



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΕΡΓ. ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

Ολοκληρωμένο σύστημα απομακρυσμένου Μη Καταστροφικού Ελέγχου (ΜΚΕ) κατασκευών από σκυρόδεμα, με τη χρήση πιεζοηλεκτρικών αισθητήρων.

το Πολυτεχνείο Κρήτης ερευνά

ημέρες γνωριμίας με την έρευνα

3-4 Ιουλίου, 2014.



Λιαράκος Ε.Β., Υπ. Διδάκτορας

Προβιδάκης Κ.Π., Καθηγητής ΑΡΜΗΧ Π.Κ.

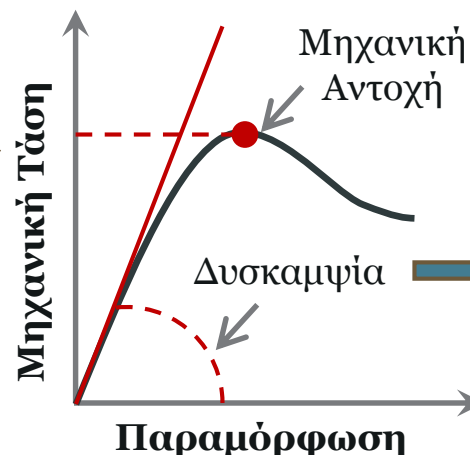


Επισκόπηση παρουσίασης

1. Μη Καταστροφικός Έλεγχος (ΜΚΕ) υλικών και Κατασκευών
2. ΜΚΕ και πιεζοηλεκτρικά υλικά
3. Η μέθοδος της Ηλεκτρο-Μηχανικής Εμπέδησης (ΗΜΕ)
4. Ανάπτυξη ολοκληρωμένου συστήματος καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων ΗΜΕ
5. Αξιολόγηση της δομικής ακεραιότητας των υπό παρακολούθηση κατασκευών
6. Εφαρμογές σε δομικά στοιχεία σκυροδέματος
7. Σύνοψη

1. Μη Καταστροφικός Έλεγχος (ΜΚΕ) υλικών και Κατασκευών

- Η απόκριση ενός δομικού συστήματος στην δράση μηχανικών καταπονήσεων διέπεται σε μεγάλο βαθμό από τις μηχανικές και φυσικές ιδιότητες των υλικών.
- Η παρακολούθηση των μηχανικών ιδιοτήτων αποτελεί μια διαδικασία ζωτικής σημασίας για την αξιολόγηση της **δομικής αρτιότητας ή ακεραιότητας** των κατασκευών και την επίτευξη της ασφαλούς λειτουργίας τους.



Μηχανική Συμπεριφορά
δομικού συστήματος

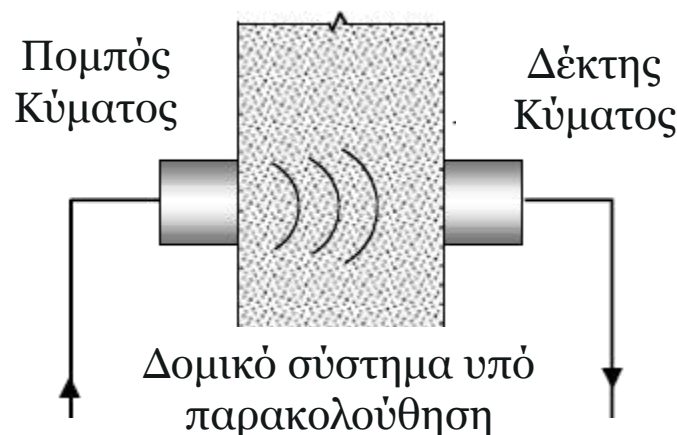


1. Μη Καταστροφικός Έλεγχος (ΜΚΕ) υλικών και Κατασκευών

- Ο **Μη Καταστροφικός Έλεγχος – ΜΚΕ** των δομικών συστημάτων προσφέρει τη δυνατότητα της επιτόπου εποπτείας και αξιολόγησης της δομικής ακεραιότητας, από τα πρώτα στάδια δόμησης και για το σύνολο του χρόνου ζωής τους.
- Ένας μεγάλος αριθμός μεθόδων ΜΚΕ έχουν αναπτυχθεί αξιοποιώντας διαφορετικά φυσικά φαινόμενα και εφαρμόζοντας τις αντίστοιχες αρχές που τα διέπουν.
- **Φιλοσοφία ΜΚΕ: Έμμεσος** προσδιορισμός (Εκτίμηση) των **μηχανικών ιδιοτήτων (Δομικά Χαρακτηριστικά)** με βάση την **άμεση** καταγραφή συγκεκριμένων **φυσικών μεγεθών (Μεγέθη Παρατήρησης)**.

1. Μη Καταστροφικός Έλεγχος (ΜΚΕ) υλικών και Κατασκευών

- Χαρακτηριστικό παράδειγμα ΜΚΕ αποτελεί η **Μέθοδος των Υπερήχων**.
- **Μέγεθος Παρατήρησης:** Ταχύτητα του εκπεμπόμενου μηχανικού κύματος, V_p .
- **Δομικά Χαρακτηριστικά:** Μέτρο Ελαστικότητας E , Λόγος Poisson ν , Μηχανική Αντοχή.



$$E = \rho V_p^2 \frac{1 - \nu}{(1 - 2\nu)(1 + \nu)}$$

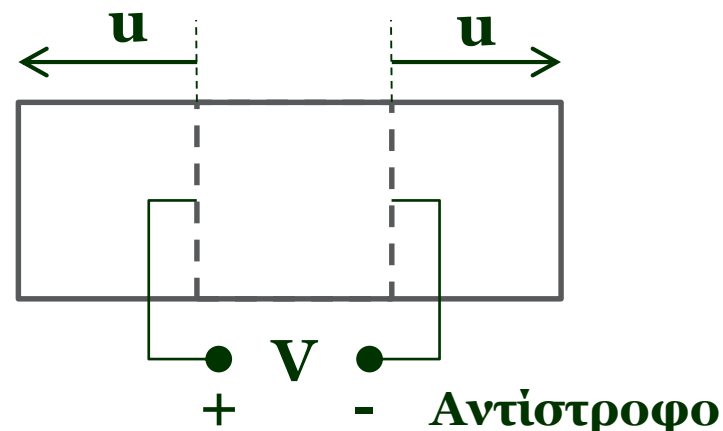
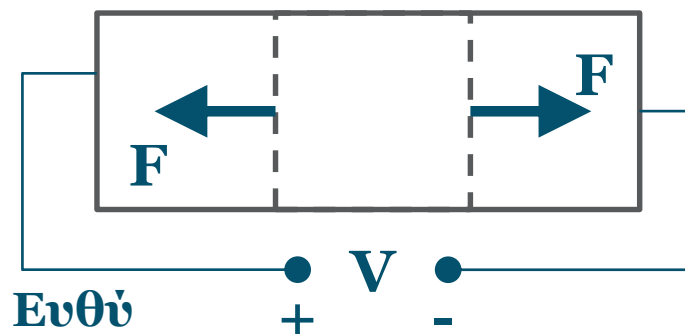
1. Μη Καταστροφικός Έλεγχος (ΜΚΕ) υλικών και Κατασκευών

ΜΚΕ Σκυροδέματος, Στόχοι:

- Παρακολούθηση της διαδικασίας ενυδάτωσης της τσιμεντόπαστας τις πρώτες 48 ώρες μετά τη σκυροδέτηση.
- Παρακολούθηση της διαδικασίας ωρίμανσης και ανάπτυξης της αντοχής του σκυροδέματος τις πρώτες 28 ημέρες μετά την παρασκευή του.
- Ανίχνευση μεταβολών της δυσκαμψίας και των ελαστικών ιδιοτήτων, οι οποίες συνδέονται με την ύπαρξη μηχανικών βλαβών (ρηγματώσεις) και επιδεινώνουν τη δομική κατάσταση του σκυροδέματος.
- Έλεγχος συνάφειας σκυροδέματος-οπλισμών.

2. ΜΚΕ και πιεζοηλεκτρικά υλικά

- Τα πιεζοηλεκτρικά υλικά επιδεικνύουν το χαρακτηριστικό της **εμφάνισης διαφοράς ηλεκτρικού δυναμικού** σε μια συγκεκριμένη διεύθυνση όταν εφαρμόζεται σε αυτά ένα **μηχανικό φορτίο (Ευθύ πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο)**.
- Αντιστρόφως **παραμορφώνονται** σε μια συγκεκριμένη διεύθυνση όταν βρίσκονται υπό την **επίδραση ενός ηλεκτρικού πεδίου (Αντίστροφο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο)**.



2. ΜΚΕ και πιεζοηλεκτρικά υλικά

Τεχνολογία ΜΚΕ

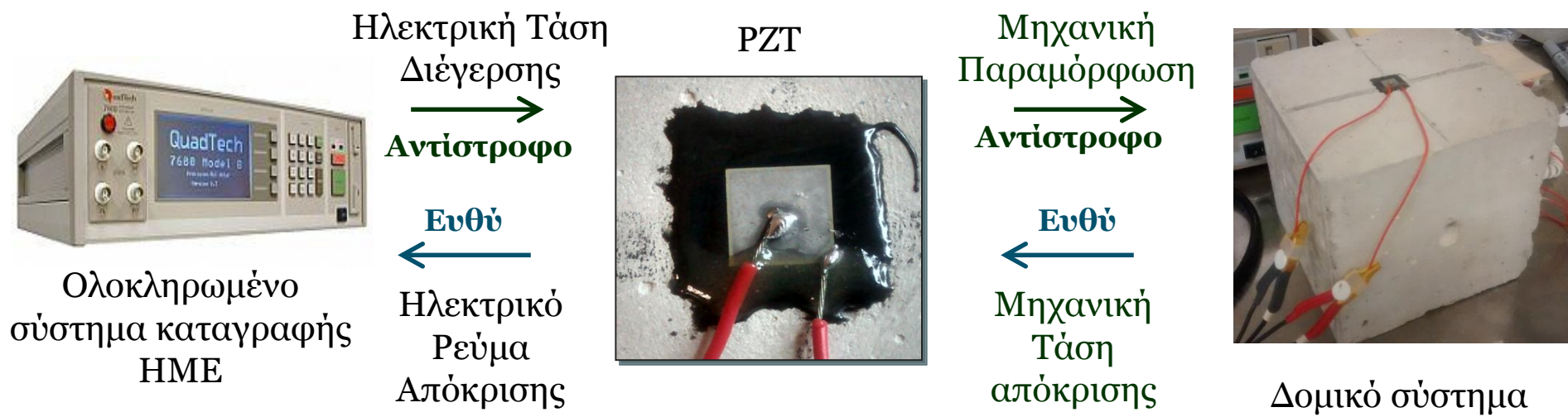
- **Ευθύ πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο:** Αισθητήρες μηχανικών παραμορφώσεων, Δέκτες μηχανικών κυμάτων. Μέγεθος Παρατήρησης: **Ηλεκτρική Τάση**.
- **Αντίστροφο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο:** Εφαρμογή μηχανικών φορτίσεων, Πομποί μηχανικών κυμάτων. Μέγεθος Παρατήρησης: **Μηχανική Παραμόρφωση**.
- Στις διαδικασίες ΜΚΕ πιεζοηλεκτρικά επιθέματα τύπου **PZT (Lead Zirconate Titanate)** προσαρμόζονται στην υπό παρακολούθηση κατασκευή (**Κατασκευή Φορέας – Κ/Φ**) λειτουργώντας ως **διεγέρτες (actuator)** ή **αισθητήρες (sensors)** μηχανικών ταλαντώσεων.

3. Η μέθοδος της Ηλεκτρο-Μηχανικής Εμπέδησης (ΗΜΕ)

- Η μέθοδος ΗΜΕ αποτελεί την πιο διαδεδομένη διαδικασία ΜΚΕ κατασκευών με τη χρήση επιθεμάτων PZT [3.1].
- Τα επιθέματα PZT προσαρμόζονται στην Κ/Φ και διεγείρονται από μια αρμονική ηλεκτρική τάση, η οποία εξωθεί το δομικό σύστημα σε μηχανική ταλάντωση.
- Το μέγεθος παρατήρησης είναι το φάσμα απόκρισης της Ηλεκτρικής Εμπέδησης του PZT σε ένα συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων.
- Στις συνήθεις εφαρμογές το εύρος συχνοτήτων καταγραφής κυμαίνεται μεταξύ 10 και 400 kHz [3.1].

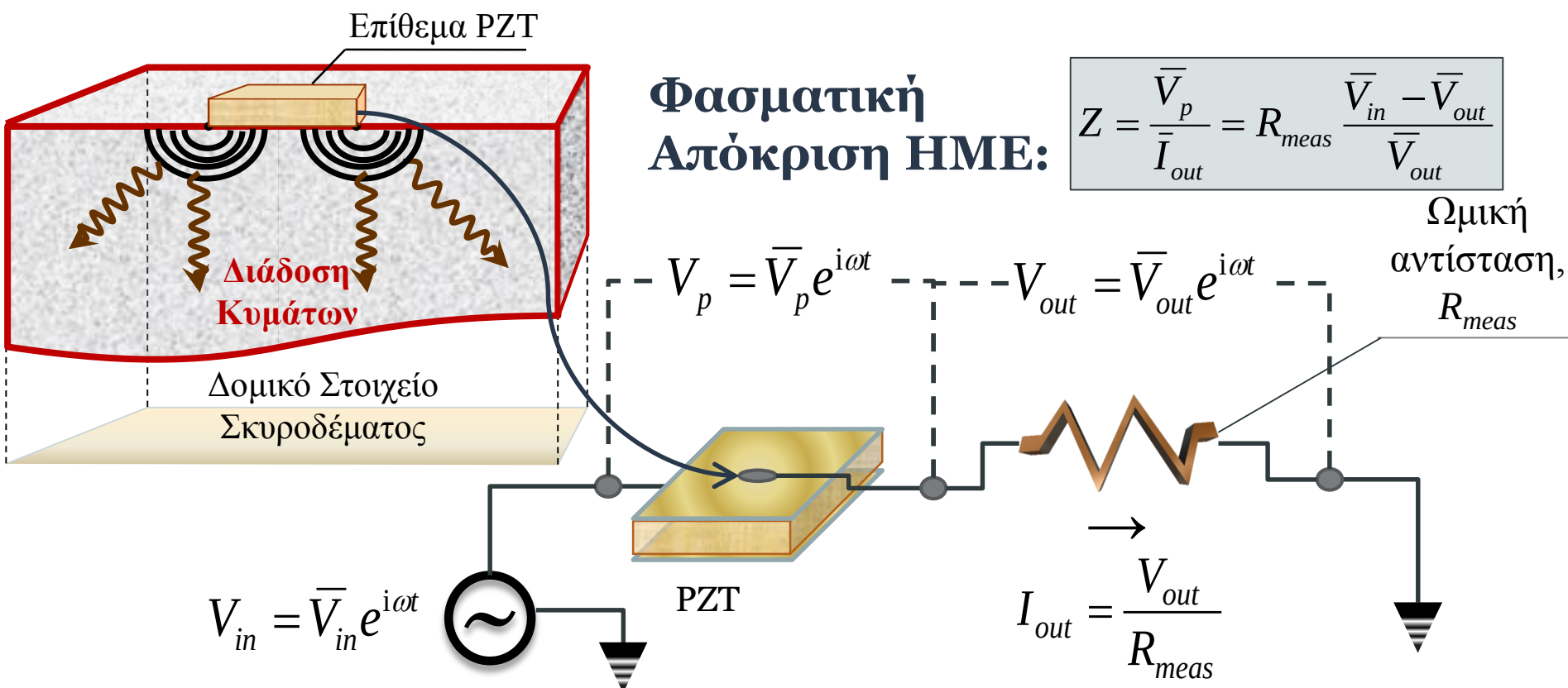
3. Η μέθοδος της Ηλεκτρο-Μηχανικής Εμπέδησης (ΗΜΕ)

- Οι διατάξεις παρατήρησης/καταγραφής της ΗΜΕ αξιοποιούν το ευθύ και το αντίστροφο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο ταυτόχρονα.
- Τα πιεζοηλεκτρικά επιθέματα λειτουργούν τόσο ως αισθητήρες μηχανικών κυμάτων όσο και ως διεγέρτες μηχανικών ταλαντώσεων **(Αισθητήρες/Διεγέρτες – Α/Δ)**.



3. Η μέθοδος της Ηλεκτρο-Μηχανικής Εμπέδησης (ΗΜΕ)

- PZT και Κ/Φ συγκροτούν ένα συζευγμένο **Ηλεκτρο-ΜΗχανικό Σύστημα –ΗΜΗΣ**.



3. Η μέθοδος της Ηλεκτρο-Μηχανικής Εμπέδησης (ΗΜΕ)

- Το φάσμα απόκρισης της ΗΜΕ εξαρτάται άμεσα από δυναμικά χαρακτηριστικά και τις μηχανικές ιδιότητες του υπό παρακολούθηση δομικού συστήματος (K_{st}), εξαιτίας της μηχανικής αλληλεπίδρασης μεταξύ PZT και Κ/Φ.

Αντίσταση (Resistance) Άεργη Αντίσταση (Reactance) Συντελεστής Ηλεκτρο-Μηχανικής Σύζευξης Δυναμική Δυσκαμψία Κ/Φ (Μηχανικές Ιδιότητες Κ/Φ)

HME → $Z(\omega) = R(\omega) + iX(\omega) = \frac{1}{i\omega C} \left(1 - \kappa_{em}^2 \frac{K_{st}(\omega)}{K_{st}(\omega) + K_{pzt}(\omega)} \right)^{-1}$ [3.2]

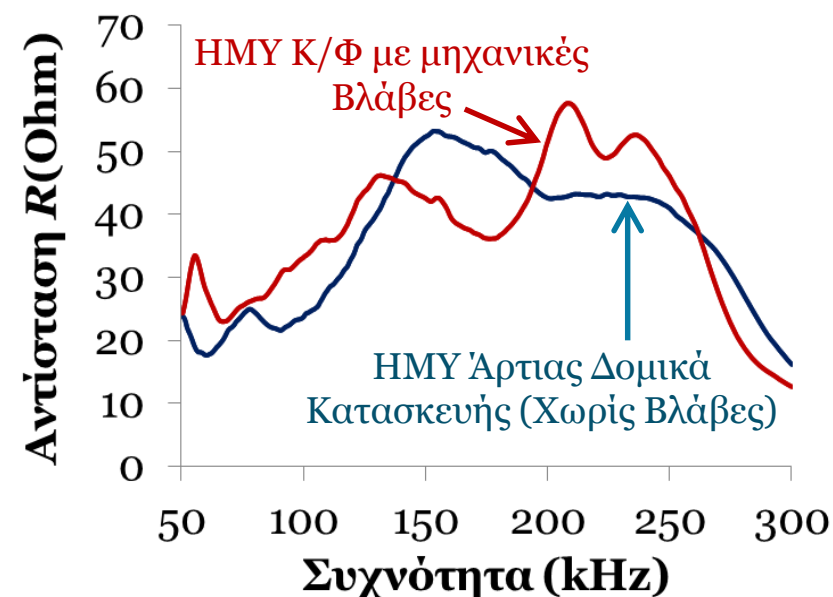
Γωνιακή Συχνότητα Διέγερσης Χωρητικότητα Επιθέματος (Διηλεκτρική Συμπεριφορά) Δυναμική Δυσκαμψία PZT (Μηχανικές Ιδιότητες PZT)

[3.2]. Giurgiutiu V. and Rogers C.A., 1999. Modeling of the Electro-Mechanical (E/M) Impedance Response of a damaged composite beam. ASME Winter Annual Meeting, ASME Aerospace and Materials Divisions, Adaptive Structures and Material Systems Symposium, November 14-19, 1999, Nashville, TN.

3. Η μέθοδος της Ηλεκτρο-Μηχανικής Εμπέδησης (ΗΜΕ)

- Δεδομένης της **μοναδικότητας** της μηχανικής απόκρισης μιας Κ/Φ (K_{st}), η φασματική απόκριση της ΗΜΕ θα αποτελεί την **Ηλεκτρο-Μηχανική Υπογραφή – ΗΜΥ** του ΗΜΗΣ.
- Οποιαδήποτε μεταβολή στα μηχανικά χαρακτηριστικά της Κ/Φ (K_{st}) λόγω μηχανικής βλάβης θα επιδρά άμεσα στη μορφή της ΗΜΥ του ΗΜΗΣ.

Φασματική απόκριση ΗΜΗΣ (Αντίσταση-Πραγματικό μέρος ΗΜΕ) σκυροδέματος-PZT, **πριν** και **μετά** την εκδήλωση μηχανικής βλάβης.



4. Ανάπτυξη ολοκληρωμένου συστήματος καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων ΗΜΕ

- Η ανάγκη για συνεχή και αξιόπιστο έλεγχο της δομικής ακεραιότητας των κατασκευών, οδήγησε στην ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου ασύρματου συστήματος καταγραφής και αξιολόγησης της ΗΜΕ.
- Ειδικά για τις περιπτώσεις ΜΚΕ του σκυροδέματος, το συγκεκριμένο σύστημα συνοδεύεται από το σχεδιασμό ενός καινοτόμου **πιεζοηλεκτρικού αισθητήρα/διεγέρτη από Teflon (PTFE)**.
- Μέρος της εφαρμογής έχει δημοσιευθεί ως **T-WiEYE** (Teflon based **W**ireless integrat**E**d monitoring s**Y**st**E**m) [4.1].

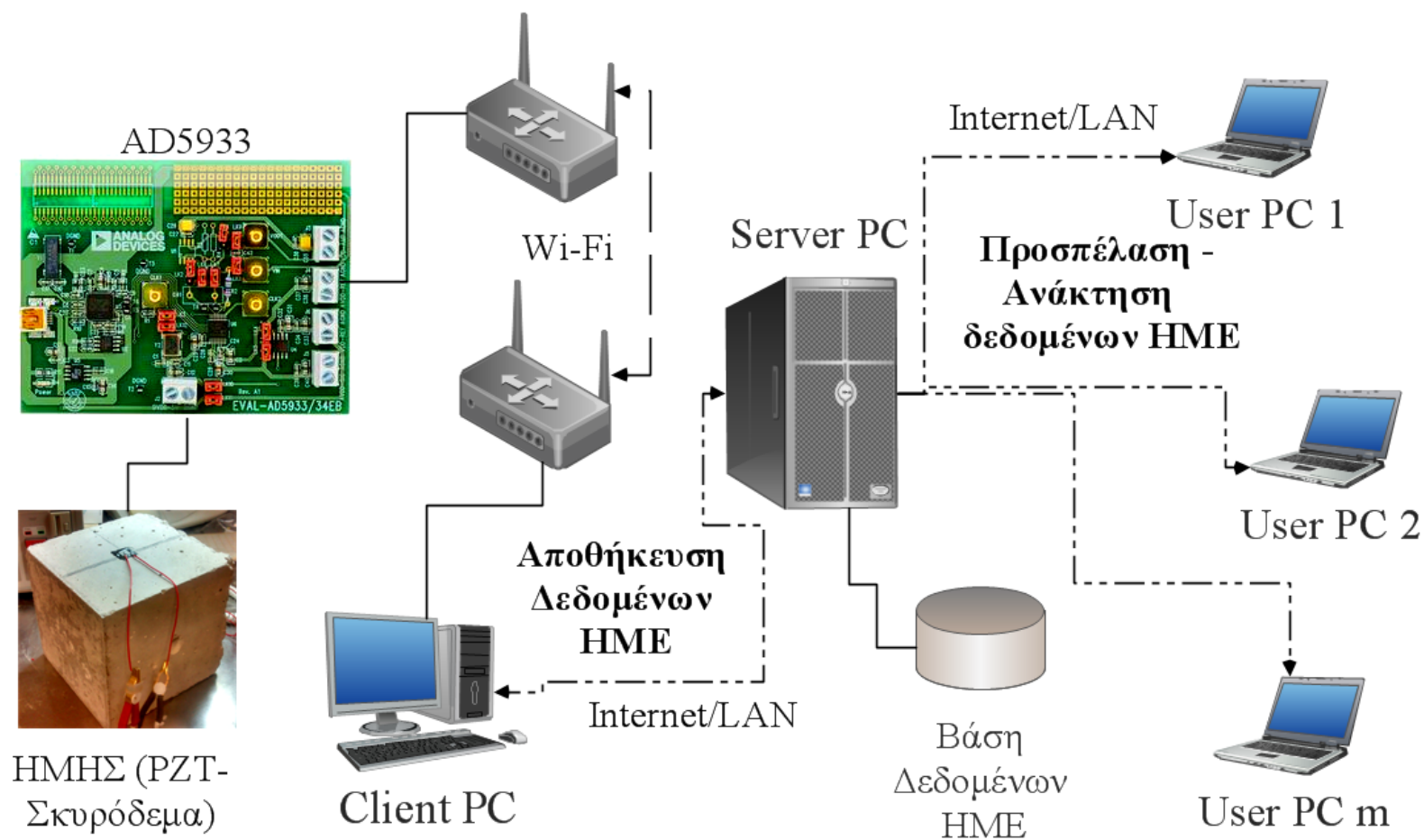
4. Ανάπτυξη ολοκληρωμένου συστήματος καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων ΗΜΕ

Δυνατότητες και συνεισφορά του T-WiEYE στο ΜΚΕ

- Μόνιμη εγκατάσταση στο χώρο του υπό παρακολούθηση δομικού συστήματος.
- Ενσωμάτωση ολοκληρωμένων κυκλωμάτων μέτρησης της ΗΜΕ, χαμηλού κόστους (AD5933) σε σχέση με τα κλασικά συστήματα (RLC meters).
- Ενσωμάτωση της ασύρματης τεχνολογίας.
- Δυνατότητα αυτόματης καταγραφής και αποθήκευσης των μετρήσεων ΗΜΕ σε βάση δεδομένων (MySQL).
- Δυνατότητα απομακρυσμένης πρόσβασης στα δεδομένα των μετρήσεων για μετά-επεξεργασία και αξιολόγηση.

4. Ανάπτυξη ολοκληρωμένου συστήματος καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων ΗΜΕ

Διάγραμμα λειτουργιών T-WiEYE



4. Ανάπτυξη ολοκληρωμένου συστήματος καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων ΗΜΕ

Διάγραμμα λειτουργιών T-WiEYE

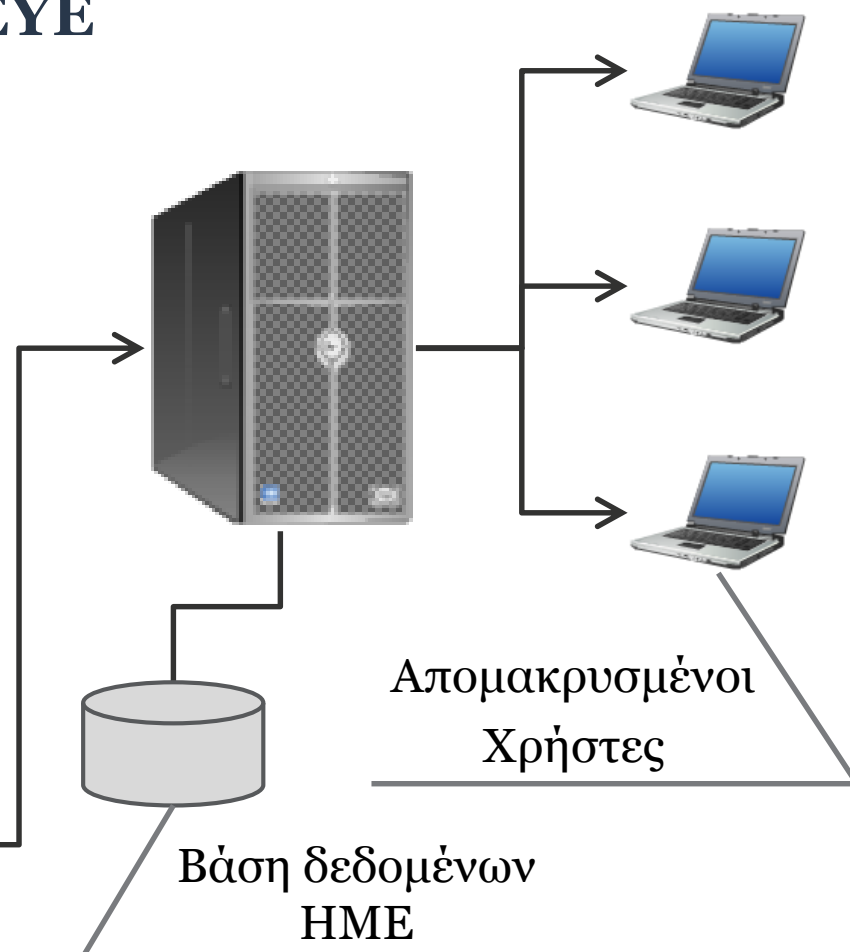


Εργασίες διαχείρισης των
Α/Δ από Client PC

Λογισμικό διαχείρισης
AD5933

Προσωρινή αποθήκευση
καταγραφόμενων δεδομένων
ΗΜΕ

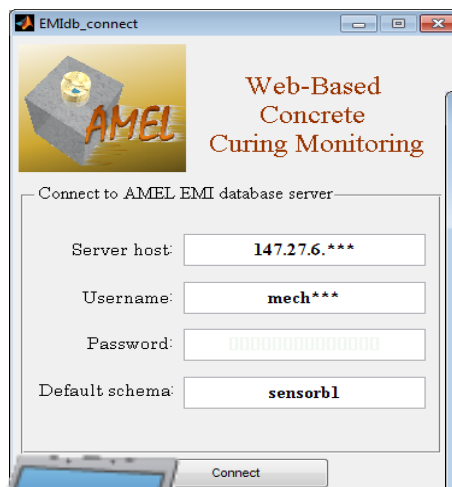
Αποστολή και καταχώριση των
μετρήσεων ΗΜΕ στη βάση
δεδομένων



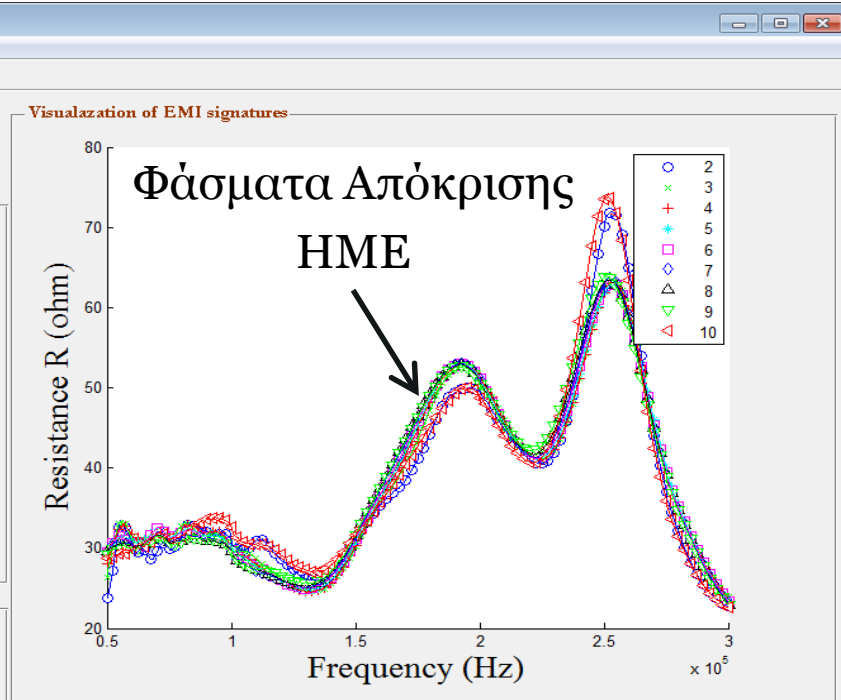
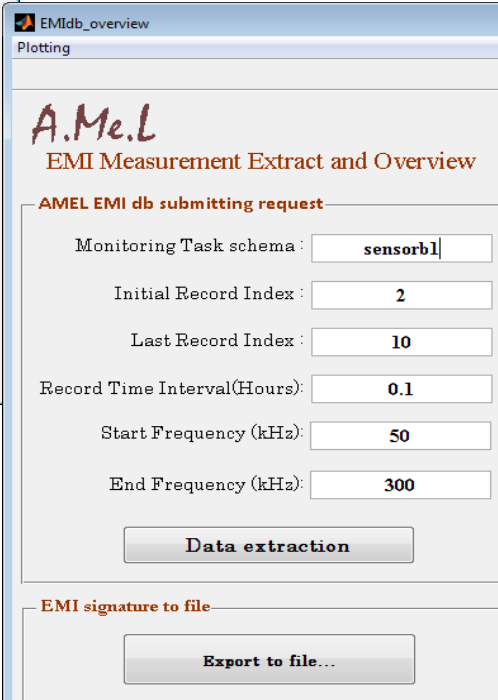
4. Ανάπτυξη ολοκληρωμένου συστήματος καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων ΗΜΕ

Προσπέλαση και ανάκτηση δεδομένων ΗΜΕ

Διασύνδεση λειτουργιών MySQL – MATLAB [4.2]



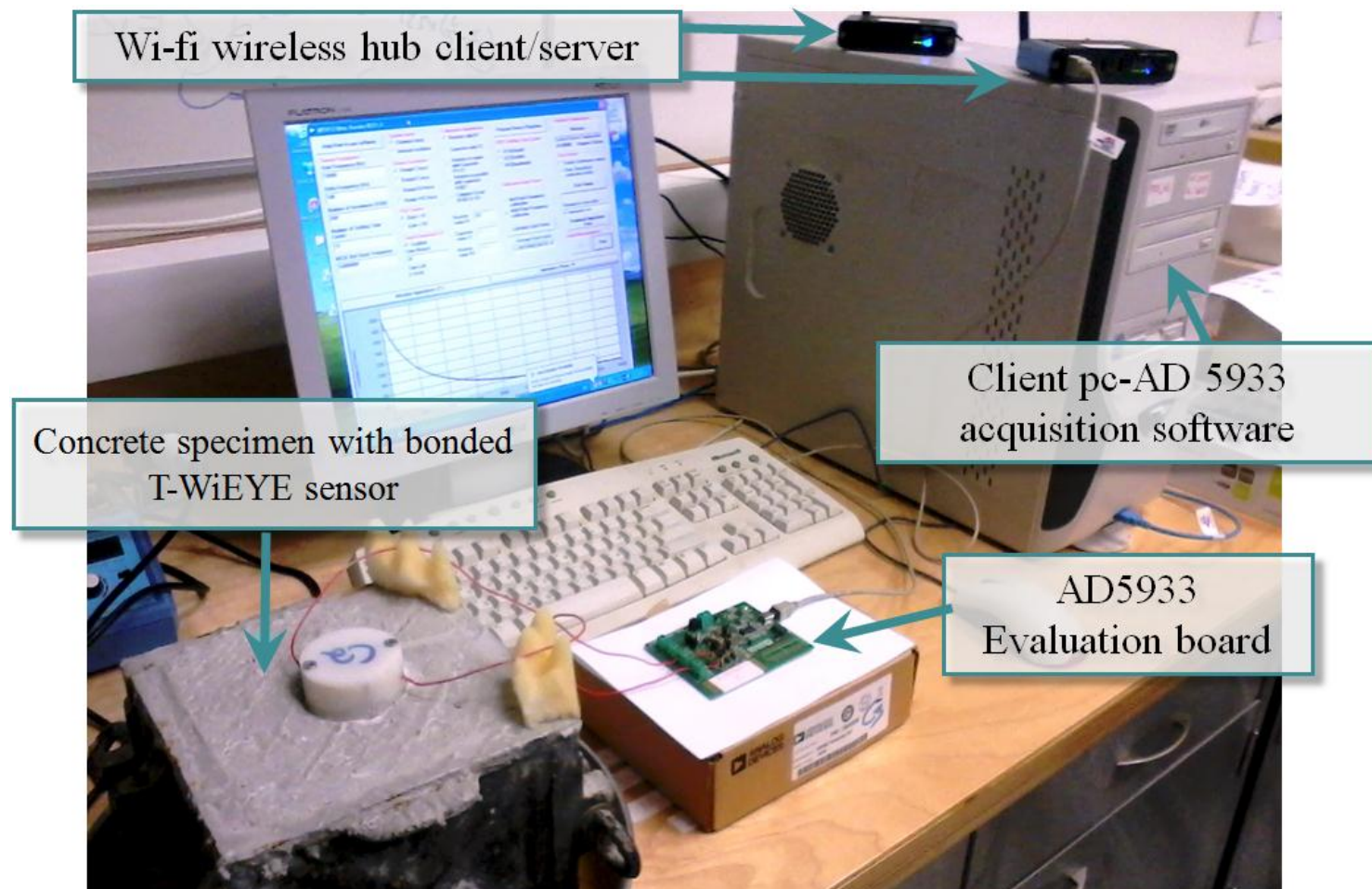
Απομακρυσμένος
Χρήστης



[4.2]. Providakis C.P. and Liarakos E.V., 2014. Web based concrete strengthening monitoring using an innovative EMI telemetric system and extreme values statistics. Struct. Control Health Monit., doi: 10.1002/stc.1645.

4. Ανάπτυξη ολοκληρωμένου συστήματος καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων ΗΜΕ

Υλοποίηση σε Εργαστηριακή Κλίμακα



5. Αξιολόγηση της δομικής ακεραιότητας των υπό παρακολούθηση κατασκευών

Συγκριτική αξιολόγηση των ΗΜΥ.

- Ως ΗΜΥ συνήθως επιλέγεται το **πραγματικό μέρος της ΗΜΕ (Αντίσταση, R)**, λόγω της υψηλής ευαισθησίας που επιδεικνύει στη μεταβολή των δομικών χαρακτηριστικών της K/Φ .
- Ορισμός της ΗΜΥ αναφοράς **RSS (Reference State Signature)** η οποία αντιπροσωπεύει την δυναμική συμπεριφορά της **δομικά άρτιας K/Φ** .
- Η ΗΜΥ που καταγράφεται σε **κάθε διαφορετική κατάσταση δομικής ακεραιότητας, CSS (Current State Signature)** συγκρίνεται με την RSS προκειμένου να διαπιστωθεί εάν εμφανίζει μεταβολές.

5. Αξιολόγηση της δομικής ακεραιότητας των υπό παρακολούθηση κατασκευών

- Κάθε CSS συγκρίνεται με την RSS του ΗΜΗΣ με τη χρήση στατιστικών δεικτών οι οποίοι περιγράφουν τη μεταξύ τους αθροιστική απόκλιση.
- Για τις εφαρμογές ΜΚΕ με τη χρήση PZT, αρκετά διαδεδομένος είναι ο δείκτης **RMSD (Root Mean Square Deviation)**.

$$RMSD(\%) = 100 \times \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^F (CSS_j - RSS_j)^2}{\sum_{j=1}^F RSS_j^2}}$$

$j=1:F$, F το μέγεθος του διανύσματος τιμών των ΗΜΥ.

RSS_j και CSS_j , η j καταγραφόμενη τιμή των ΗΜΥ η οποία αντιστοιχεί στη γωνιακή

$$\omega_j = \omega_{\min} + \frac{j-1}{F-1} (\omega_{\max} - \omega_{\min})$$

συχνότητα ω_j .

5. Αξιολόγηση της δομικής ακεραιότητας των υπό παρακολούθηση κατασκευών

- Ο ενόργανος προσδιορισμός της ΗΜΕ αρκετές φορές εμφανίζει **θόρυβο**.
- Ως θόρυβος χαρακτηρίζεται η πληροφορία χωρίς φυσική σημασία η οποία καταγράφεται κατά τη μέτρηση ενός μεγέθους.
- Οι τιμές του θορύβου συνήθως ακολουθούν μια τυχαία κατανομή.
- Η ύπαρξη θορύβου επιβάλλει τον προσδιορισμό ενός **ορίου εμπιστοσύνης των τιμών του $RMSD$, $RMSD_o$** , έτσι ώστε να αποφεύγονται οι περιπτώσεις ψευδούς ανίχνευσης βλάβης.
- Οι CSS που δίνουν τιμές **$RMSD > RMSD_o$** αντιστοιχούν σε ΗΜΗΣ που φέρουν μηχανικές βλάβες.

5. Αξιολόγηση της δομικής ακεραιότητας των υπό παρακολούθηση κατασκευών

- Το **RMSD₀** είναι δυνατό να υπολογιστεί με βάση την απόκλιση μεταξύ της μετρούμενης RSS, **$R_o^{meas} = \text{Re}\{Z_o^{meas}\}$** , και της εκτιμώμενης **R_o^{est}** , η οποία προσδιορίζεται από την προσομοίωση του Z_o^{meas} .

$$RMSD_0(\%) = 100 \times \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^F (R_{0,j}^{meas} - R_{0,j}^{est})^2}{\sum_{j=1}^F (R_{0,j}^{meas})^2}}$$

- Η εκτιμώμενη Z_o^{est} αντιπροσωπεύει την απόκριση ενός ισοδύναμου με το υπό μελέτη ΗΜΗΣ, το οποίο είναι απαλλαγμένο από την επίδραση του θορύβου.

5. Αξιολόγηση της δομικής ακεραιότητας των υπό παρακολούθηση κατασκευών

Προσομοίωση της ηλεκτρικής απόκρισης του ΗΜΗΣ

- Η μετρούμενη RSS, Z_o^{meas} , μπορεί να προσομοιωθεί από μια **ρητή πολυωνμική συνάρτηση** της **γωνιακής συχνότητας** [5.1].

$$Z_{0,j}^{meas} \approx Z_0^{est}(\omega_j, \mathbf{p}) = R^{est}(\omega_j, \mathbf{p}) + iX^{est}(\omega_j, \mathbf{p}) = \frac{N(\omega_j, \mathbf{b})}{D(\omega_j, \mathbf{a})}$$

$$Z_0^{est}(\omega_j, \mathbf{p}) = \frac{\sum_{p=1}^{no+1} b_{p-1} \omega_j^{p-1}}{\sum_{q=1}^{do+1} a_{q-1} \omega_j^{q-1}} = \frac{\sum_{p=1}^{no+1} |b_{p-1}| e^{i\theta_{p-1}} \omega_j^{p-1}}{\sum_{q=1}^{do+1} |a_{q-1}| e^{i\varphi_{q-1}} \omega_j^{q-1}}$$

$$\theta_{p-1} = \text{atan}\left(\frac{\text{Im}\{b_{p-1}\}}{\text{Re}\{b_{p-1}\}}\right) \quad \varphi_{q-1} = \text{atan}\left(\frac{\text{Im}\{a_{q-1}\}}{\text{Re}\{a_{q-1}\}}\right)$$

$$\mathbf{p}_{(no+do+2 \times 1)} = [a_0 \quad a_1 \quad \cdots \quad a_{do} \quad b_0 \quad b_1 \quad \cdots \quad b_{no}]^T$$

5. Αξιολόγηση της δομικής ακεραιότητας των υπό παρακολούθηση κατασκευών

Προσομοίωση της ηλεκτρικής απόκρισης του ΗΜΗΣ

- Οι τιμές του διανύσματος $\mathbf{p}$ προσδιορίζονται από την ελαχιστοποίηση του αθροίσματος των τετραγώνων της διαφοράς μεταξύ μετρούμενης και εκτιμώμενης τιμής της RSS (Μέθοδος Ελαχίστων Τετραγώνων - MTE).
- Η MTE υλοποιείται σε περιβάλλον MATLAB με τη χρήση των πακέτων εργαλείων **Optimization** και **Fdident** [5.2].

$$\min_{\mathbf{p}} \sum_{j=1}^F \left\{ Z_{0,j}^{meas} - Z_0^{est}(\omega_j, \mathbf{p}) \right\}^2$$

6. Εφαρμογές σε δομικά στοιχεία σκυροδέματος

Ανίχνευση μηχανικών βλαβών σε δοκό σκυροδέματος

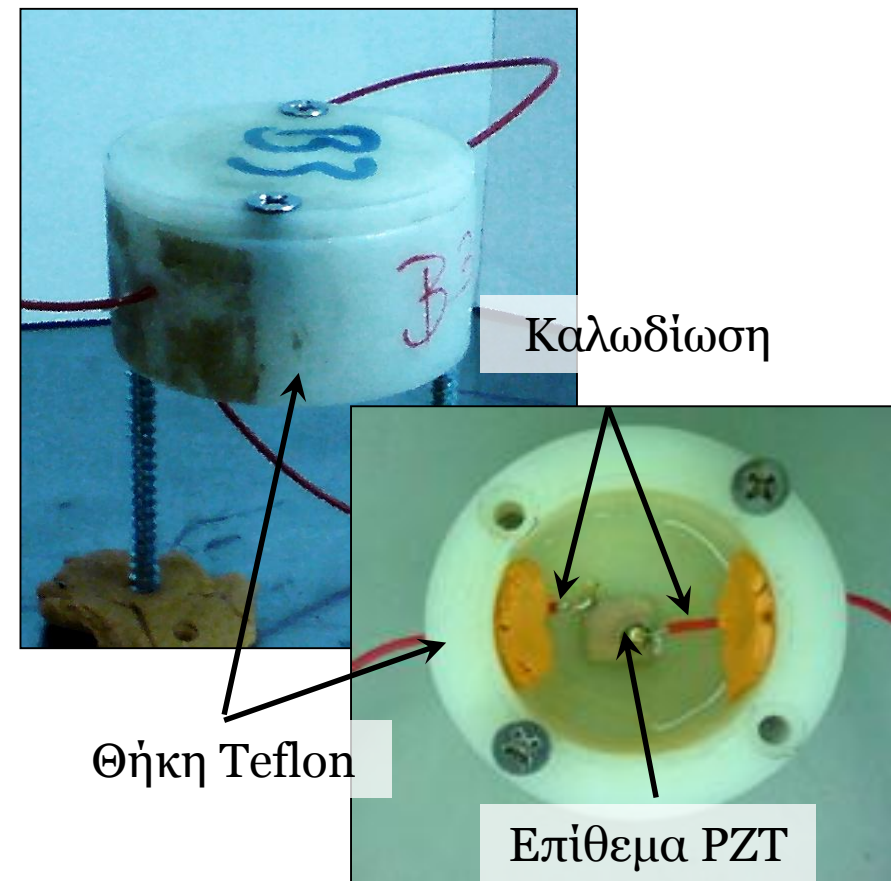
- Δοκιμή κάμψης τριών σημείων δοκού σκυροδέματος, η οποία φέρει εμφυτευμένους Α/Δ PZT, είναι οπλισμένη έναντι εφελκυσμού και έχει διαστάσεις **150x150x750mm**,.



Εμφύτευση Α/Δ PZT κατά τη σκυροδέτηση με
συνδυασμένη πρόσδεση στους οπλισμούς

6. Εφαρμογές σε δομικά στοιχεία σκυροδέματος

Α/Δ TBSA (Teflon Based Sensor/Actuator)

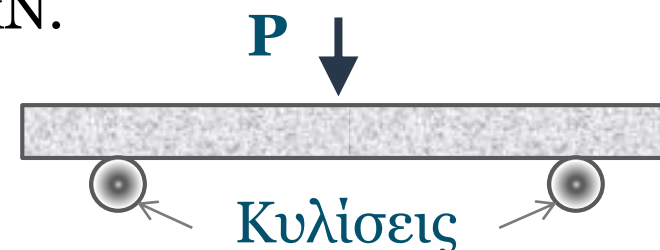


- Σχεδιασμός και κατασκευή κατάλληλα διαμορφωμένου κελύφους από Teflon.
- Προσαρμογή επιθέματος PZT, διαστάσεων 10x10x0.2mm, στο εσωτερικό του κελύφους.
- Καλωδίωση του επιθέματος για τη διασύνδεση του με το AD5933 και τη εφαρμογή ηλεκτρικής τάσης στους ακροδέκτες του.

6. Εφαρμογές σε δομικά στοιχεία σκυροδέματος

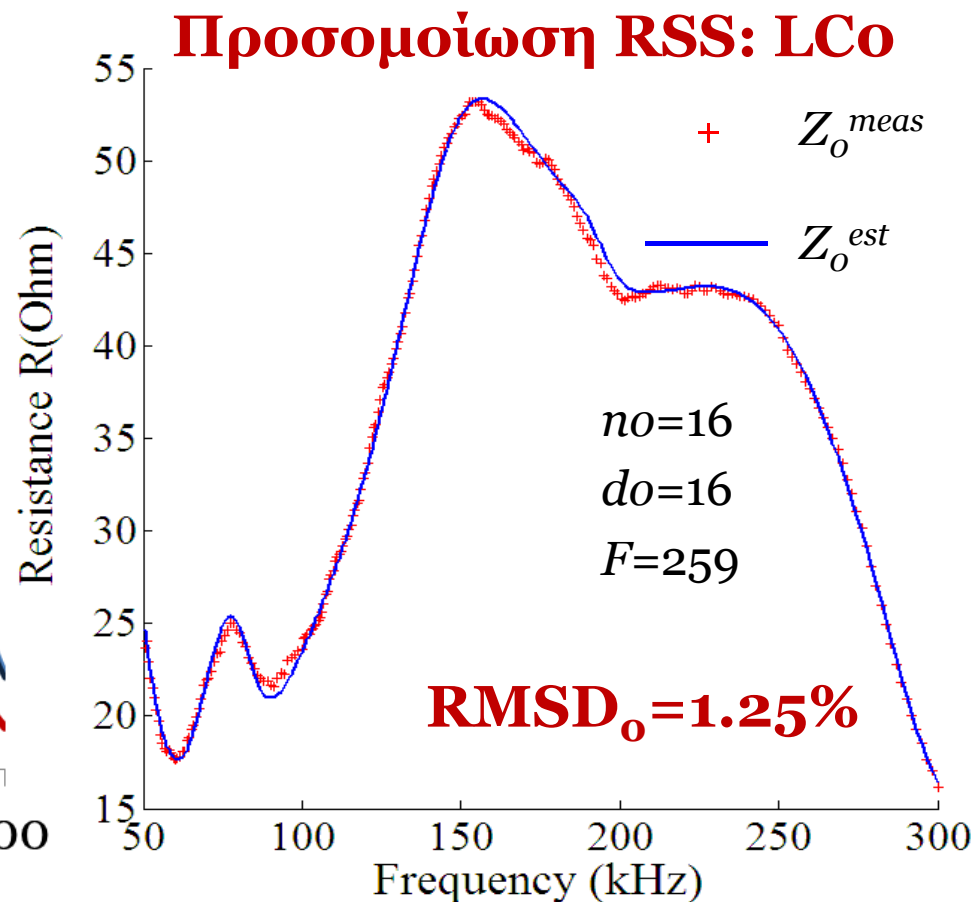
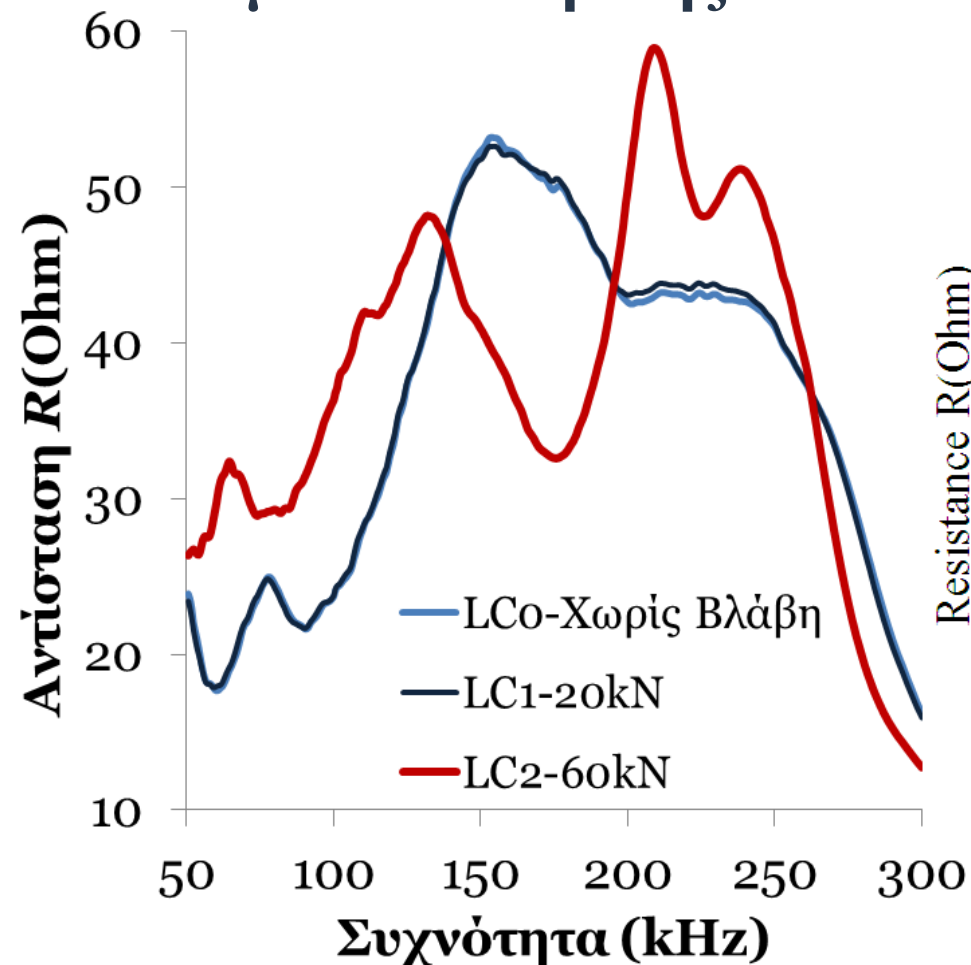
Φόρτιση δοκού και καταγραφή φασμάτων ΗΜΕ

- Σταδιακή εξώθηση της δοκού σε πλήρη αστοχία με την εφαρμογή διαδοχικών κύκλων εγκάρσιας φόρτισης $\mathbf{P}$, αυξανόμενου πλάτους (0-60kN).
- Καταγραφή φασμάτων ΗΜΕ για κάθε κύκλο φόρτισης σε εύρος συχνοτήτων 50 – 300kHz.
- Ως RSS λαμβάνεται το προσομοιωμένο φάσμα απόκρισης της μετρούμενης αντίστασης R , $R_o^{est}(\omega, \mathbf{p})$, το οποίο αντιστοιχεί στον μηδενικό κύκλο φόρτισης LCo-0kN.



6. Εφαρμογές σε δομικά στοιχεία σκυροδέματος

Φάσματα απόκρισης Αντίστασης (Πραγ. Μέρος HME)



6. Εφαρμογές σε δομικά στοιχεία σκυροδέματος

Αξιολόγηση Δομικής Ακεραιότητας - RMSD

Διατμητικές
Ρωγμές

Δοκός μετά την αστοχία

RMSD₀

1.25

LC0-Χωρίς
Βλάβη

RMSD(%)

1.59

LC1-20kN

27.75

LC2-60kN

Κύκλοι Φόρτισης (LC)	Οπτική Εποπτεία Δομικού Στοιχείου
LC0	Δομικά Άρτιο Στοιχείο – Καμία Βλάβη
LC1-20kN	Καμία Επιφανειακή Βλάβη – Πιθανές εσωτερικές Μικρορωγμές
LC2-60kN	Γενικευμένη Αστοχία και απώλεια λειτουργικότητας, Εκτεταμένες Διατμητικές Ρωγμές

7. Σύνοψη

- Τα πιεζοηλεκτρικά επιθέματα PZT τα τελευταία 20 χρόνια έχουν εφαρμοστεί με επιτυχία σε διαδικασίες ΜΚΕ μεταλλικών δομικών συστημάτων και κατασκευών από σκυρόδεμα.
- Τα PZT παρέχουν τη δυνατότητα ανάπτυξης συσκευών ανίχνευσης βλαβών, οι οποίες λειτουργούν ταυτόχρονα ως αισθητήρες και διεγέρτες μηχανικών ταλαντώσεων.
- Η ανάπτυξη ολοκληρωμένων ασύρματων συστημάτων καταγραφής της απόκρισης των PZT, συνεισφέρει σημαντικά στην ευελιξία των μεθόδων ΜΚΕ ενώ μειώνει σημαντικά το κόστος εγκατάστασης και διαχείρισης.

7. Σύνοψη

- Η καταχώριση των δεδομένων καταγραφής των Α/Δ PZT σε κατάλληλα σχεδιασμένες βάσεις δεδομένων και η διασύνδεση των βάσεων με το περιβάλλον του MATLAB, προσφέρει τη δυνατότητα της αυτοματοποιημένης μετα-επεξεργασίας των δεδομένων HME και της απομακρυσμένης αξιολόγησης της δομικής ακεραιότητας των κατασκευών.
- Η συγκριτική ανάλυση των HMY με την διατύπωση στατιστικών δεικτών βασιζόμενων στη μεταξύ τους απόκλιση, αποδεικνύεται ως ένα γρήγορο και αξιόπιστο εργαλείο για την ανίχνευση μηχανικών βλαβών.

Η παρούσα διδακτορική έρευνα συγχρηματοδοτήθηκε από την **Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο - ΕΚΤ)** και **εθνικούς πόρους** μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος «*Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση*» του Εθνικού Στρατηγικού Πλαισίου Αναφοράς (ΕΣΠΑ).

Ερευνητικό Πρόγραμμα Χρηματοδότησης:
Ηράκλειτος ΙΙ. Η επένδυση στην κοινωνία της γνώσης μέσω του Ευρωπαϊκού Κοινωνικού Ταμείου.



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΕΡΓ. ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

Ευχαριστώ για την προσοχή σας.

το Πολυτεχνείο Κρήτης ερευνά

ημέρες γνωριμίας με την έρευνα

3-4 Ιουλίου, 2014.



Λιαράκος Ε.Β., Υπ. Διδάκτορας

Προβιδάκης Κ.Π., Καθηγητής ΑΡΜΗΧ Π.Κ.