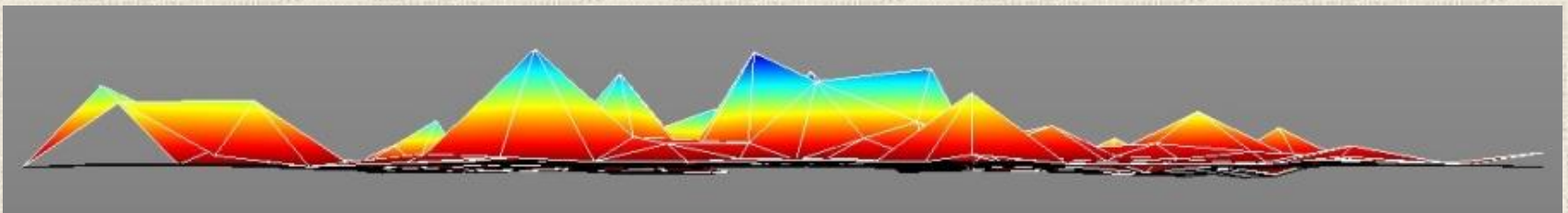




Πολυτεχνείο Κρήτης
Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών
Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών
«Χώρος, Σχεδιασμός και Δομημένο Περιβάλλον»
2η Θεματική Ενότητα: «Ολοκληρωμένη Προστασία Ιστορικού Δομημένου Περιβάλλοντος με Σύγχρονες
Τεχνολογίες και Προηγμένα Υλικά»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ
Ανίχνευση βλάβης σε έργα τέχνης με χρήση προηγμένης τεχνολογίας laser-
Εφαρμογή σε νωπογραφίες



Μουστεράκη Μαρία

Επιβλέπων. Καθηγητής : Προβιδάκης Κωνσταντίνος
Εξεταστική επιτροπή: Ανδρεαδάκης Δημήτριος, Αναπλ.Καθηγητής,
Βαζάκας Αλέξανδρος, Λέκτορας

Δεκέμβριος 2016

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Προβιδάκη για την πολύτιμη βοήθειά του στη διεκπεραίωση αυτής της εργασίας και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω του Ευάγγελου Λιαράκου και Σταύρου Τσιστράκη για τη πολύτιμη βοήθειά τους σε όλα τα στάδια της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον Αναπληρωτή Καθηγητή Δημήτριο Ανδρεαδάκη και τον Λέκτορα Αλέξανδρο Βαζάκα για τις χρήσιμες παρατηρήσεις τους και για τον χρόνο που διέθεσαν για την βελτιστοποίηση αυτής της Μεταπτυχιακής Διατριβής.





Εικόνα από το σπήλαιο Λασκώ, Γαλλία



Εικόνα από το σπήλαιο Αλταμίρα, Ισπανία



Εικόνα από το σπήλαιο Αλταμίρα, Ισπανία



Εικόνα από το σπήλαιο Αλταμίρα, Ισπανία

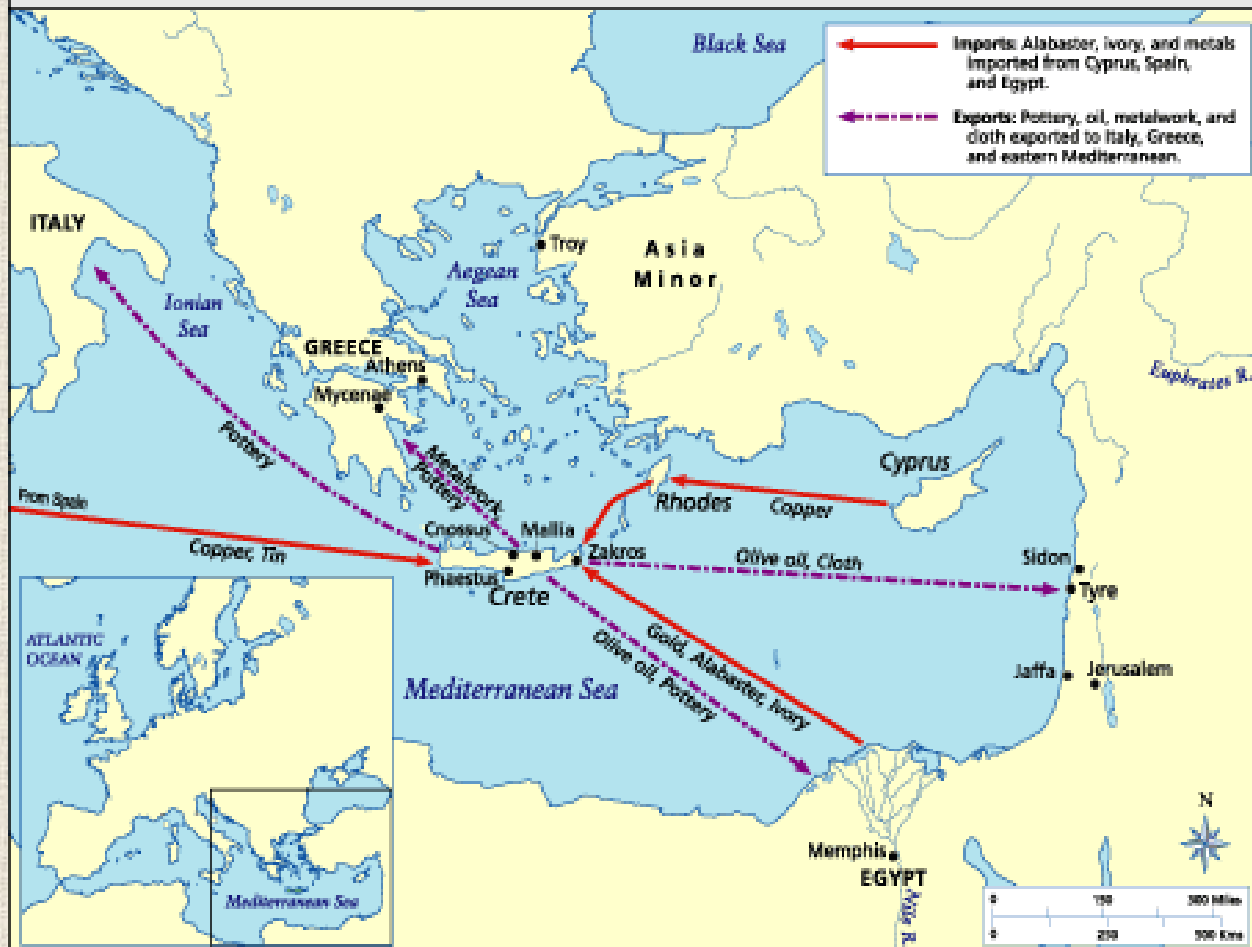
Προϊστορικές
τοιχογραφίες



Απεικονίζονται
κυρίως ζώα και
ανθρώπινες
φιγούρες



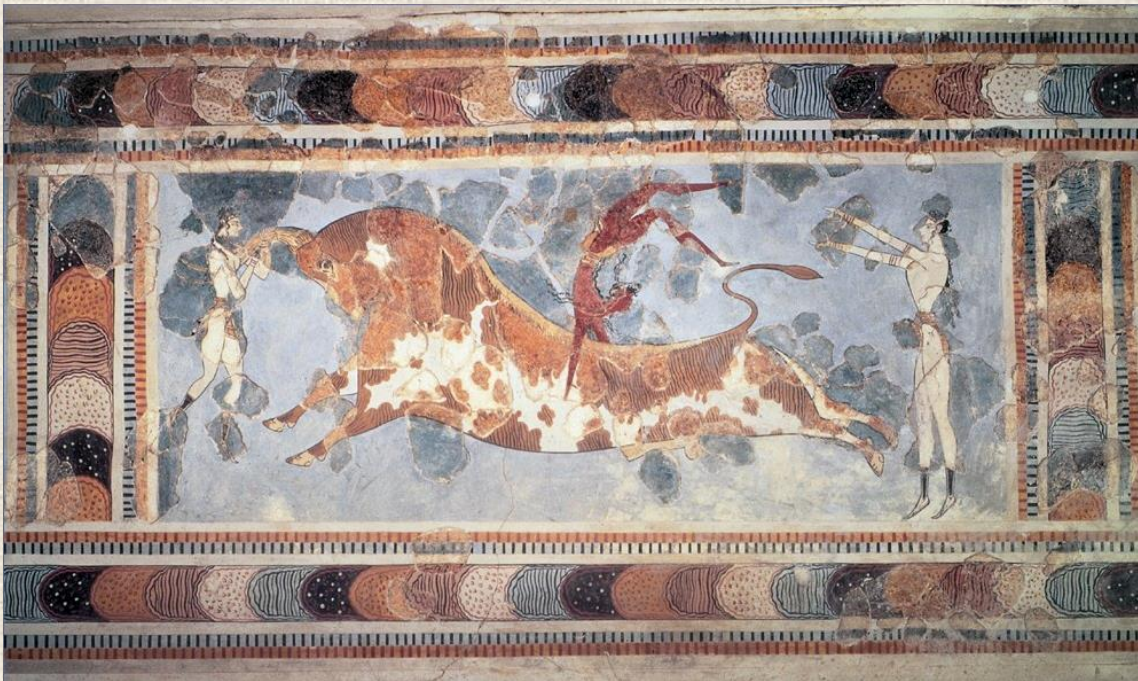
Minoan Trade, 1570 BCE



Παράγοντες που επηρεάζουν το έργο (θεματολογία, έκταση, εξέλιξη, κλπ)

- Εξέλιξη εμπορίου
- Κοινωνικοπολιτικές συνθήκες
- Αλληλεπίδραση πολιτισμών και μεθόδων καλλιτεχνικής έκφρασης
- Γεωγραφική θέση
- Κλιματολογικές συνθήκες
- Προσωπικό ύφος καλλιτέχνη
- Οικονομικές συνθήκες
- Διαθέσιμα υλικά
- Κτίριο





Μινωική Κρήτη:

Πρώτα δείγματα νωπογραφιών (frescoes) 1600 π.Χ.

Νέο-Ανακτορική Εποχή (1650-1450π.Χ) και Κρητο-Μυκηναϊκή Εποχή (1450-1300π.Χ) > Ανάκτορα, Μέγαρα, Επαύλεις, Πολυτελή σπίτια

Θεματολογία:

Εξυμνείται η θεοποιημένη φύση, (τελετές, σκηνές λατρείας, πομπές ιερέων, ταυροκαθάψια, ιερά αθλήματα)

Πηλός και ξένες ύλες (όπως άχυρα) πάνω στη λιθοδομή > ακολουθούν στρώματα κονιάματος με ασβέστη και ξένες ύλες (π.χ. τρίχες ζώων)

Χρώματα: Ορυκτά ή γαιοχρώματα
Ανδρικές μορφές > Κόκκινο χρώμα
Γυναικείες μορφές > Λευκό χρώμα



Trade Routes of the Mycenaeans and Minoans



Μυκηναϊκή Εποχή:

Συνδυασμός buon fresco και secco fresco :

Ο καλλιτέχνης ξεκινάει τη ζωγραφική σε νωπό σοβά και αν δεν τελειώσει εγκαίρως ξαναβρέχει την επιφάνεια και συνεχίζει στη στεγνή επιφάνεια

Θεματολογία:

Παρόμοια με των Μινωιτών Επιπλέον, διακοσμητικά θέματα (γεωμετρικά θέματα, σπείρες, κλπ), συμβολικά θέματα, επανάληψη

Τρόπος απεικόνισης:

- > Δισδιάστατο σχέδιο – καθόλου προοπτική
- > Ζωρά χρώματα χωρίς διαβαθμίσεις και φωτοσκιάσεις
- > Σαφήνεια μορφών
- > Σωστές αναλογίες παρά τη στατικότητα των μορφών και την ακαμψία
- > Σκληρές γραμμές
- > Καθαρά περιγράμματα





Καπέλα Σιξτίνα, Μιχαήλ Άγγελος



Η Δημιουργία του Αδάμ, Μιχαήλ Άγγελος

Αναγέννηση:

Οι νωπογραφίες φτάνουν στο αποκορύφωμά τους

Διακοσμούν κυβερνητικά κτίρια, εκκλησίες και επαύλεις

Θεματολογία:

Ζωή του Χριστού, Παρθένας Μαρία, Άγιοι

Κύριοι εκφραστές : Μιχαήλ Άγγελος, Ραφαήλ, Correggio, Μποτιτσέλλι, Τιτιάνο, Λεονάρντο Ντα Βίντσι, κ.α.



Battle of Anghiari, Leonardo Da Vinci





Η σχολή των Αθηνών, Ραφαήλ



Aurora, Guido Reni



La Primavera, Sandro Botticelli

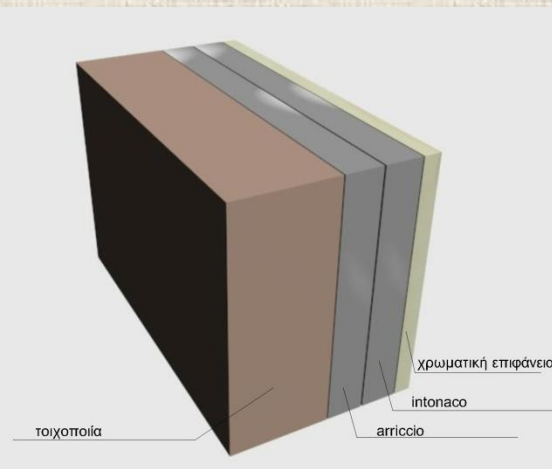


Ο Ευαγγελισμός, Fra Angelico



Η Κοίμηση της Θεοτόκου, Correggio





1) **Νωπογραφία (buon fresco):** Η τεχνική κατά την οποία τα χρώματα απλώνονται απευθείας πάνω στο νωπό κονίαμα

2) **Mezzo fresco:** Τεχνική κατά την οποία τα χρώματα τοποθετούνται πάνω σε κονίαμα που έχει στεγνώσει μερικώς, δεν απορροφώνται όπως στο buon fresco και απαιτείται συνδετικό υλικό

3) **Secco fresco:** Τεχνική κατά την οποία τα χρώματα τοποθετούνται σε επιφάνεια κονιάματος που έχει στεγνώσει, με τη βοήθεια συνδετικού υλικού, όπως αυγό, λάδι

1) Τοιχοστρώμα – Λιθοδομή

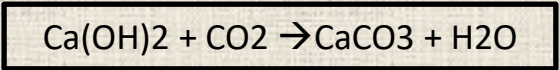
2) Κατώτερο στρώμα κονιάματος 10mm, μπαίνει απευθείας πάνω στη λιθοδομή, αποτελείται από 1 μέρος ασβέστη, 2 μέρη άμμου (ποταμίσις) ή αργιλώδες χώμα, άχυρο και λινάρι (περιέχουν κυτταρίνη-στερεωτικό υλικό)

3) Ανώτερο στρώμα κονιάματος 3mm, με ασβέστη και λεπτότερη άμμο (ενίοτε λεπτότατη μαρμαρόσκονη)

4) Ζωγραφική επιφάνεια 2mm

Νωπογραφίες (buon fresco)

-Βασική χημική αντίδραση: Ανθρακοποίηση



-Οι κόκκοι της χρωστικής συγκρατούνται στο κρυσταλλικό πλέγμα του ανθρακικού ασβεστίου > Διάρκεια στο χρόνο

-Απαιτείται λεία επιφάνεια

-Όχι σε περιοχές και περιόδους με υψηλή θερμοκρασία



-Περιορισμένη χρωματική παλέτα-Μόνο χρωστικές που δεν αντιδρούν με τον ασβέστη



Βασικές αιτίες φθορών

-Υγρασία > Η υγροσκοπική φύση των ασβεστιτικών κονιαμάτων τα καθιστά ευάλωτα σε αυξημένα επίπεδα υγρασίας

> Η δράση των αλάτων (ασκούν δυνάμεις στο εσωτερικό της δομής του κονιάματος)

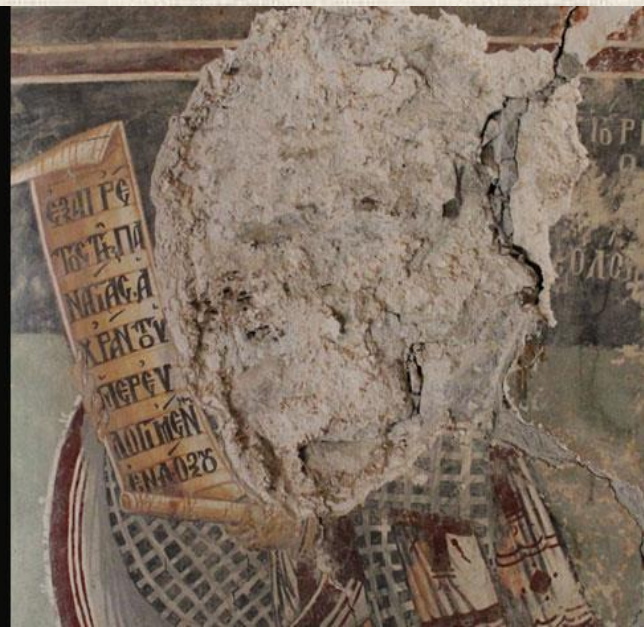
-Μηχανικές καταπονήσεις και φυσικές καταστροφές (Σεισμοί, πλημμύρες, κλπ)

-Βιολογικοί παράγοντες (μύκητες, λειχήνες, περιττώματα ζώων, μικροοργανισμοί)

-Υπερέκθεση στο φως και σε ρυπογόνα αέρια > Προσβολή της χημικής σύστασης των κονιαμάτων και των χρωστικών

-Ανθρώπινος παράγοντας

Αιτίες φθορών





Τοιχογραφία από τον Ιερό Ναό Αγ.Δημητρίου «Των Όπλων»



“Ο ψαράς”, Τοιχογραφία από το Ακρωτήρι Σαντορίνης

Βασικά είδη φθορών:

- Ρηγμάτωση
- Αποσάθρωση
- Αποκόλληση
- Αλλοίωση χρωμάτων



Τοιχογραφία από το ορθόδοξο παρεκκλήσι της Αγ.Παρασκευής στο Βαλς της Αλβανίας



1)Οπτικός έλεγχος με γυμνό μάτι → επιφανειακή παρατήρηση

2)Παραδοσιακή μέθοδος με το σφυρί → εξαρτάται από την ικανότητα και την εμπειρία του συντηρητή, πρόκειται για επεμβατική, μη μετρήσιμη, μη επαναλαμβανόμενη, υποκειμενική μέθοδο, συνήθως απαιτεί ικρίώματα

3)Impulse –Echo → συνδυάζει την παραδοσιακή μέθοδο (με το σφυρί) με τους υπερήχους για τον προσδιορισμό των περιοχών βλάβης – επεμβατική τεχνική

4)Υπέρυθρη Θερμογραφία (Infrared Thermography) → στις περιοχές με βλάβη επιβραδύνεται η διάχυση θερμότητας – για μετρήσιμα αποτελέσματα απαιτείται θέρμανση σε $+15^{\circ}\text{C}$ ή $+20^{\circ}\text{C}$

5)Ηλεκτρονική Ολογραφική Συμβολομετρία (ESPI) → εικόνες μετά από ελαφριά θέρμανση με υπέρυθρη λάμπα συγκριτικά με εικόνες αναφοράς

6)Ακουστική μέθοδος με Laser Doppler Vibrometer → χρήση ακουστικού διεγέρτη και σάρωση σημείων με laser για την ανίχνευση των μεταβολών του ακουστικού σήματος



7) Ψηφιακή Σημειακή Φωτογραφία → διαφορές στην κίνηση του κυρίου όγκου του μοντέλου κατά την παραμόρφωση μετά από επιβολή θερμικού φορτίου (σε αντίθεση με την συμβολομετρία όπου η πληροφορία δίδεται από τη διαφορά φάσης του σημείου)

8) Εξέταση με υπερήχους (Ultrasonic Testing) → με ηχητική ενέργεια υψηλής συχνότητας

9) Θερμογραφική Αναπαραγωγή Σήματος (TSR) → ανάλυση της απόκρισης της επιφανειακής θερμοκρασίας σε εφαρμοσμένη θερμική διέγερση – εντοπισμός περιοχών με ανώμαλη πτώση θερμοκρασίας

10) Τρισδιάστατη Σάρωση (3D Scanning) → ισχυρή κατευθυντήρια δέσμη φωτός και εντοπισμός του ανακλώμενου φωτός από την επιφάνεια με αισθητήρες > τρισδιάστατες εικόνες

11) Συμβολομετρία (Interferometry) → βασίζεται στη διαφορική μετατόπιση στο χρόνο από δύο ελαφρώς διαφορετικές θέσεις των αντανακλώμενων επιφανειών, τονίζοντας τις σχετικές μεταβολές της οπτικής διαδρομής στις αντανακλώμενες ακτίνες –μη επεμβατική, μη καταστρεπτική

12) Ψηφιακή Σημειακή Τομογραφία (Digital Speckle Shearography)
→ ανίχνευση των προβληματικών περιοχών μετά από επιβολή θερμικού ή μηχανικού φορτίου



Κύμα: μια διαταραχή στο χώρο και το χρόνο με σταθερή ταχύτητα που μεταφέρει ενέργεια και ορμή, χωρίς να μεταφέρει ύλη

Ιδιότητες κυμάτων:

α) Περίοδος κύματος (το χρονικό διάστημα δημιουργίας δύο διαδοχικών διαταραχών)

β) Συχνότητα κύματος (ο αριθμός των διαταραχών ανά μονάδα χρόνου)

γ) Πλάτος κύματος (η απόλυτη τιμή της μέγιστης τιμής ενός περιοδικού φαινομένου-ο αριθμός των διαταραχών δια του χρονικού διαστήματος)

δ) Μήκος κύματος (η απόσταση που διανύει το κύμα σε χρόνο μιας περιόδου)

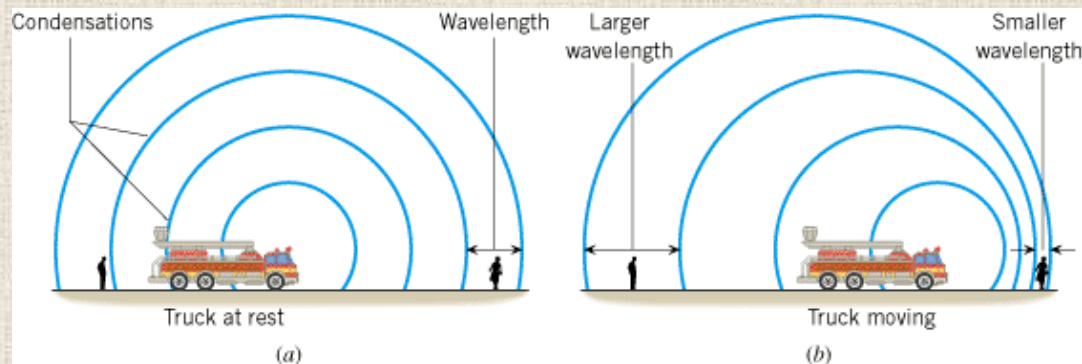
ε) Ταχύτητα διάδοσης κύματος (η ταχύτητα διαταραχής κατά τη μετάδοση του κύματος στο χώρο)

Φαινόμενο Doppler:

Το φαινόμενο κατά το οποίο, όταν ένα παρατηρητής και μια πηγή κυμάτων βρίσκονται σε σχετική κίνηση μεταξύ τους, η συχνότητα του κύματος που αντιλαμβάνεται ο παρατηρητής δεν είναι ίδια με την εκπεμπόμενη συχνότητα της πηγής

- κινούμενη πηγή και στάσιμος παρατηρητής
- στάσιμη πηγή και κινούμενος παρατηρητής
- πηγή και παρατηρητής εν κινήσει

Η μείωση της απόστασης μεταξύ παρατηρητή και πηγής έχει την τάση να αυξάνει την συχνότητα, ενώ η απομάκρυνση των δύο έχει την τάση να μειώνει την συχνότητα



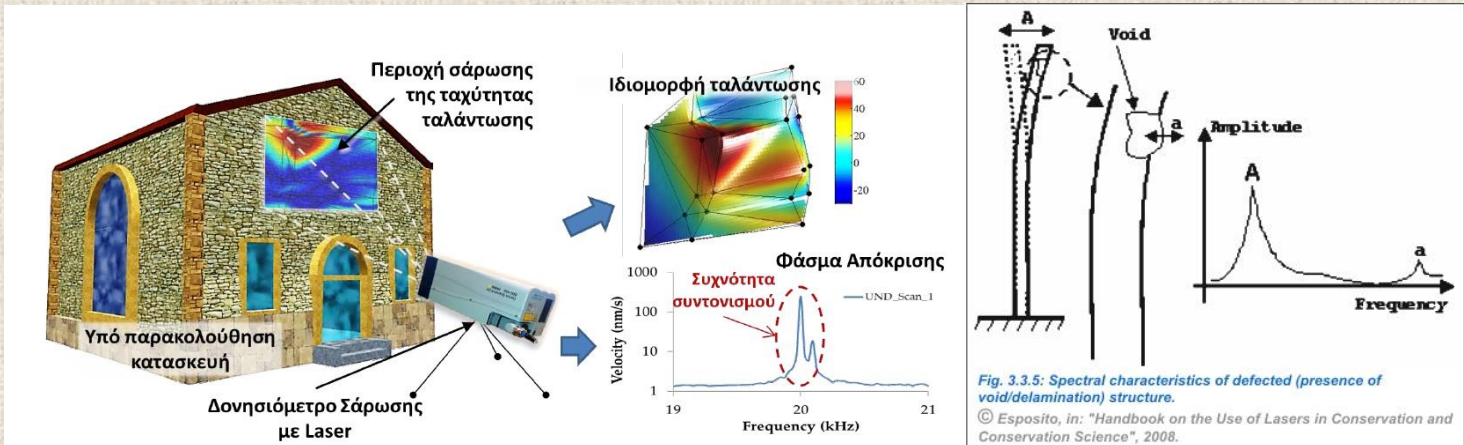
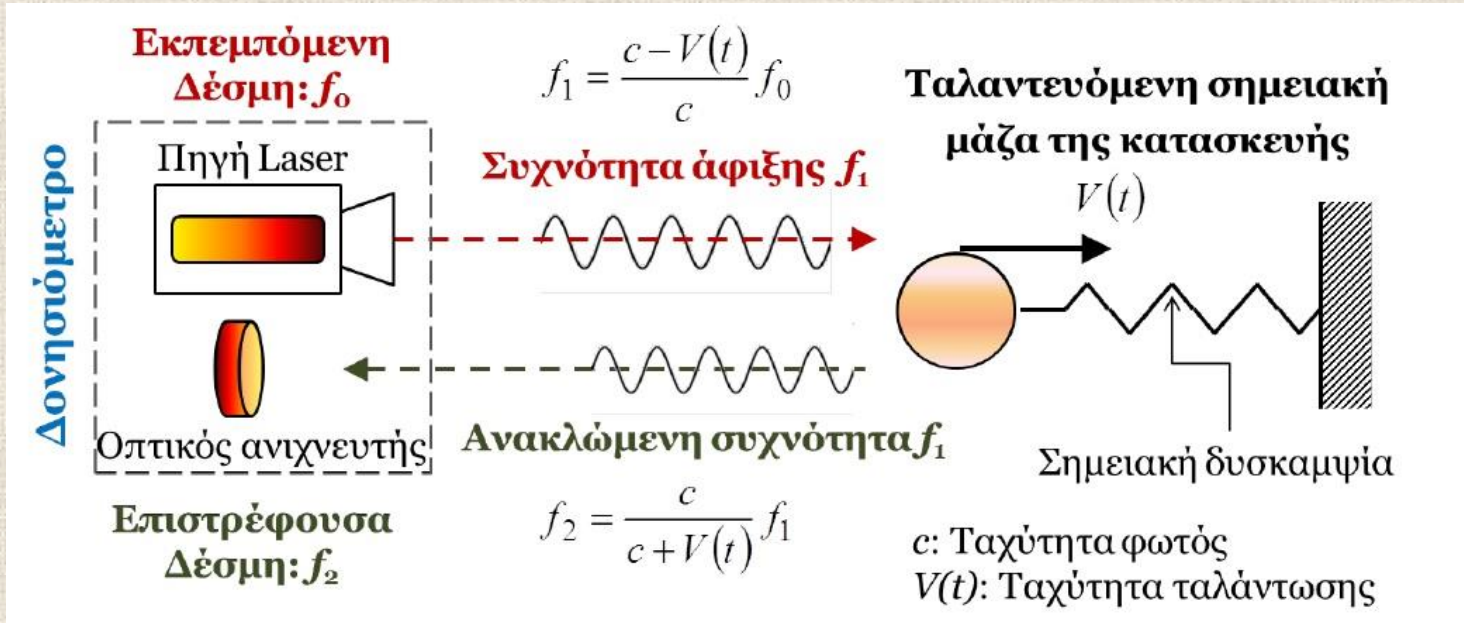
Θεωρητικό υπόβαθρο

→ Καταγραφή επιφανειακών ταχυτήτων ταλάντωσης σε πλέγμα σημείων

→ Προσδιορισμός των δυναμικών χαρακτηριστικών της κατασκευής

→ Μέτρηση της διαφοράς φάσης με το φαινόμενο Doppler

$$V(t) = \lambda \frac{\Delta f(t)}{2}$$



Προβιδάκης Κ., Λιαράκος Ε., 'Ανέπαφη και μη καταστρεπτική εκτίμηση βλαβών σε ιστορικές κατασκευές με τη χρήση Σάρωσης Δονήσεων με Laser

Σάρωση με Laser Doppler Δονησιόμετρο (Scanning Laser Doppler Vibrometer)

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης ενός Laser Doppler Vibrometer στη συντήρηση, την έρευνα και εφαρμογή είναι:

- ο μη καταστρεπτικός χαρακτήρας του,
- η ασφαλής πηγή ακτινοβολίας,
- ασφαλές επίπεδο ενέργειας της δέσμης,
- η ανέπαφη εφαρμογή,
- η μη επεμβατική λειτουργία,
- η έλλειψη ανάγκης λήψης δείγματος,
- το γεγονός ότι δεν απαιτείται προετοιμασία της επιφάνειας,
- η φορητότητα,
- ο χαρακτήρας φιλικός προς χρήση,
- η δυνατότητα εφαρμογής σε ανώμαλες επιφάνειες,
- η μη εξάρτηση από το μέγεθος του έργου
- η καταλληλότητα προς χρήση σε σταθερά και κινητά στοιχεία
- οι απαιτήσεις διέγερσης που κινούνται μέσα στα πλαίσια ασφαλείας



Πειραματική εφαρμογή της προτεινόμενης μεθόδου

Πείραμα 1: Προκαταρκτική ανίχνευση βλάβης σε εργαστηριακή κλίμακα





-Τοποθέτηση φύλλων χαρτιού με αλευρόκολλα πάνω σε τοίχο οπλισμένου σκυροδέματος

-Εξαναγκασμένη ταλάντωση από γεννήτρια μηχανικών ταλαντώσεων

-Σκοπός: η διερεύνηση της ευαισθησίας της μεθόδου, των διαφόρων συχνοτήτων διέγερσης της στήριξης

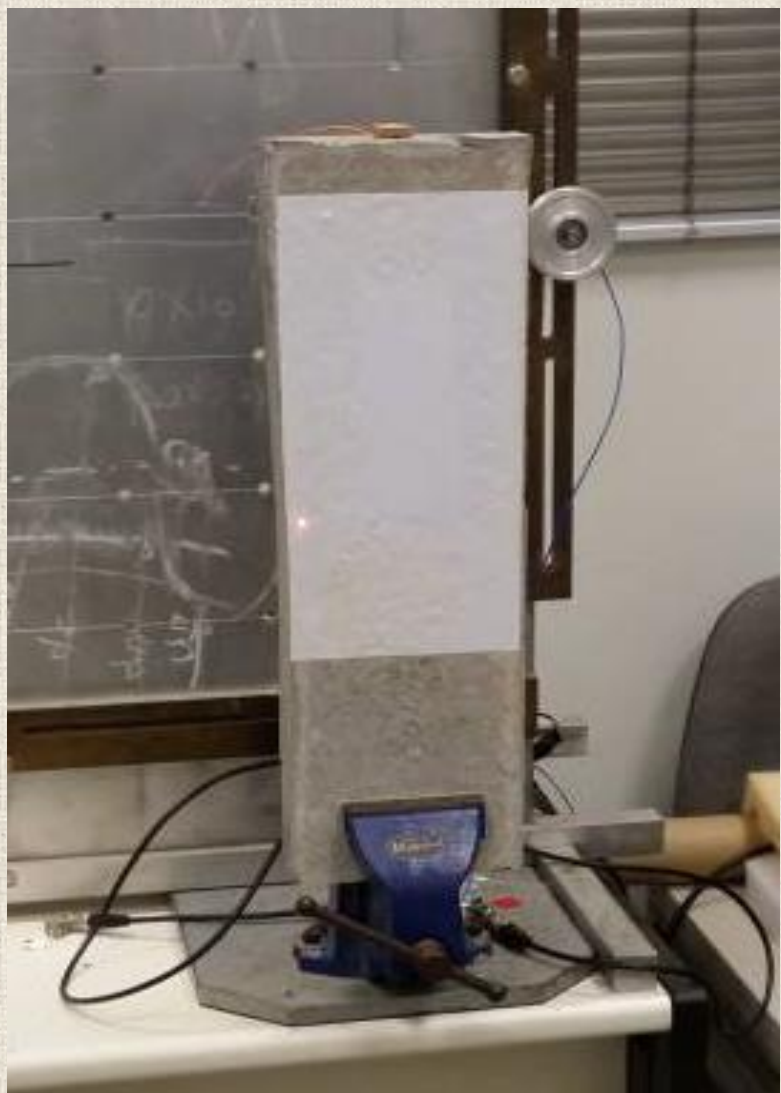
-Ενεργοποίηση των περιοχών κοντά στα σημεία με καλή σύνδεση με το υπόστρωμα



Πειραματική εφαρμογή της προτεινόμενης μεθόδου

Πείραμα 2: Προκαταρκτική ανίχνευση βλάβης στο εργαστήριο





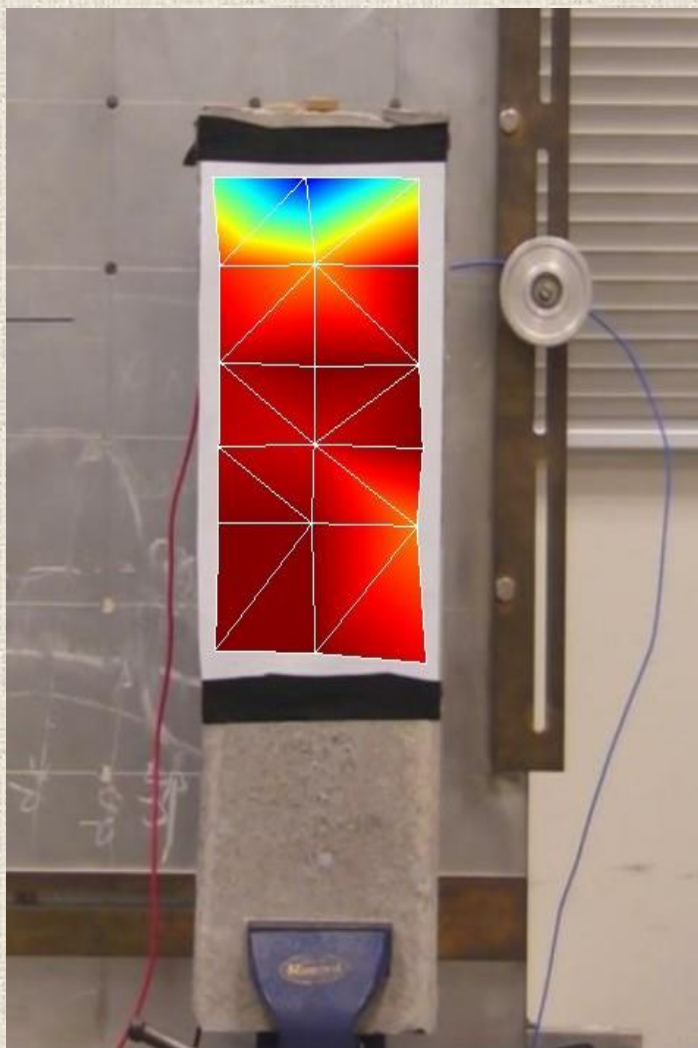
-Τοποθέτηση φύλλου χαρτιού με αλευρόκολλα πάνω σε ελεύθερο στοιχείο οπλισμένου σκυροδέματος

-Εξαναγκασμένη ταλάντωση από γεννήτρια μηχανικών ταλαντώσεων στο

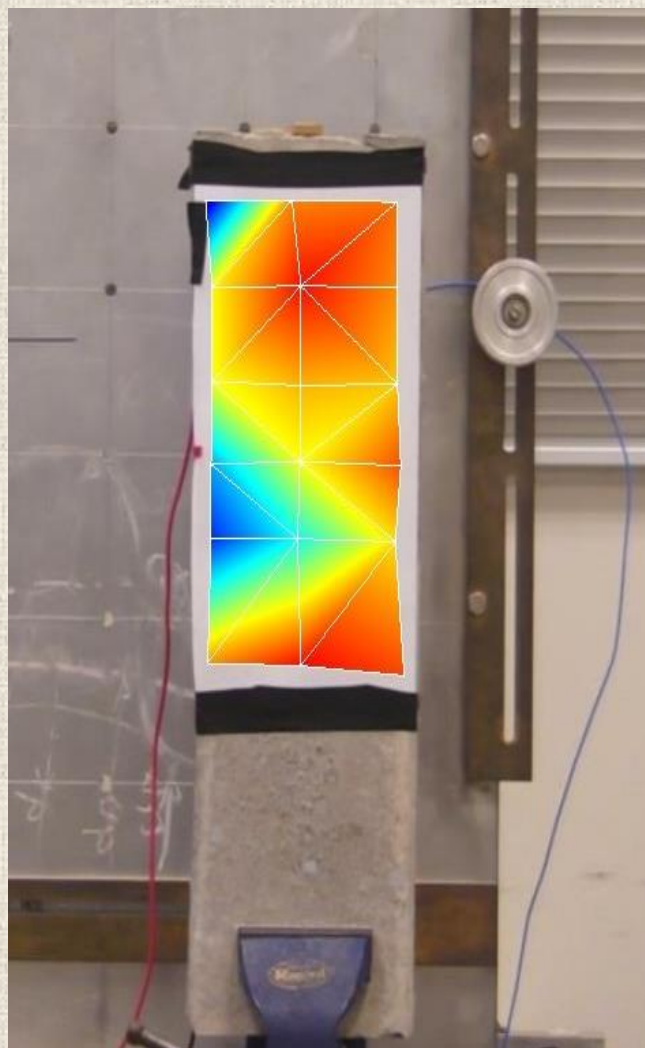
-Σκοπός: η διερεύνηση της ευαισθησίας της μεθόδου σε διάφορες συνθήκες στήριξης, εφαρμογή συχνοτήτων συντονισμού βιβλιογραφίας

-Εντοπισμός περιοχής 'βλάβης' σε συχνότητα 500Hz





Χρωματικός χάρτης συχνοτικού φαινομένου για το χαρτί επί δοκού/ πείραμα 2 (πειραματική διάταξη 2β) για συχνότητα διέγερσης 3,2KHz



Χρωματικός χάρτης συχνοτικού φαινομένου για το χαρτί επί δοκού/ πείραμα 2 (πειραματική διάταξη 2β) για συχνότητα διέγερσης 1KHz

-Τοποθέτηση φύλλου χαρτιού με κολλητική ταινία πάνω σε ελεύθερο στοιχείο οπλισμένου σκυροδέματος

-Εξαναγκασμένη ταλάντωση από γεννήτρια μηχανικών ταλαντώσεων

-Διερεύνηση των δυνατοτήτων της μεθόδου σε διάφορες συνθήκες στήριξης, εφαρμογή συχνοτήτων συντονισμού βιβλιογραφίας

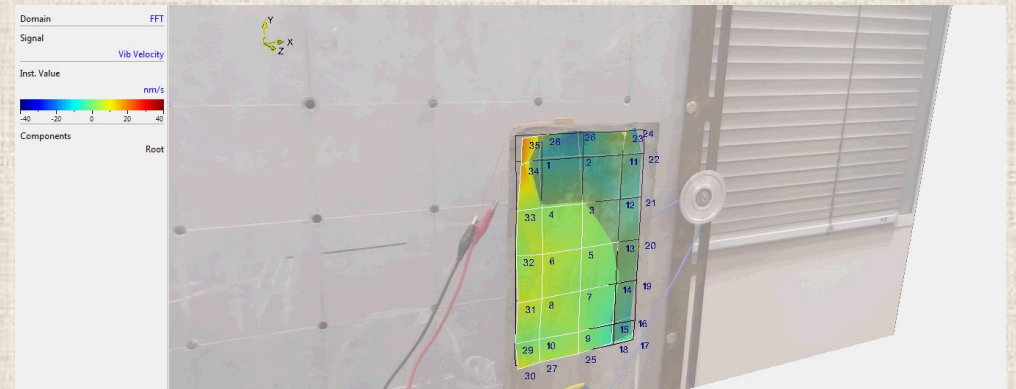
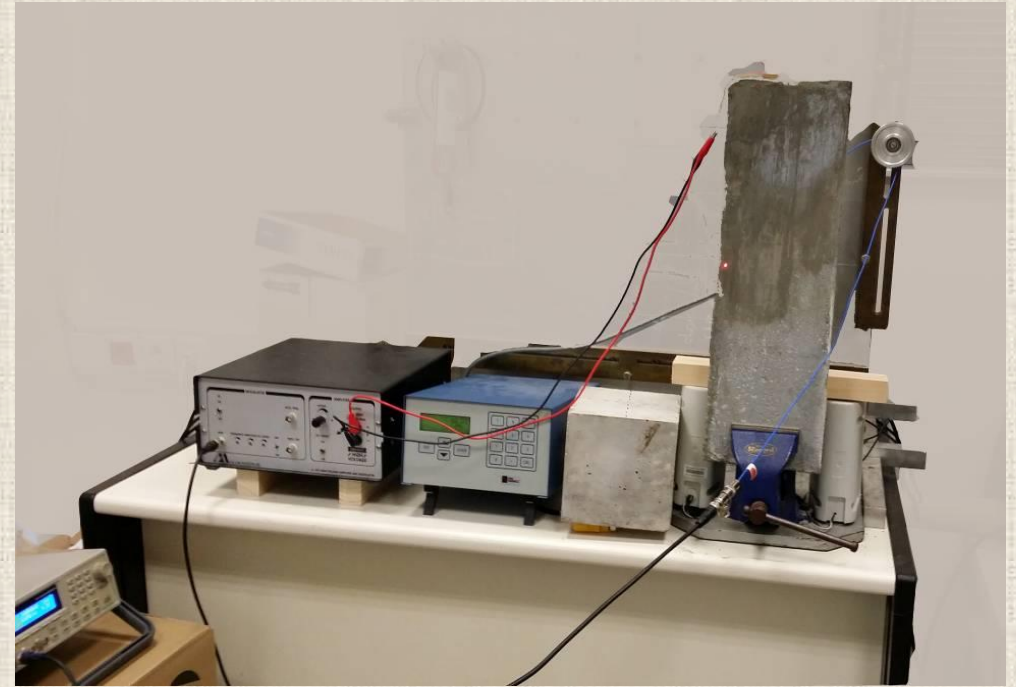
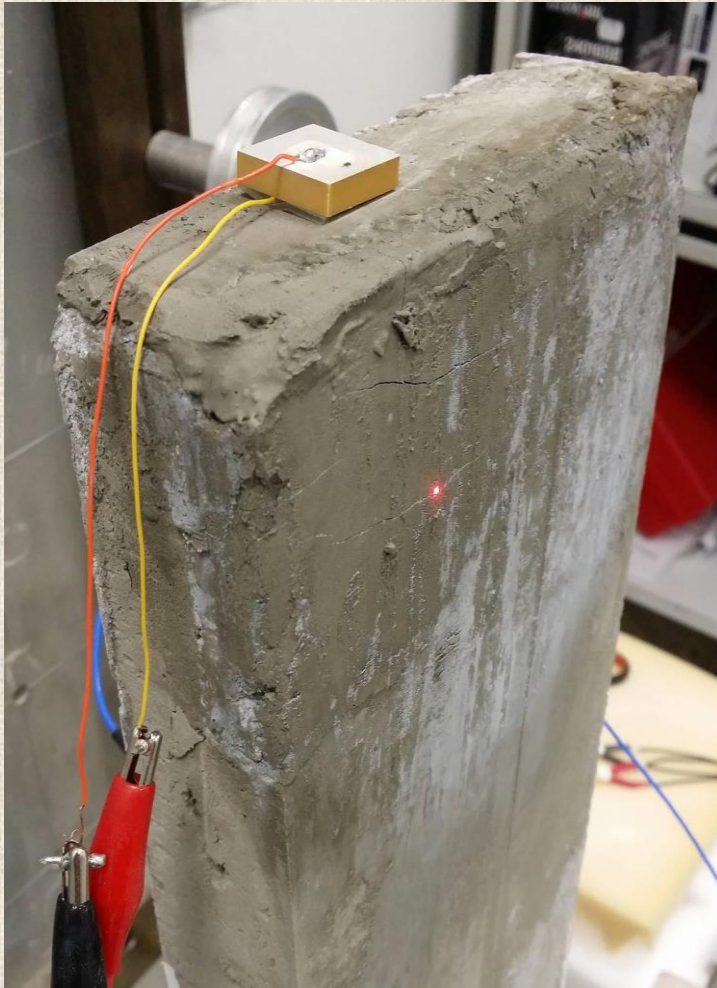
-Ενεργοποίηση διαφορετικών περιοχών ανάλογα τον τρόπο στήριξης

Πείραμα 2 (2β)

Πειραματική εφαρμογή της προτεινόμενης μεθόδου

Πείραμα 3: Προκαταρκτική ανίχνευση βλάβης σε εργαστηριακή κλίμακα

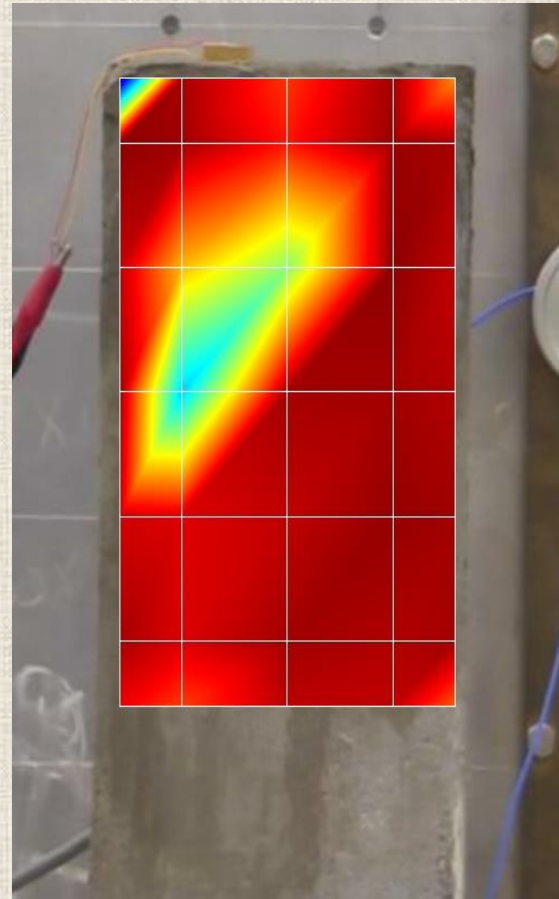
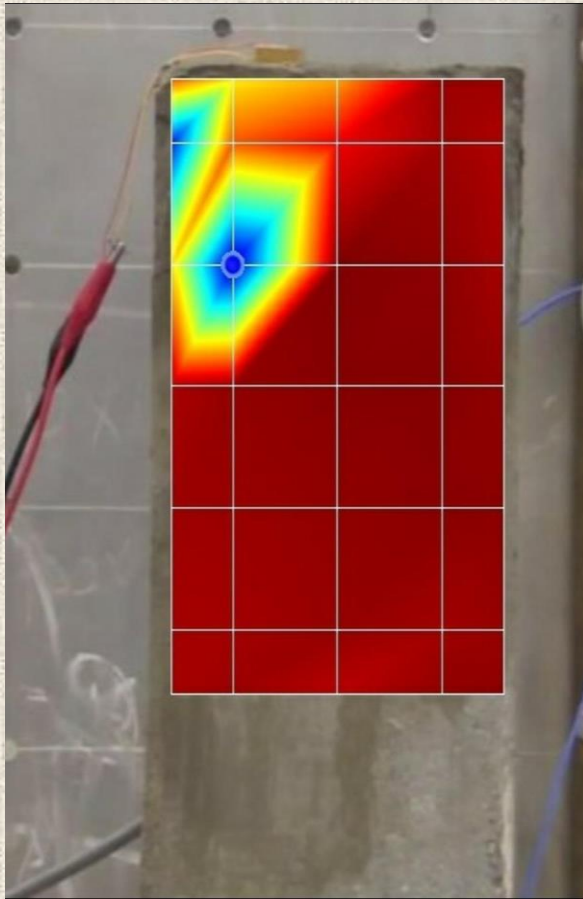




Εφαρμογή επισκευαστικού κονιάματος στην περιοχή με απόσπαση τμήματος υλικού και με ρηγμάτωση

Ταλάντωση της επιφάνειας της δοκού για συχνότητα διέγερσης 127,5 Hz





Χρωματικός χάρτης απεικόνισης των μέσων τιμών επιφανειακής ταχύτητας για συχνότητα διέγερσης 250Hz

Χρωματικός χάρτης απεικόνισης των μέσων τιμών επιφανειακής ταχύτητας για συχνότητα διέγερσης 500Hz

→Κάθε συχνότητα διέγερσης ενεργοποίησε διαφορετικές περιοχές βλάβης του αντικειμένου
 →Σε συχνότητα 250 Hz, οι μεγαλύτερες τιμές ταχυτήτων εμφανίζονται στις περιοχές εφαρμογής του επισκευαστικού κονιάματος και ειδικότερα στη γωνία και την περιοχή συναρμογής του επισκευαστικού κονιάματος με το υπάρχον στοιχείο σκυροδέματος
 →Σε συχνότητα 500 Hz, η μεγαλύτερη τιμή παρουσιάζεται στη γωνία με την μεγαλύτερη περιεκτικότητα κονιάματος καθώς και στη περιοχή επαφής παλιού και νέου υλικού

Πειραματική εφαρμογή της προτεινόμενης μεθόδου

Πείραμα 4: Προκαταρκτική ανίχνευση βλάβης σε εργαστηριακή κλίμακα

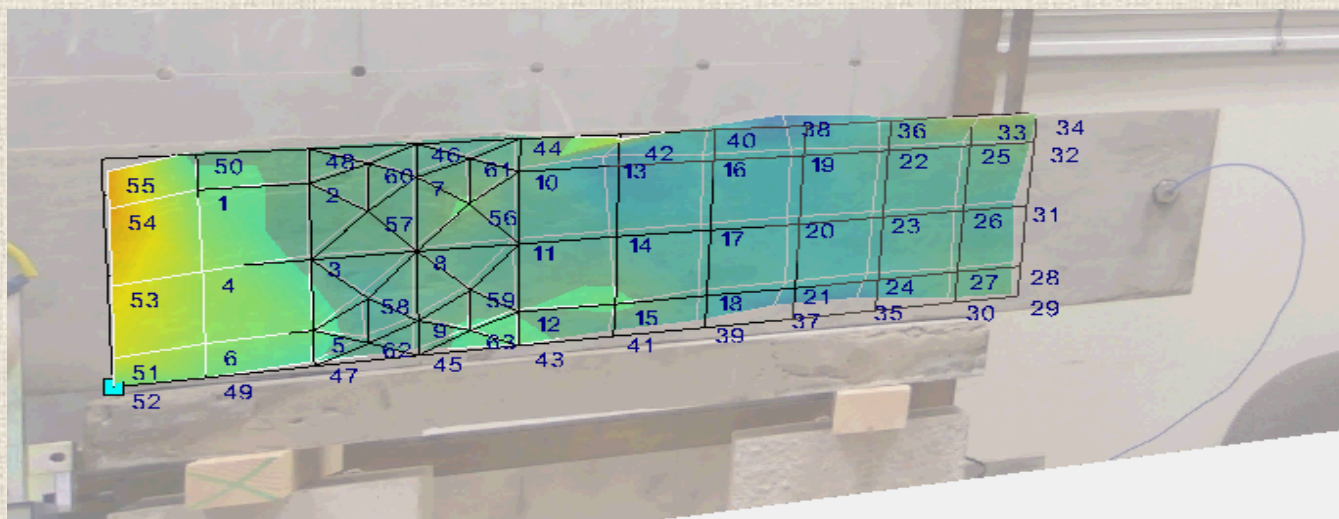
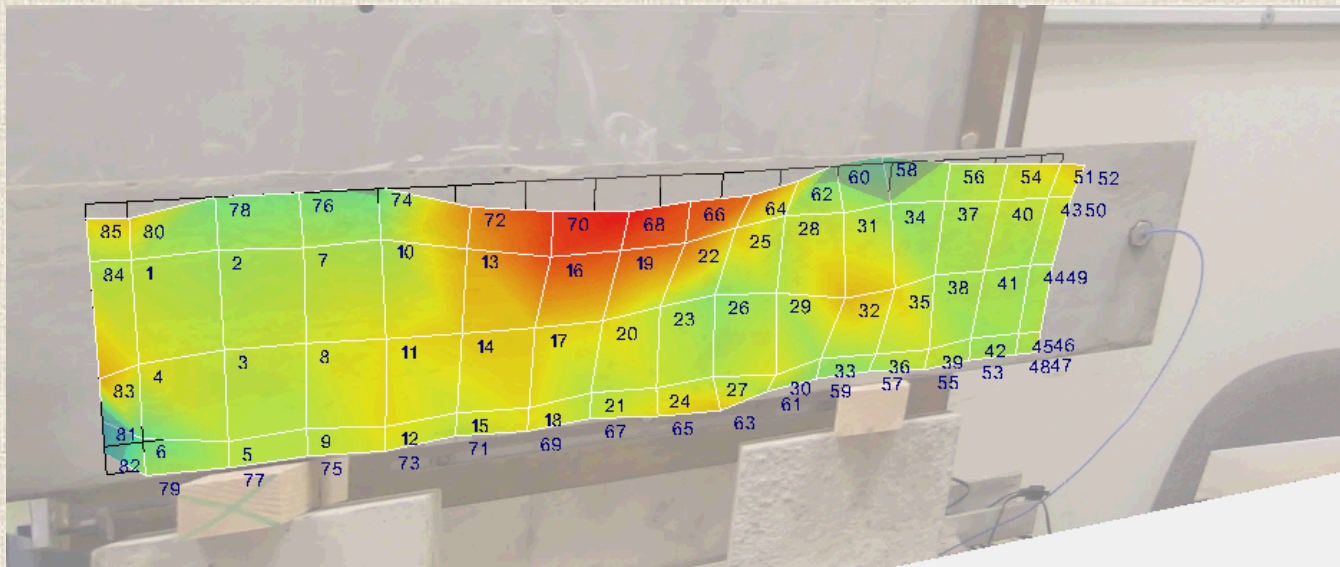


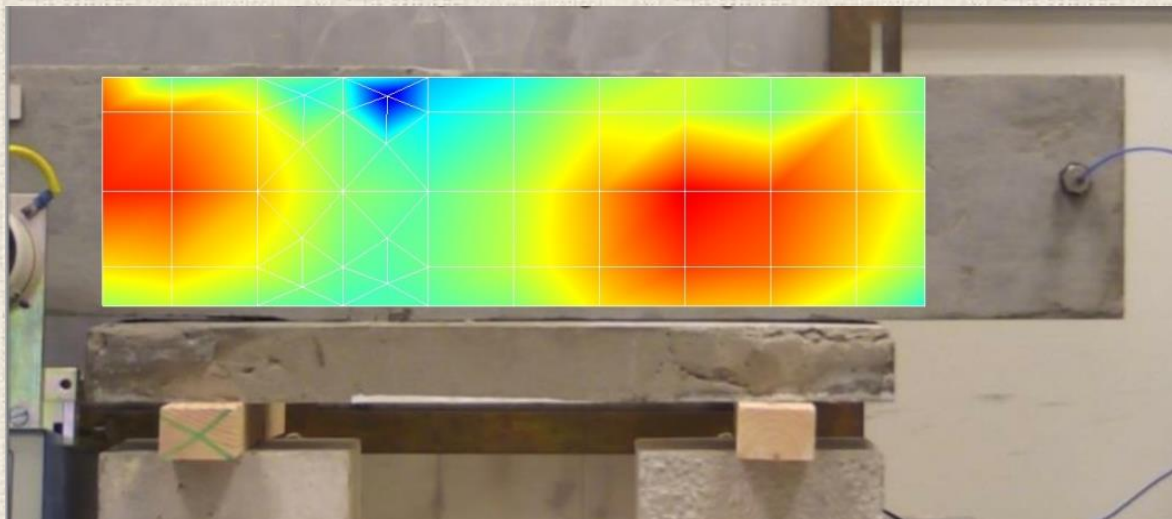


→ Κατά τόπους εφαρμογή επισκευαστικού κονιάματος σε δοκό οπλισμένου σκυροδέματος

→ Σκοπός του πειράματος να προσεγγιστεί η στρωματογραφική φύση μιας νωπογραφίας με στρώσεις κονιάματος διαφορετικής σύστασης και πάχους



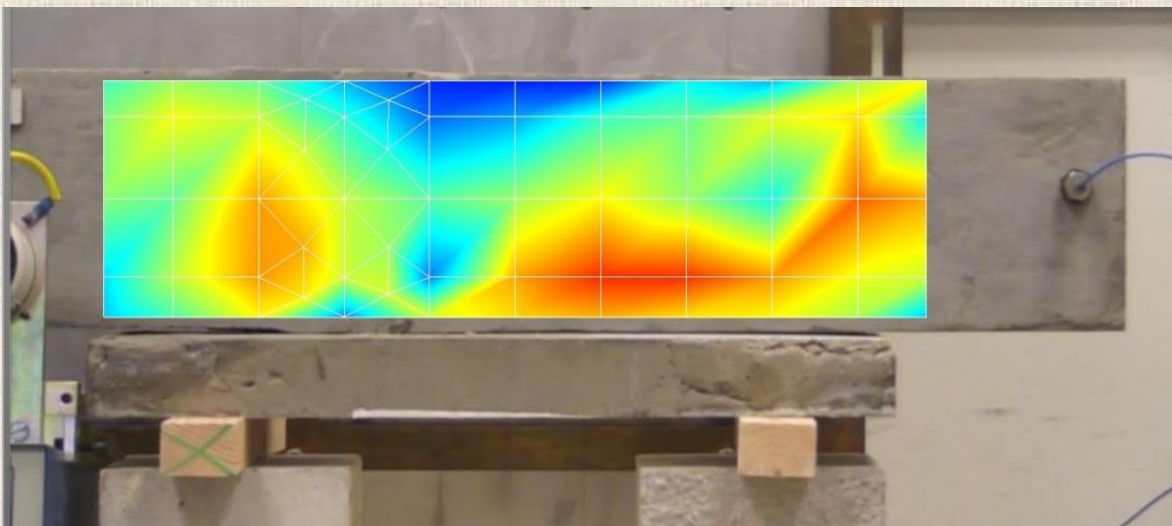




Χρωματικός χάρτης των μέσων επιφανειακών ταχυτήτων για συχνότητα διέγερσης 125 Hz

→ Οι περιοχές με σκούρο μπλε χρώμα είναι εκείνες με τις μεγαλύτερες επιφανειακές ταχύτητες ταλάντωσης

→ Οι περιοχές αυτές ταυτίζονται με εκείνες που εφαρμόστηκε το επισκευαστικό κονίαμα



Χρωματικός χάρτης των μέσων επιφανειακών ταχυτήτων για συχνότητα διέγερσης 200 Hz

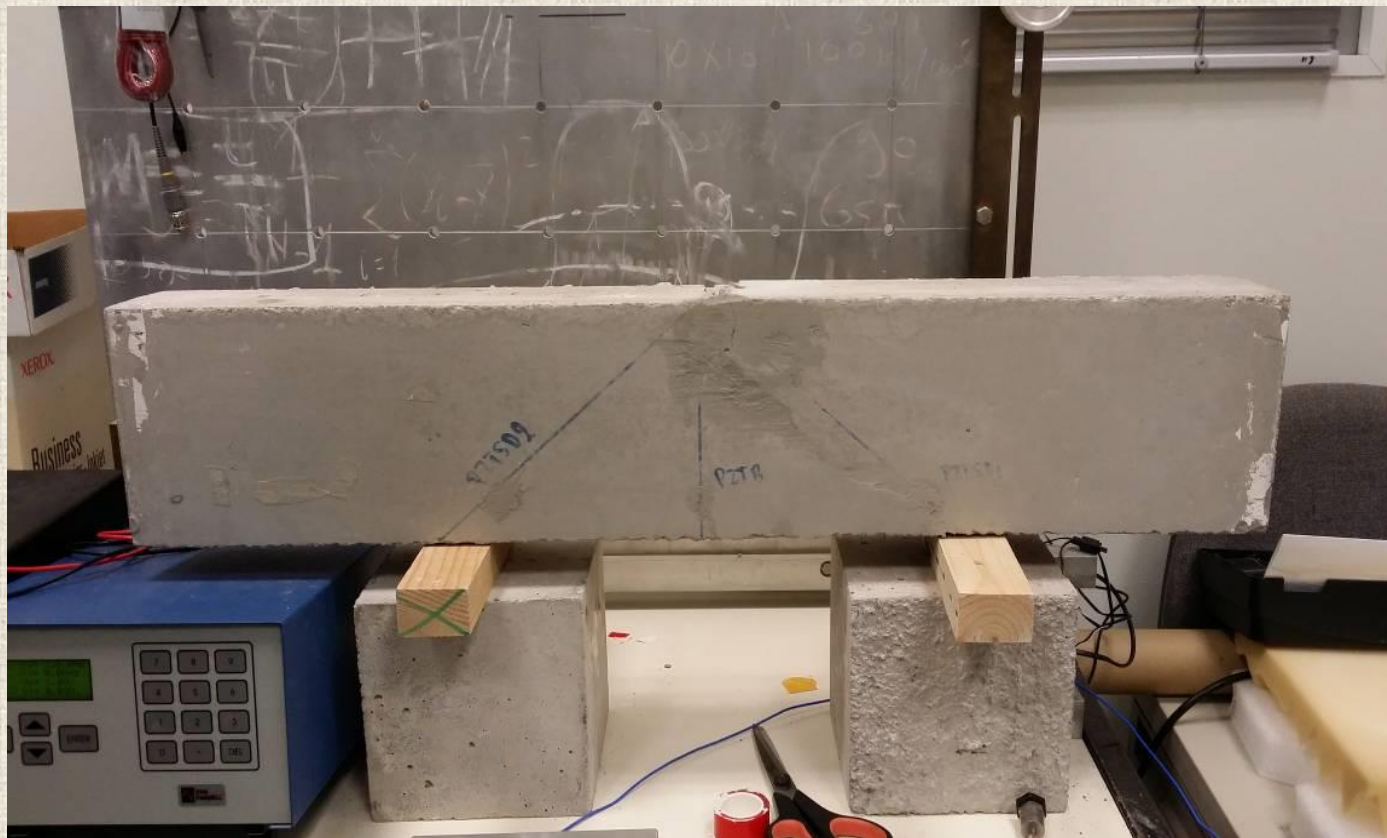
→ Αποδεικνύεται ότι το επισκευαστικό υλικό ναί μεν συμπλήρωσε τα κενά αλλά ταυτόχρονα δεν κατέστη δυνατή η συνάφεια παλιού και νέου υλικού

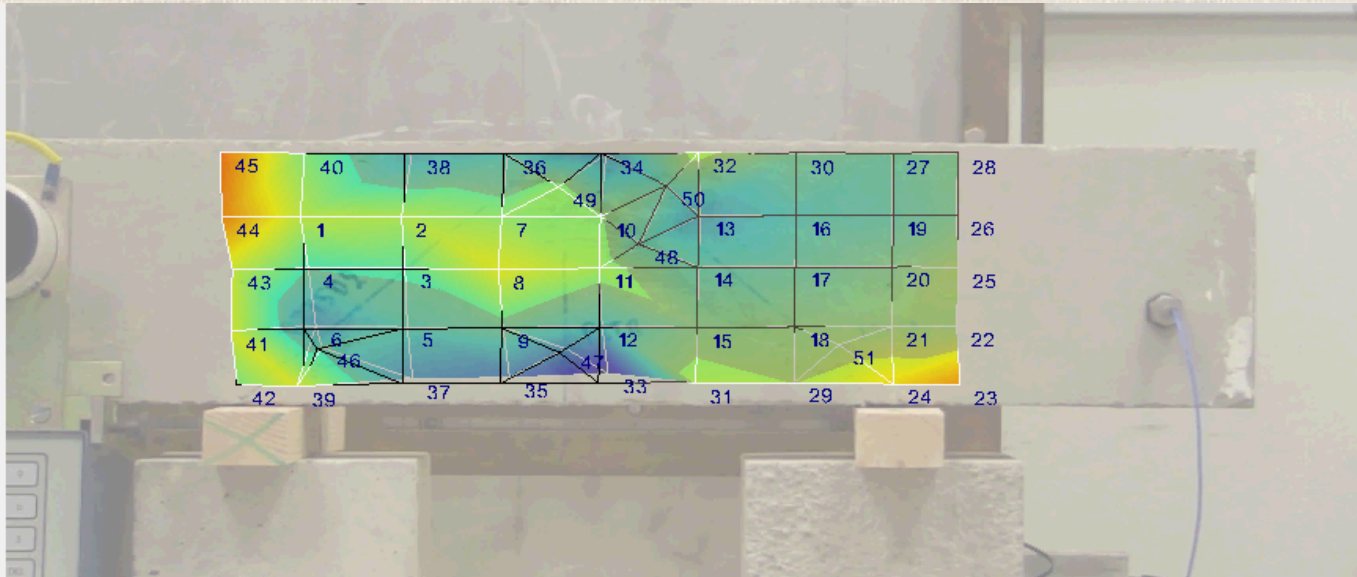
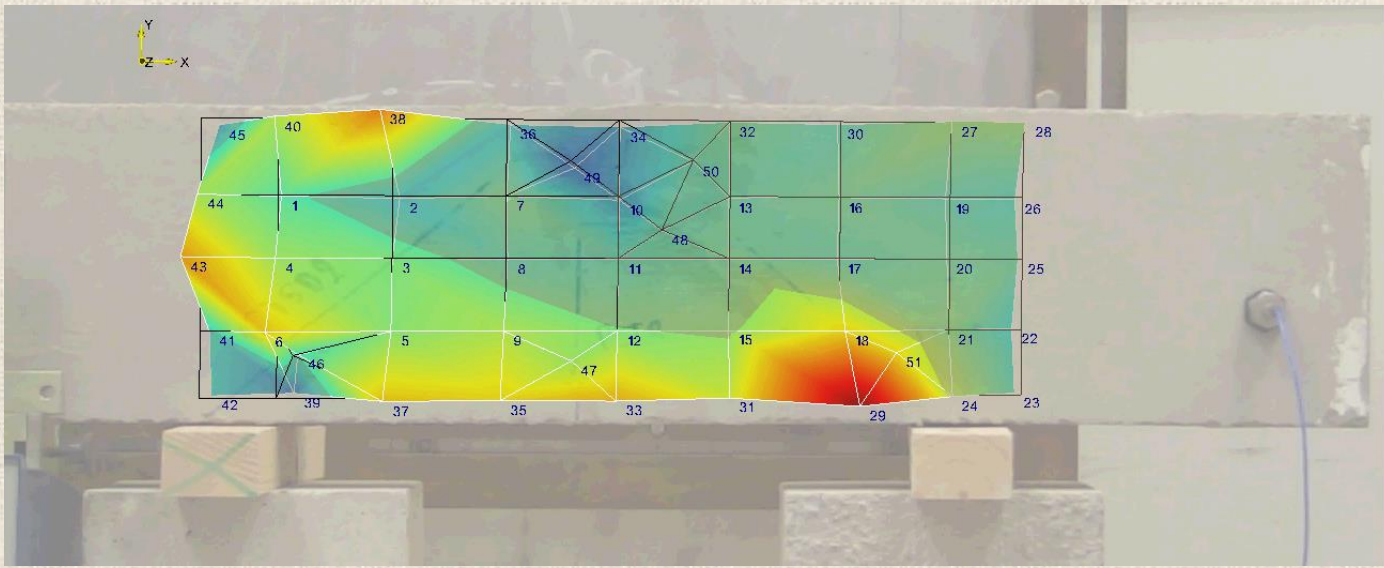


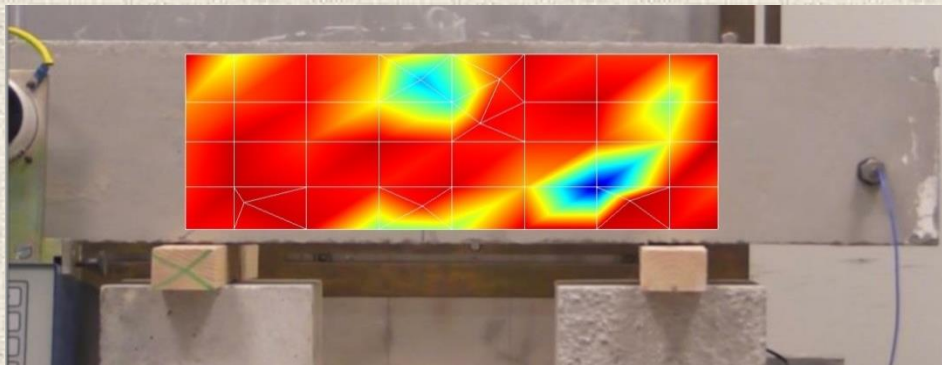
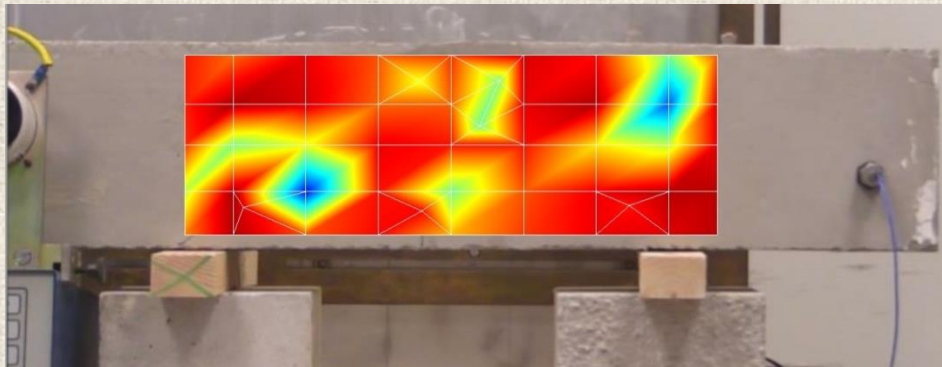
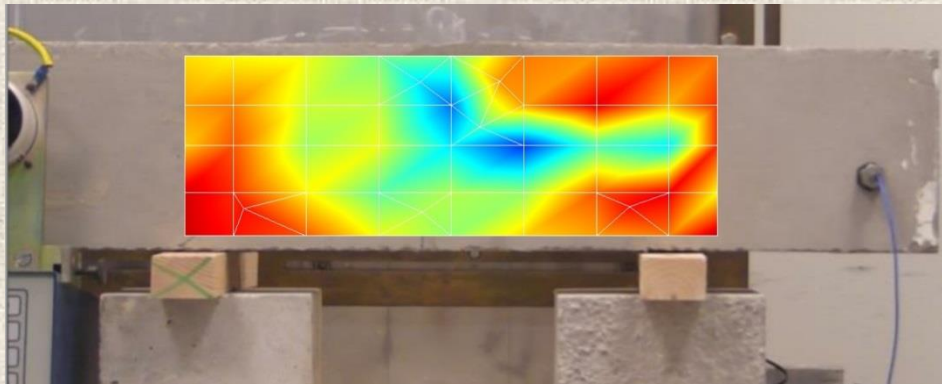
Πειραματική εφαρμογή της προτεινόμενης μεθόδου

Πείραμα 5: Προκαταρκτική ανίχνευση βλάβης σε εργαστηριακή κλίμακα









→ Κάλυψη μόνο των ρωγμών

→ Εξαναγκασμένη ταλάντωση που επιβλήθηκε από τον διεγέρτη μηχανικών ταλαντώσεων

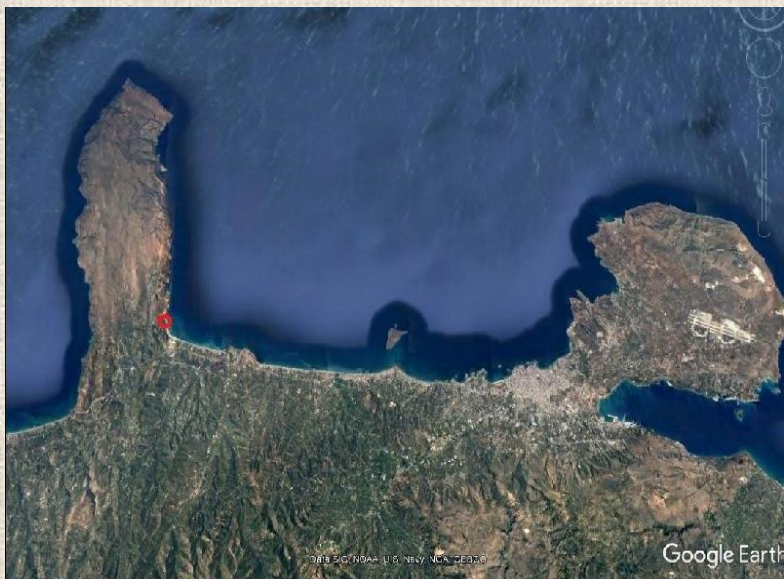
→ Για συχνότητες διέγερσης 125,150 και 175 Hz είναι αναγνωρίσιμες οι περιοχές βλάβης (σκούρο μπλε χρώμα)

→ Για καλύτερο προσδιορισμό των περιοχών βλάβης απαιτείται η δημιουργία ενός πυκνότερου καννάβου σημείων σάρωσης

→ Η μέθοδος είναι ικανή να ανιχνεύσει τις υποκρυπτόμενες βλάβες ακόμα και σε μικρές συχνότητες διέγερσης, ακόμα για τις πολύ μικρές ταλαντώσεις των επιφανειακών μορίων της επιφάνειας







→ Κτίστηκε σε τρεις φάσεις, τον 14^ο, 15^ο και 16^ο αιώνα

→ Βρίσκεται στη θέση Καβούσι, που πήρε το όνομά της από τις δύο πηγές κρηνών που υπάρχουν στην απέναντι πλευρά του χειμάρρου και νότια από το παλιό Καθολικό, από όπου υδρεύονταν οι μοναχοί



→ Ο πρώτος ναός χτίστηκε στα μέσα του 14^{ου} αιώνα, τοιχογραφημένος

→ Τον 15^ο αιώνα επεκτάθηκε προς τα δυτικά

→ Τον 16^ο αιώνα προστέθηκε το δεύτερο κλίτος



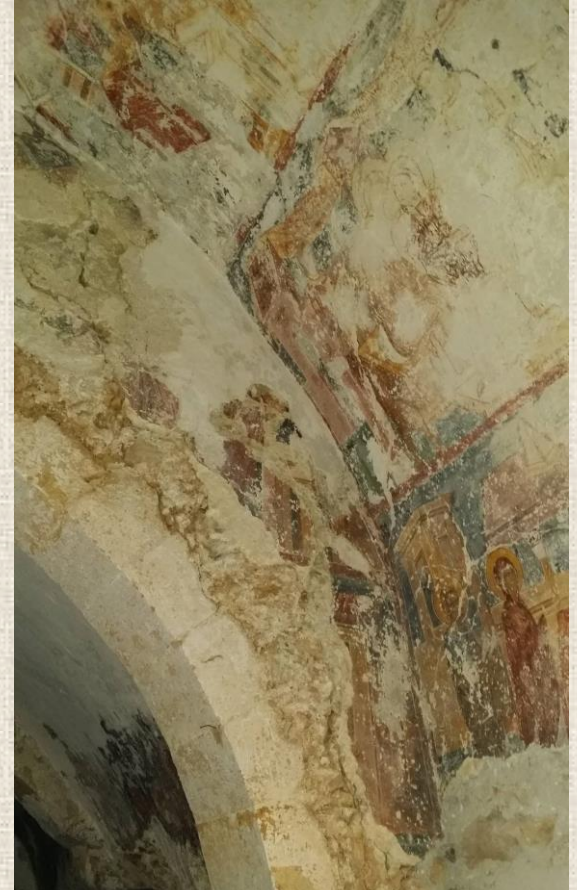
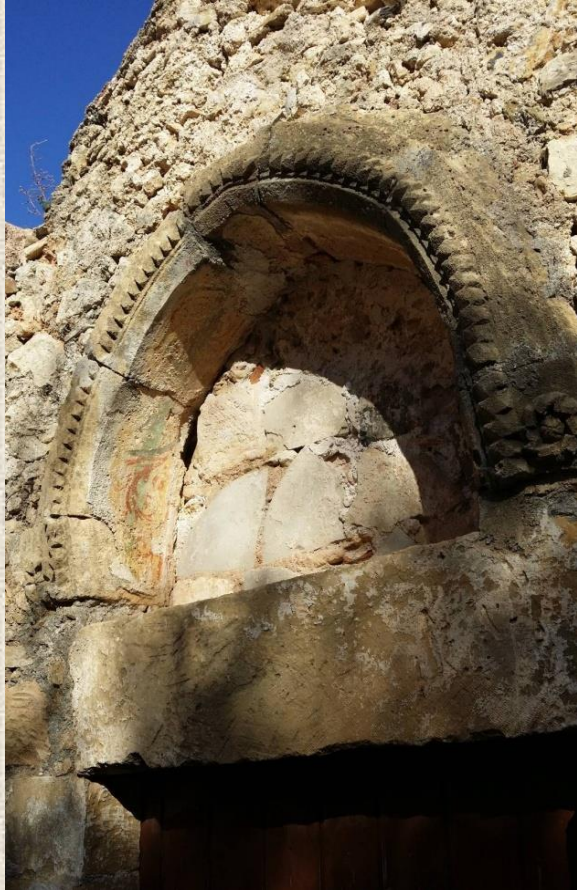


- Έρμαιο των καιρικών συνθηκών εξαιτίας της θέσης του, σε επίπεδο αρκετά πάνω από το επίπεδο της θάλασσας
- Έλλειψη παραθύρων και πόρτας συντέλεσε αρνητικά στην αλλοίωση της δομικής ακεραιότητας του ναού και των τοιχογραφιών
- Εκτεταμένες φθορές στο νότιο κλίτος του ναού-μερική κατάρρευση οροφής, ρηγματώση, αποκόλληση σοβάδων και καθίζηση



Σημερινή κατάσταση



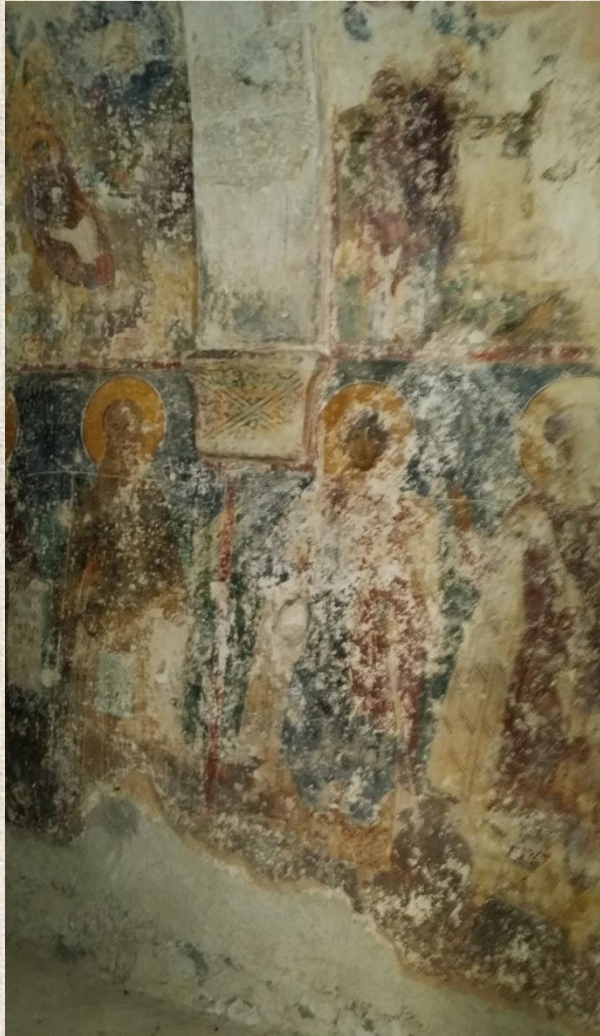




- Το μεγαλύτερο μέρος του ναού έχει προσβληθεί από την υγρασία, τις ειδικές κλιματολογικές συνθήκες και τον ανθρώπινο παράγοντα
- Επιπτώσεις από συνδυασμό παραγόντων, όπως η υγρασία και η αστοχία του φορέα μετά την προσάρτηση του νότιου κλίτους
- Μερική καθίζηση της καμάρας στην περιοχή ένωσης του βορείου με το νότιο κλίτος

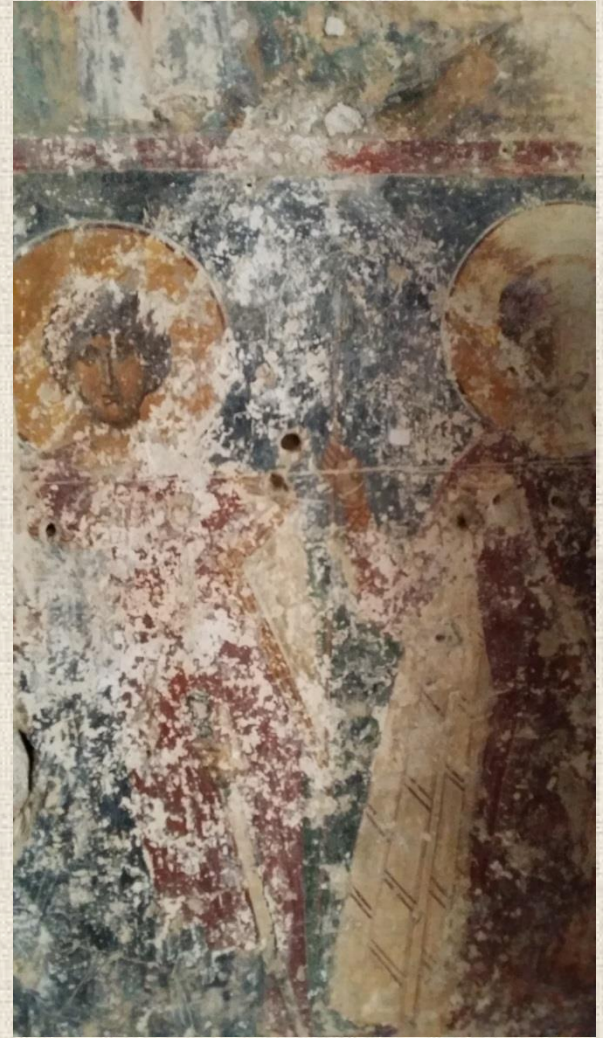
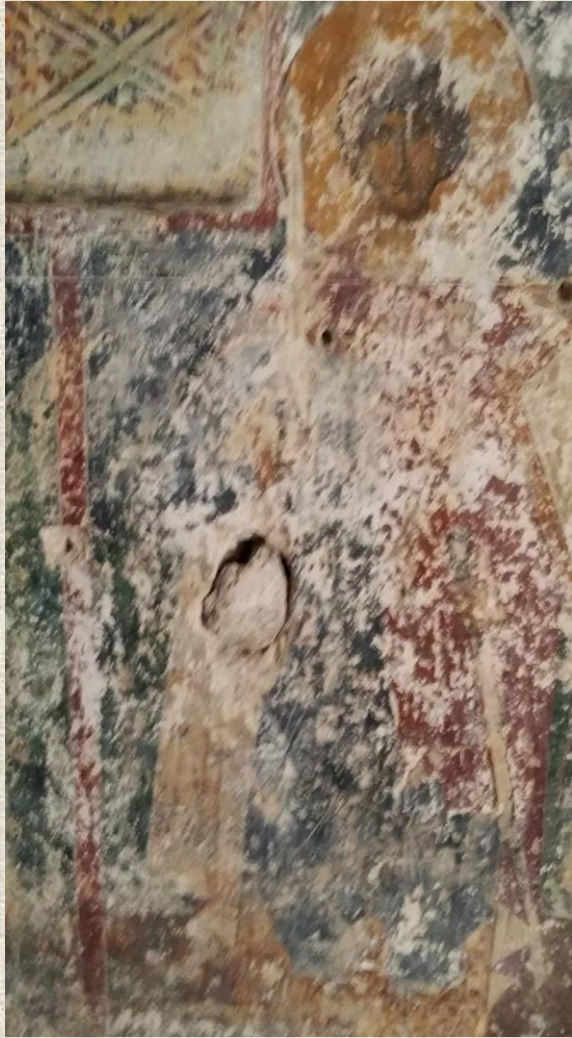
Σημερινή κατάσταση





- Η εξεταζόμενη αγιογραφία βρίσκεται στο βόρειο-δυτικό τμήμα του ναού
- Εμφανή επιφανειακά προβλήματα – οπές, ρηγματώσεις, μερική απόσπαση τμημάτων και αποκολλήσεις
- Το κάτω μέρος της τοιχογραφίας έχει αποσπαστεί ολοκληρωτικά
- Έχουν πραγματοποιηθεί μερικές εργασίες συντήρησης και συγκράτησης







VID_20160329_1433
53.3gp



VID_20160329_1435
56.3gp





‘Σάρωση’ της τοιχογραφίας με την παραδοσιακή μέθοδο





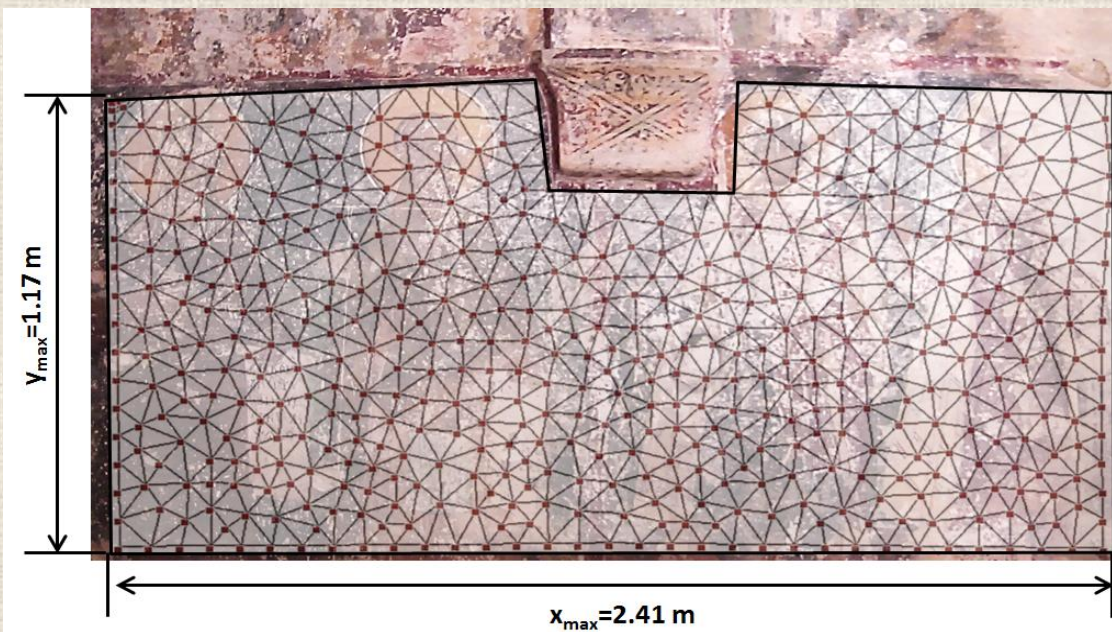


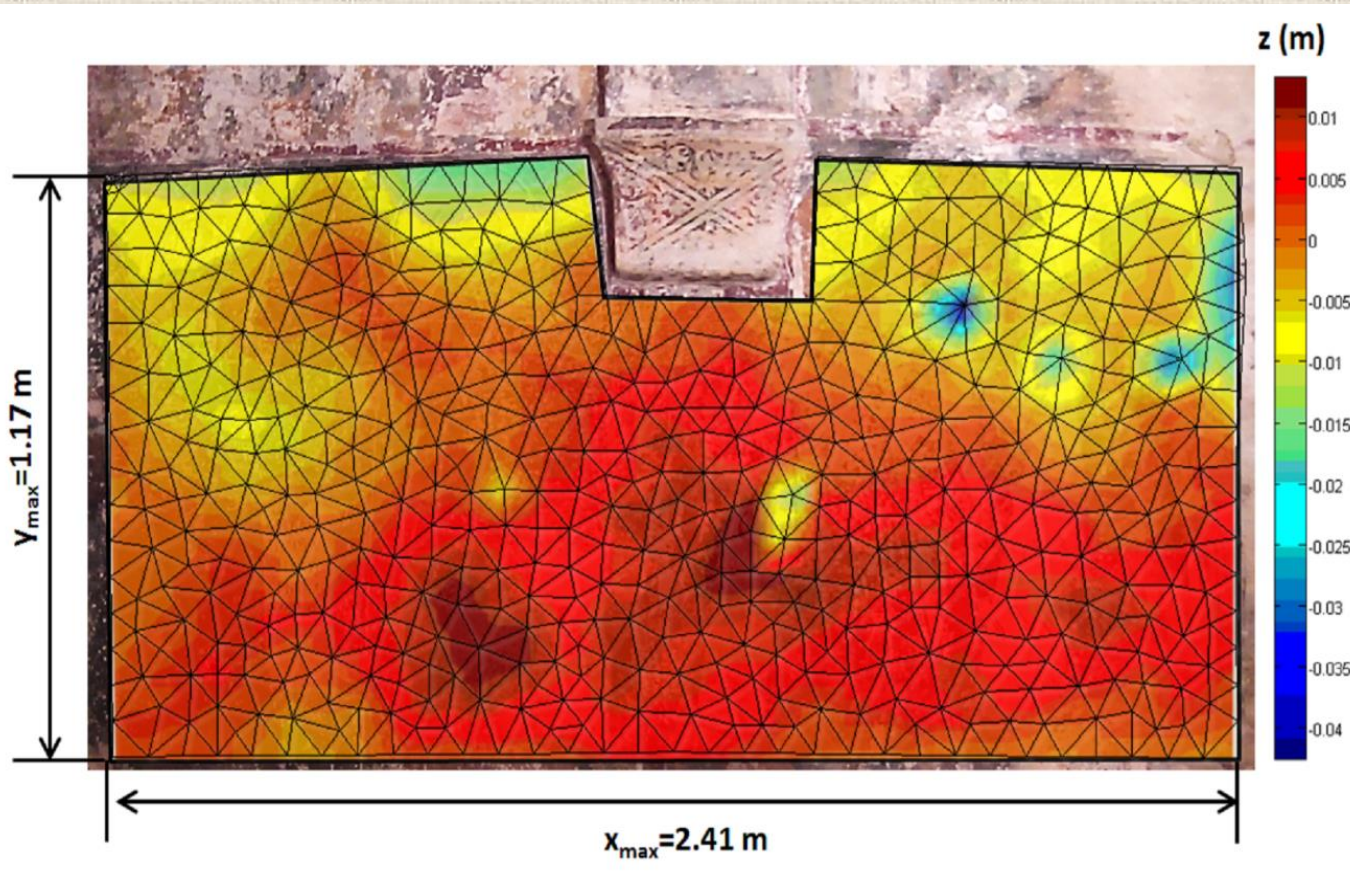
→ Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με ένα Scanning Laser Doppler Vibrometer της εταιρίας Polytec

→ Η περιοχή μελέτης έχει διαστάσεις 1,17x2,41 μέτρα

→ Διακριτοποίηση σε κάρναβο σημείων σε κατάλληλες θέσεις

→ Δεν χρησιμοποιήθηκε εξωτερικός διεγέρτης και αισθητήρας με σκοπό να εξακριβωθεί η αποτελεσματικότητα της μεθόδου χωρίς να υπάρχει επαφή με την εξεταζόμενη επιφάνεια της νωπογραφίας

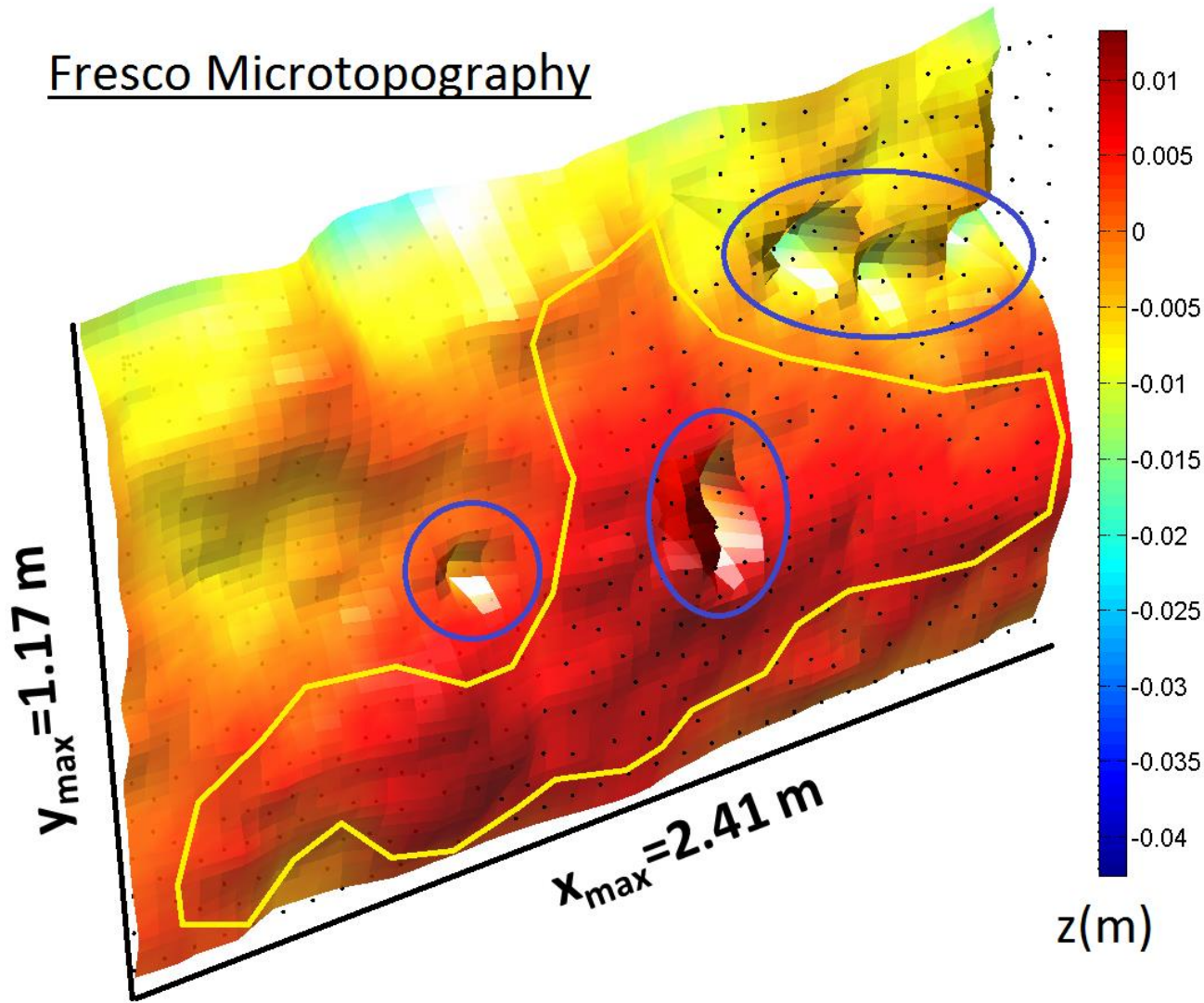




- Πλέγμα με την κατανομή των μικρομετακινήσεων των σημείων της επιφάνειας σε επίπεδο κάθετο με την επιφάνεια του τοίχου
- Κόκκινο χρώμα: θετικές τιμές μετατόπισης → τάση της επιφάνειας για διεύρυνση/επέκταση
- Μπλε χρώμα: αρνητικές τιμές μετατόπισης → περιοχές με εμφανή ή μη προβλήματα, αποκολλημένα τμήματα ή ρηγματώσεις



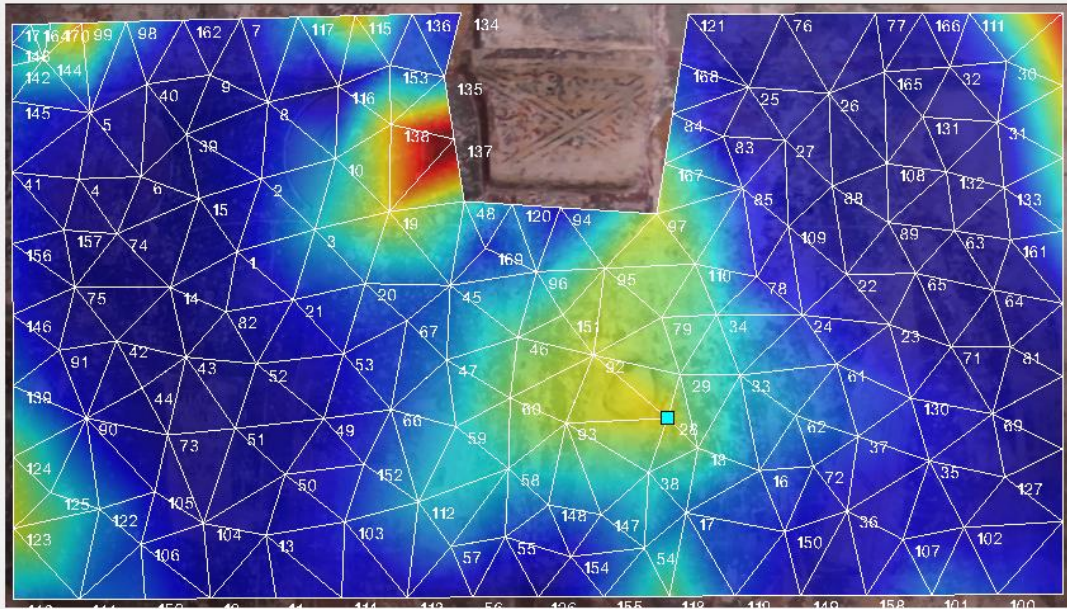
Fresco Microtopography



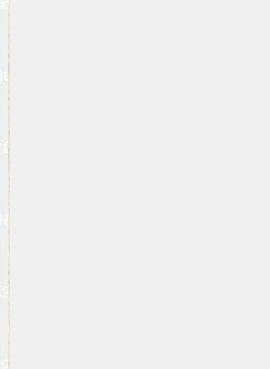
→ Οι περιοχές που περικλείονται από μπλε γραμμή αντιστοιχούν σε αυτές με τρύπα – αρνητικές τιμές

→ Η περιοχή που περιγράφεται από κίτρινη γραμμή φανερώνει την τάση της νωπογραφίας για αποκόλληση – θετικές τιμές (πιθανή συσχέτιση με το αποσπασμένο τμήμα του κάτω μέρους της αγιογραφίας)



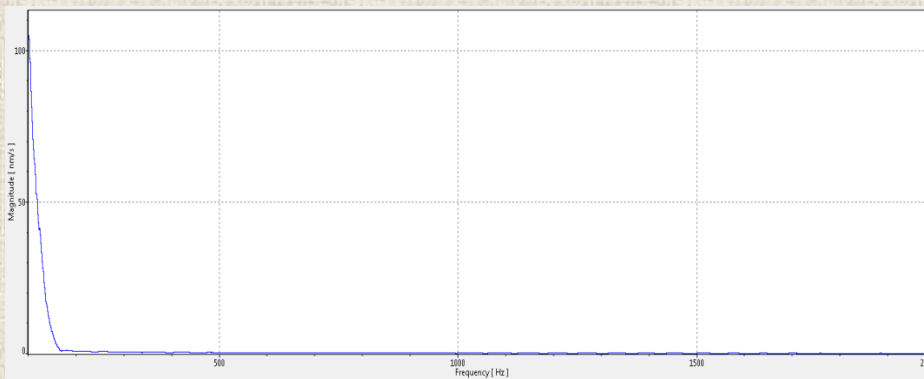


Domain	FFT
Signal	Vib Velocity
Magnitude	nm/s
Components	Root



→ Αφαίρεση των σημείων όπου η μέτρηση της ταχύτητας δεν ήταν η βέλτιστη (χαμηλή ποιότητα ανακλώμενου οπτικού σήματος laser)

→ Αρχικά επιλέγω τη συχνότητα του μέσου φάσματος για να βρω το μέγιστο πλάτος- Γενική εκτίμηση της βλάβης της νωπογραφίας

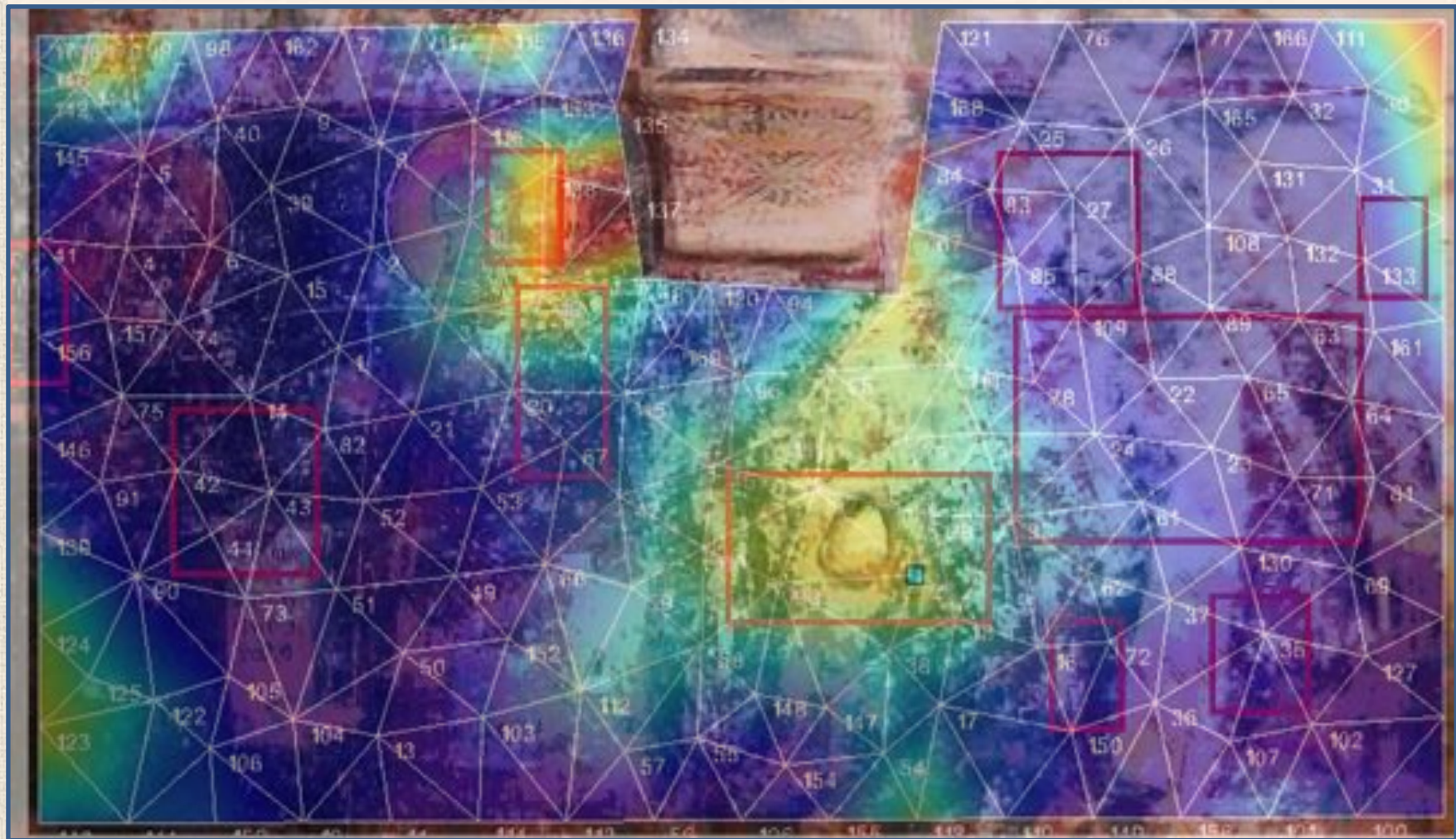


Vib Velocity	Average Spectrum
Frequency	100.0 Hz
Magnitude	189.78 mm/s

Frequency	100 Hz
Index	28
Scan Point Number	28
Component	Root
Magnitude	257.0 nm/s
Scan:	Invalidated
Geom.:	Optimal Meas.
Focus:	Assigned Auto
Interp.:	Interpolate Invalid
Direction	+ Z
3D Point	
X:	1.44362 m
Y:	0.37478 m
Z:	0.01191 m
D:	2.70595 m

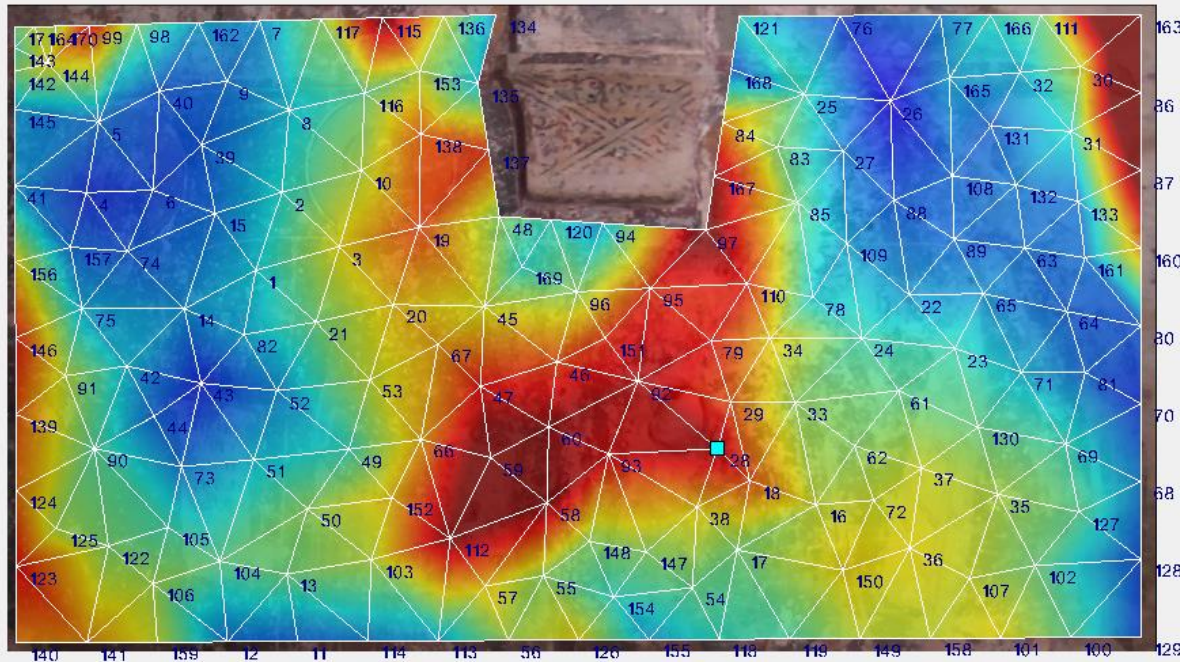
→ Κρατώντας σταθερό το πλάτος, αλλάζουν οι συχνότητες προκειμένου να καθαρίσει η εικόνα στις περιοχές βλάβης





Σύγκριση αποτελεσμάτων



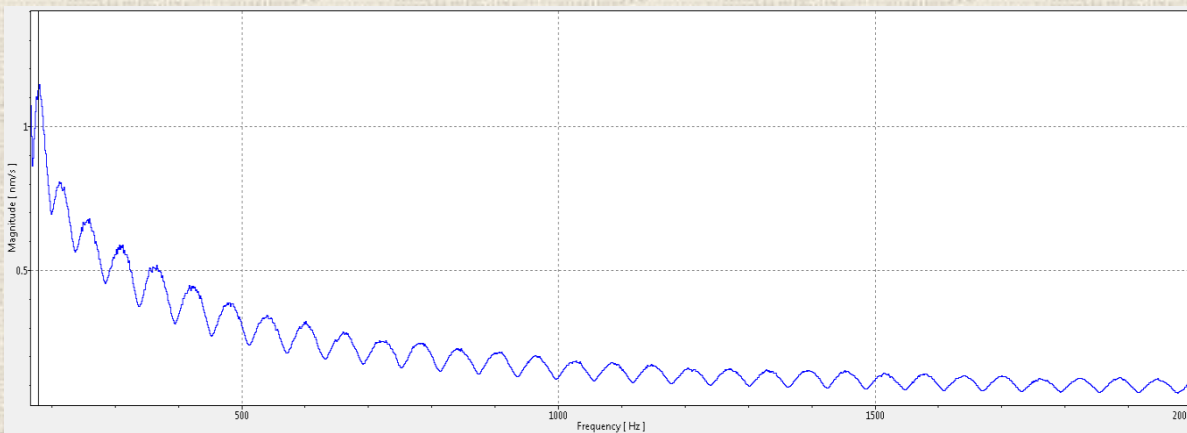


Domain FFT

Signal Vib Velocity

Magnitude nm/s

Components Root



Vib Velocity
Average Spectrum

Frequency 178.8 Hz

■ Magnitude 1.1247 nm/s

Frequency 178.8 Hz

Index 28

Scan Point Number 28

Component Root

■ Magnitude 1.933 nm/s

■ Scan: Invalidated

■ Geom.: Optimal Meas.

■ Focus: Assigned Auto

■ Interp.: Interpolate Invalid

Direction + Z

3D Point

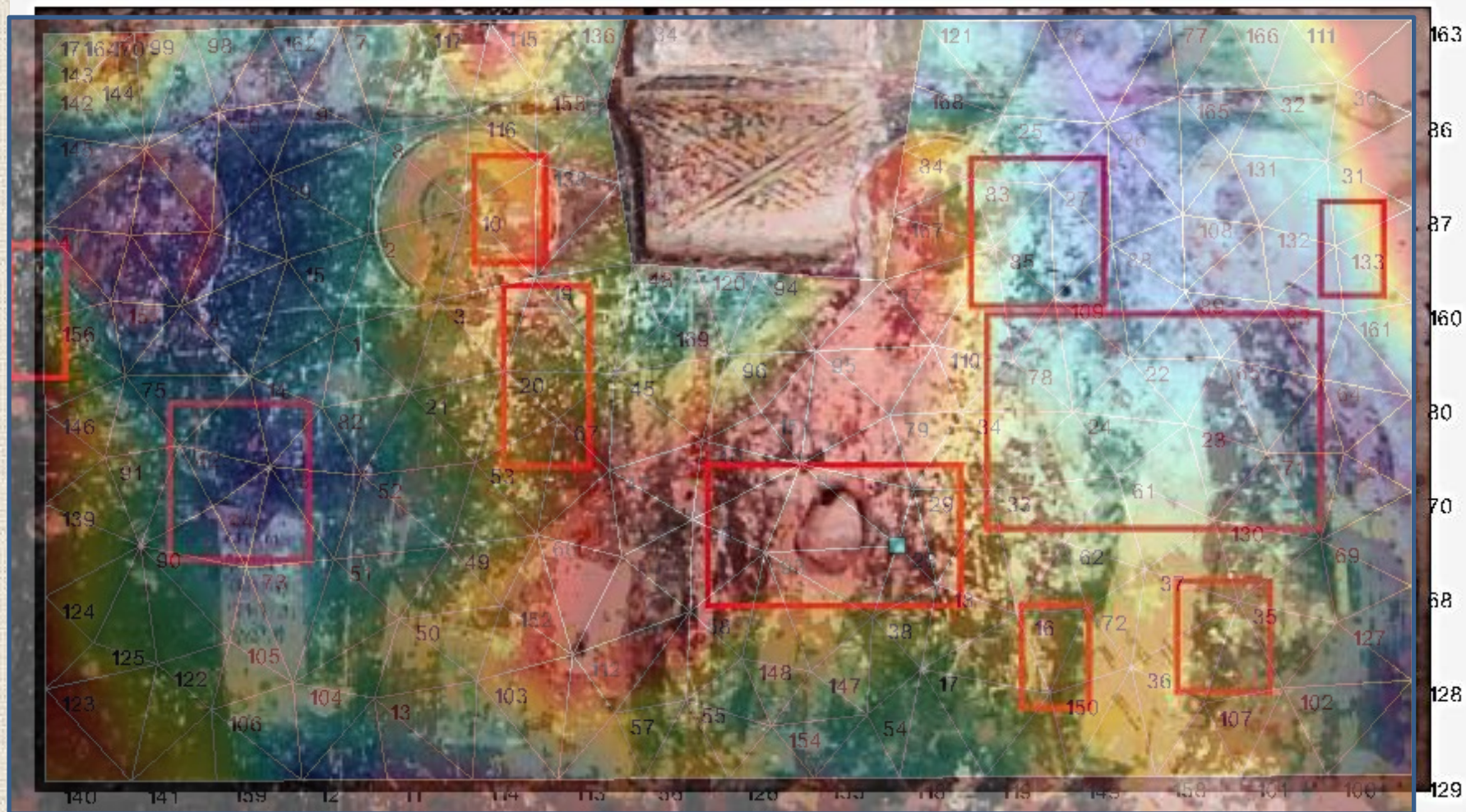
X: 1.44362 m

Y: 0.37478 m

Z: 0.01191 m

D: 2.70595 m





Σύγκριση αποτελεσμάτων



→ Ο φυσικός θόρυβος είναι μεγάλου μήκους κύματος χαμηλής συχνότητας οπότε ενδείκνυται για ανίχνευση μεγάλων βλαβών –

→ Οι μεγάλες βλάβες παρουσιάζονται ως περιοχές με μεγάλες ταχύτητες και δεσπόζουν στην απεικόνιση των βλαβών, με αποτέλεσμα να εξαλείφονται οι μικρότερες στη συγκεκριμένη απεικόνιση

→ Μια διερεύνηση της απόκρισης της κατασκευής στις διάφορες συχνότητες συντονισμού μπορεί να δώσει σαφή στοιχεία για τις αποκολλήσεις της νωπογραφίας



Συμπεράσματα:

- Σκοπός της εργασίας ήταν η καταγραφή των δυνατοτήτων της μεθόδου σάρωσης ταλαντώσεων με λέιζερ στη διαγνωστική διαδικασία της δομικής ακεραιότητας μιας νωπογραφίας
- Πρόκειται για εντελώς ανέπαφη, μη καταστρεπτική και μη επεμβατική μέθοδο
- Μέσω της σάρωσης μιας πληθώρας σημείων καταγράφεται η διαφορά φάσης σε δυναμική φόρτιση των σημείων, στηριζόμενοι στο φαινόμενο Doppler
- Η μέθοδος δίνει μετρήσιμα και συγκρίσιμα αποτελέσματα ακόμα και χωρίς την ενεργοποίηση χωρίς την εφαρμογή εξωτερικού διεγέρτη, μόνο με φυσικό θόρυβο
- Η πρώτη φάση των πειραμάτων στο εργαστήριο είχε ως σκοπό της εξοικείωση με τη μέθοδο και τον εξοπλισμό, τη διερεύνηση της ευαισθησίας της μεθόδου και των δυνατοτήτων του SLDV, σε διάφορες συνθήκες στήριξης, συχνότητες και συνθήκες περιβάλλοντος
- Υπάρχει επιτυχής ταύτιση των αποτελεσμάτων της παραδοσιακής μεθόδου με το ελαφρύ χτύπημα της επιφάνειας της τοιχογραφίας με το ειδικό σφυρί με τα δεδομένα που εξάγει το SLDV



In situ

- Αποτελέσματα χωρίς χρήση εξωτερικού διεγέρτη
- Εφικτή η εξαγωγή συμπερασμάτων για την κατάσταση μιας νωπογραφίας χωρίς επαφή με την επιφάνειά της
- Προέκυψαν έγκυρα, μετρήσιμα αποτελέσματα σχετικά με τις επιφανειακές βλάβες καθώς επίσης και για τις αποκολλήσεις που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια της νωπογραφίας
- Για καλύτερα χωρικά ορισμένα αποτελέσματα απαιτείται επανασχεδιασμός του καννάβου σημείων σάρωσης με πυκνότερο δίκτυο στις περιοχές που εντοπίστηκαν αποκολλήσεις
- Περαιτέρω διερεύνηση ίσως χρειαστεί την επιβολή εξαναγκασμένης ταλάντωσης από έναν ακουστικό διεγέρτη
- Μετά τη συντήρηση της νωπογραφίας, είναι εφικτή η πραγματοποίηση νέων μετρήσεων για την επιβεβαίωση της αποτελεσματικότητας των εργασιών συντήρησης
- Η μέθοδος είναι ιδανική ως μηχανισμός ελέγχου και διάγνωσης της κατάστασης μιας νωπογραφίας και έργων τέχνης γενικότερα



Σας ευχαριστώ πολύ για την προσοχή σας!