματα – Φασματοσκοπία Raman

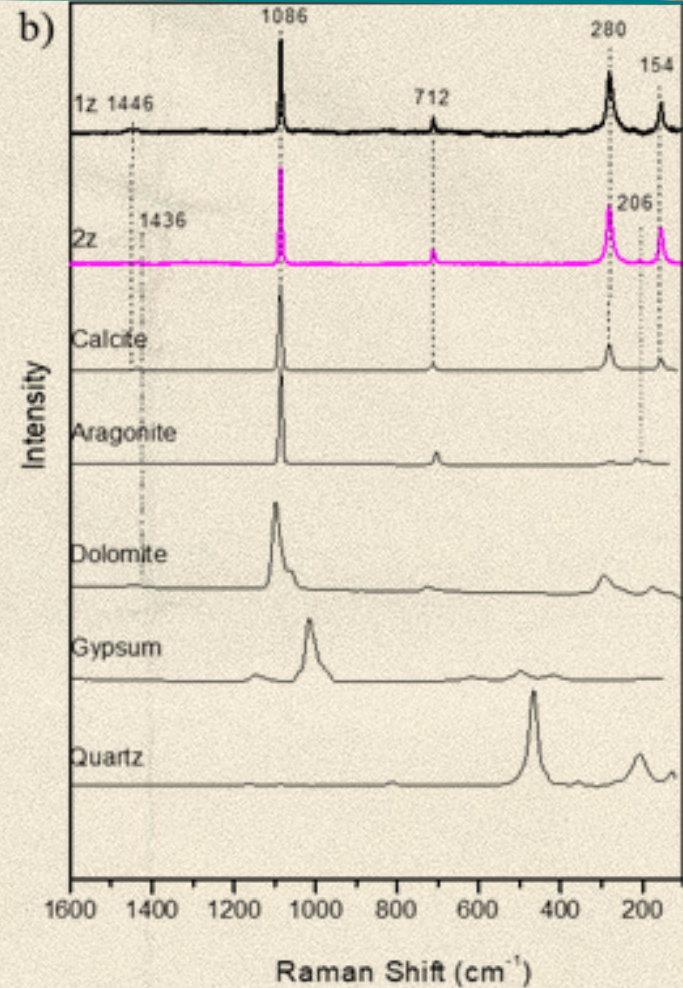
Δείγματα 1/2k
Κονίαμα



AS 09

Αποτελέσματα – Φασματοσκοπία Raman

Δείγματα 1/2z
Ζωγραφικό υπόστρωμα



Δείγμα P1z

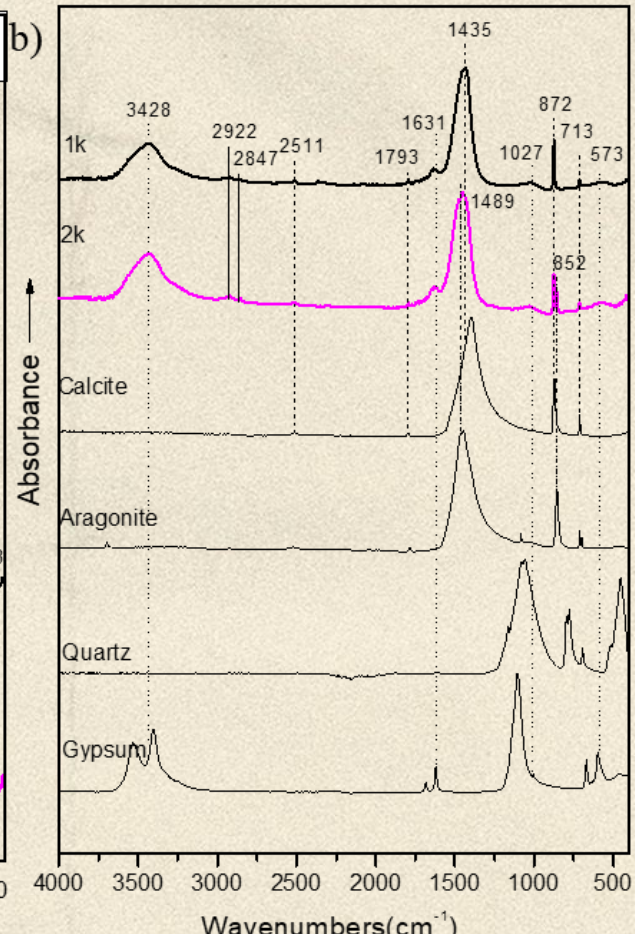
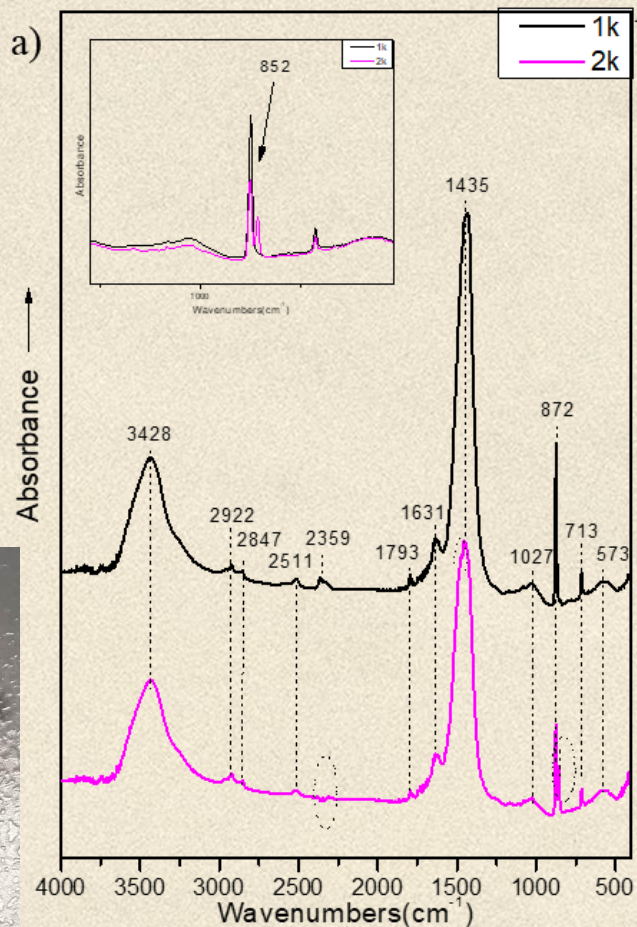
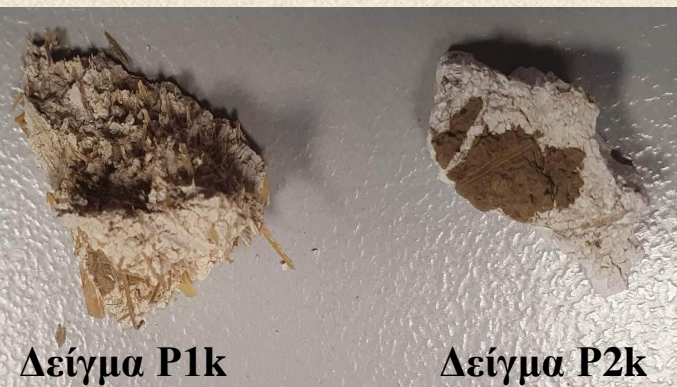


Δείγμα P2z

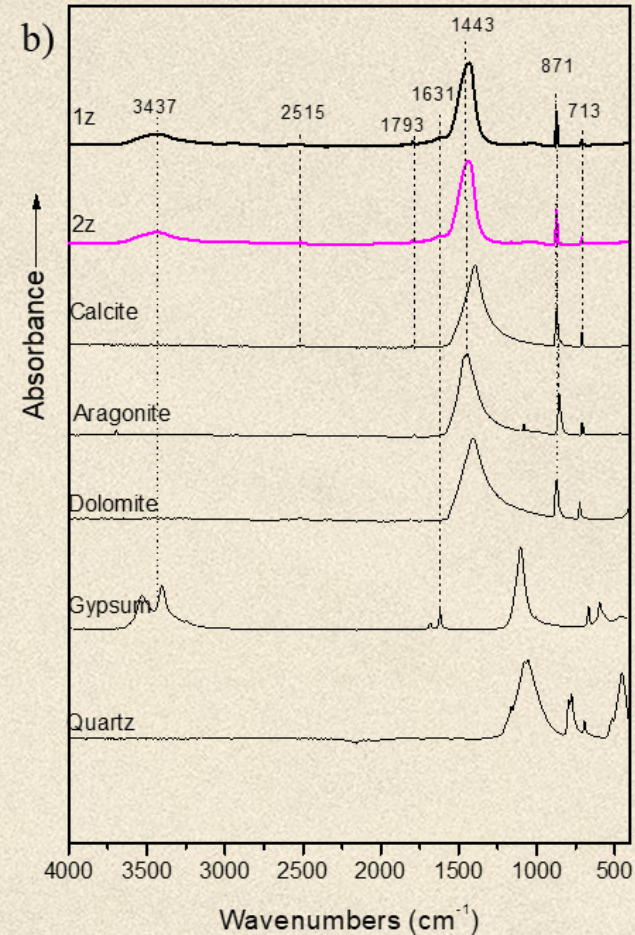
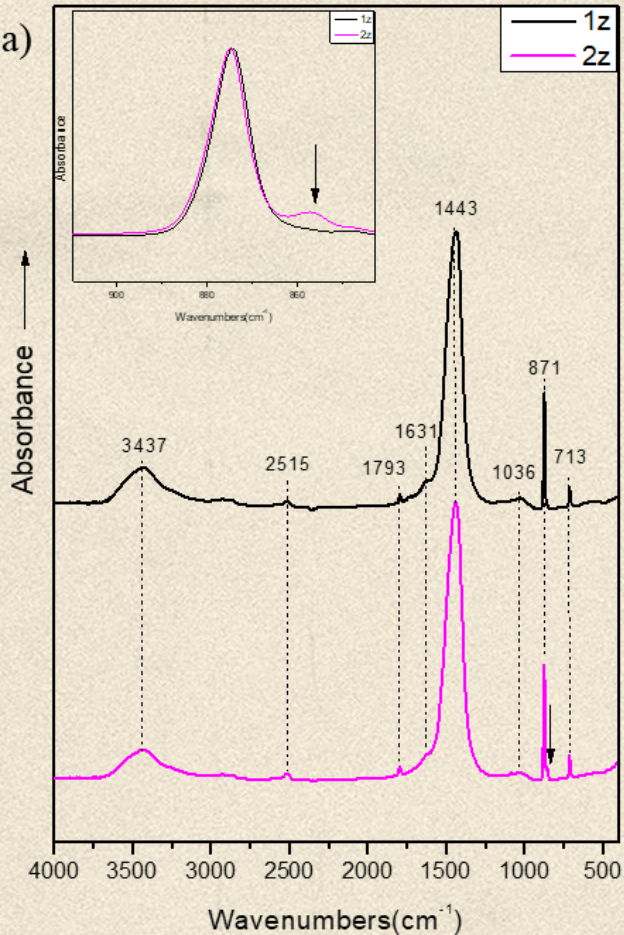
Αποτελέσματα– Φασματοσκοπία Υπερύθρου Μετασχηματισμού Fourier (FTIR)

Δείγματα 1/2k Κονίαμα

- Σε συμφωνία με τα αποτελέσματα Raman και XRD.
- Ύπαρξη Αραγωνίτη και Γύψου ή και ασπραδιού



Αποτελέσματα- Φασματοσκοπία Υπερύθρου Μετασχηματισμού Fourier (FTIR)

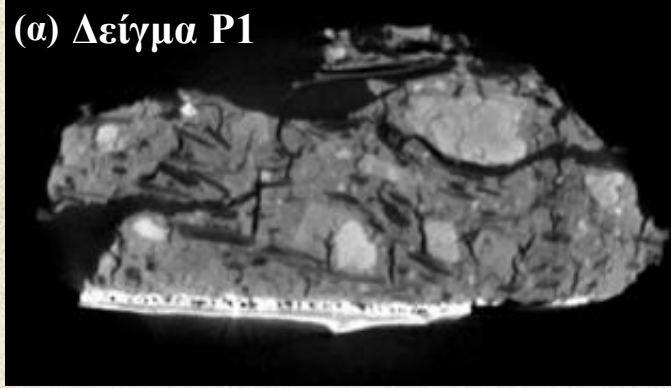


Δείγματα 1/2z
Ζωγραφικό υπόστρωμα

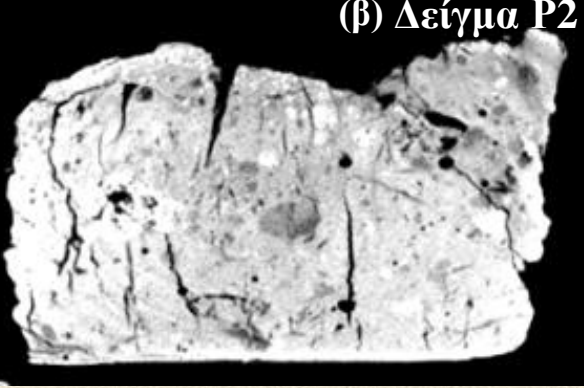


Αποτελέσματα– Μικρο-Τομογραφία Ακτινών Χ

(α) Δείγμα P1



(β) Δείγμα P2



- Δύο δείγματα που περιείχαν ολόκληρο τον όγκο του αντικειμένου εξετάστηκαν με μ CT.

Το δείγμα (α) είναι το δείγμα αναφοράς, ενώ το δείγμα (β) εξήχθη από την ελαττωματική ταπετσαρία.

Μια αντιπροσωπευτική περιοχή ενδιαφέροντος (ROI) 3 mm³ επιλέχθηκε και για τα δύο δείγματα λόγω της γεωμετρικής ανισορροπίας τους

Αποτελέσματα– Μικρο-Τομογραφία Ακτινών Χ

Δομική Ανάλυση του P1 δείγματος

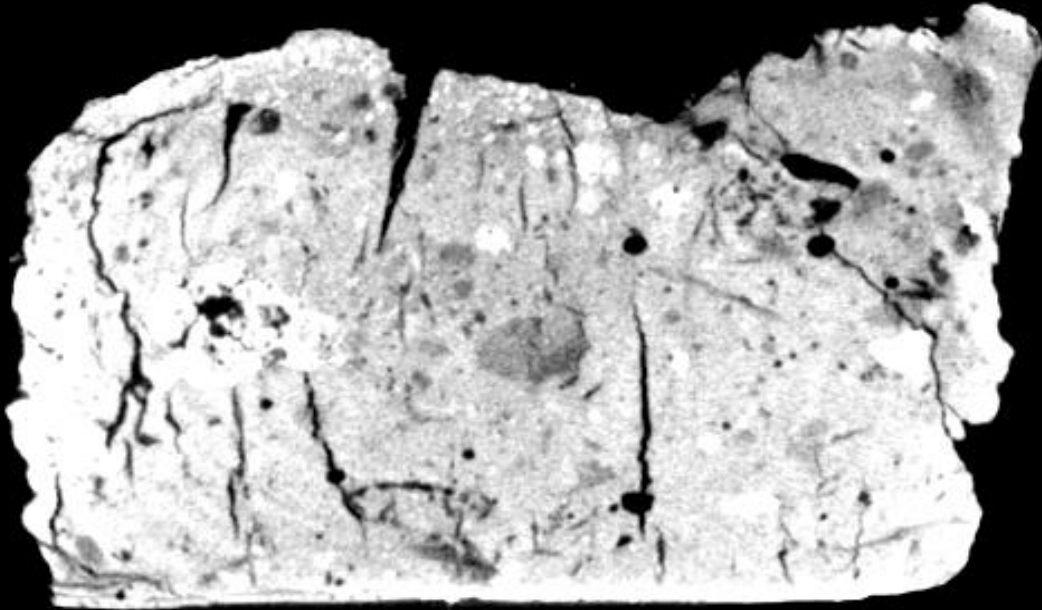
- Το Δείγμα P1 περιέχει ενισχυτικό παράγοντα (άχυρα).
- Υψηλή τιμή πορώδους 22 %
- Μετά τη βύθιση σε περιβαλλοντικό θάλαμο υγρασίας, δεν έγιναν αντιληπτά σημάδια απορρόφησης νερού

Δείγμα P1

P1 sample. Total Area of ROI = 23 mm²

Αποτελέσματα– Μικρο-Τομογραφία Ακτινών Χ

Δείγμα P2



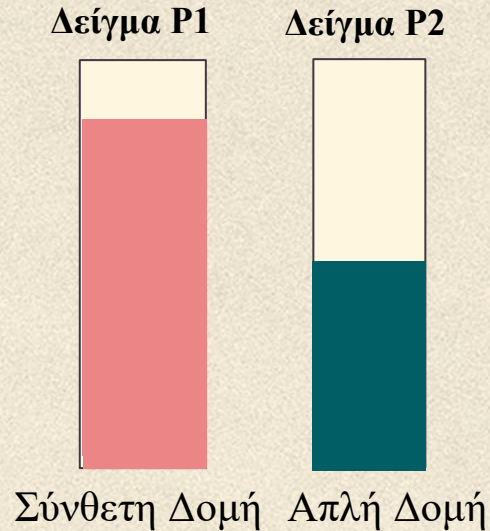
- Το Δείγμα P₂ δεν περιέχει ενισχυτικούς παράγοντες
- Χαμηλή τιμή πορώδους 7 %
- Μετά τη βύθιση σε περιβαλλοντικό θάλαμο υγρασίας, δεν έγιναν αντιληπτά σημάδια απορρόφησης νερού

P2 sample. Total Area of ROI = 24 mm²

Συζήτηση- Συμπεράσματα

Σύγκριση αποτελεσμάτων

- ✓ Ύπαρξη ενισχυτικών- Ασπράδι αυγού/Καζεΐνη
- ✓ Ποσότητα γύψου → Ψαθυρότητα
- ✓ Πορώδες
- ✓ Ενισχυτικές Ύλες- Άχυρα



Συμπεράσματα

Η προσθήκη ινών στα κονιάματα απορροφά μέρος της ενέργειας μετατροπής και συμβάλλει στη σταθερότητα του όγκου καθώς δεν επιτρέπουν την κατάρρευση της κατασκευής μετά την εφαρμογή φορτίου.

01

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας συντήρησης, στο τρίτο βήμα, εφαρμόστηκε επίστρωση ακρυλικού χρώματος Primal και στη συνέχεια μείγμα Vinavil και κονιάματος για την ενοποίηση και ενίσχυση του αρχικού υποστρώματος της βαφής. Η εφαρμοζόμενη πρόσφυση στο P1 ήταν επιτυχής λόγω του υψηλότερου πορώδους

02

Αντίθετα, το P2 είχε χαμηλό πορώδες λόγω της διαφορετικής μικροδομής του. Όπως παρατήρησε η ομάδα συντήρησης, το στερεωτικό δεν διαχέεται ομοιόμορφα στο υπόστρωμα. Κατά την ενυδάτωση του μείγματος κονιάματος/Vinavil, η ανομοιόμορφη κατανομή του Primal προκάλεσε διαφορετικές καταπονήσεις σε τυχαίες θέσεις και τελικά κάμψη και μικρορωγμές.

03

Συμπεράσματα

1. Σε πλήρη συμφωνία με την περίθλαση ακτινών- X
2. Σχεδόν πανομοιότυπα φάσματα, με ορισμένες διαφορές σε ορισμένα από τα υλικά που περιλαμβάνονται- 1,2κ , όπως η ύπαρξη ασπραδιού (αυγού).
3. Το Δείγμα P2 περιείχε περισσότερο γύψο στη δομή του, όπως επιβεβαιώθηκε (FTIR, Raman και XRD). Αυτές οι διαφορές μπορεί να επηρεάσουν την ακαμψία του υλικού καθώς και την αντοχή του.
4. Μετά τον χαρακτηρισμό μ CT των δύο δειγμάτων, παρατηρήθηκε ότι το P2 που ήταν κατεστραμμένο, δεν είχε ενισχυτικά υλικά (φυσικές ίνες κ.λπ.) στη δομή του. Η απουσία οποιουδήποτε οπλισμού οδήγησε σε κάμψη και αστοχία αφού η βαφή δεν μπορούσε να αντέξει το φορτίο από τη συρρίκνωση του μίγματος κονιάματος που τοποθετήθηκε κατά το πρωτόκολλο πλαισίωσης.

Ευχαριστίες

Στο πλαίσιο του έργου «Κέντρο Έρευνας, Ποιοτικής Ανάλυσης Υλικών Πολιτιστικής Κληρονομιάς και Επικοινωνίας της Επιστήμης» (MIS5047233) το οποίο υλοποιείται στο πλαίσιο της Δράσης «Ενίσχυση της Υποδομής Έρευνας και Καινοτομίας», που χρηματοδοτείται από το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Ανταγωνιστικότητα, Επιχειρηματικότητα και Καινοτομία» (ΕΣΠΑ 2014-2020) και συγχρηματοδοτούμενο από την Ελλάδα και την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης).

Σας ευχαριστώ για την προσοχή σας!!

- *Hierarchical composites & interfaces*
- *Hybrid composites*
- *Simulation & modeling*
- *Self-healing polymers & composites*
- *Non-Destructive Evaluation (NDE)*
- *On-line Structural Health Monitoring (SHM)*
- *Mechanical / thermomechanical characterization*
- *Thermoelectric composite materials & energy harvesting*

**Composite & Smart Materials
Laboratory (CSML)**
University of Ioannina
Department of Materials Science &
Engineering

