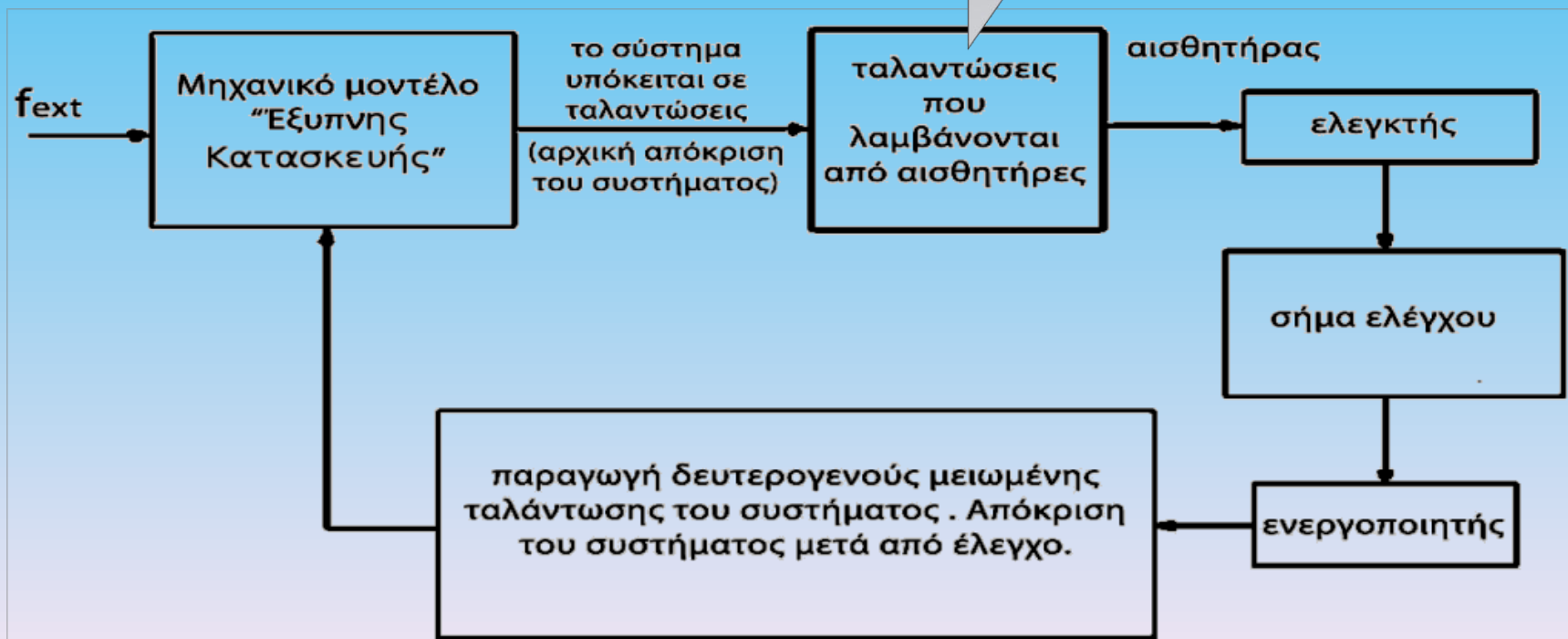


- **ΜΑΘΗΜΑ**  
**ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ 1**
  
- **ΘΕΜΑ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ**  
**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ –ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ**

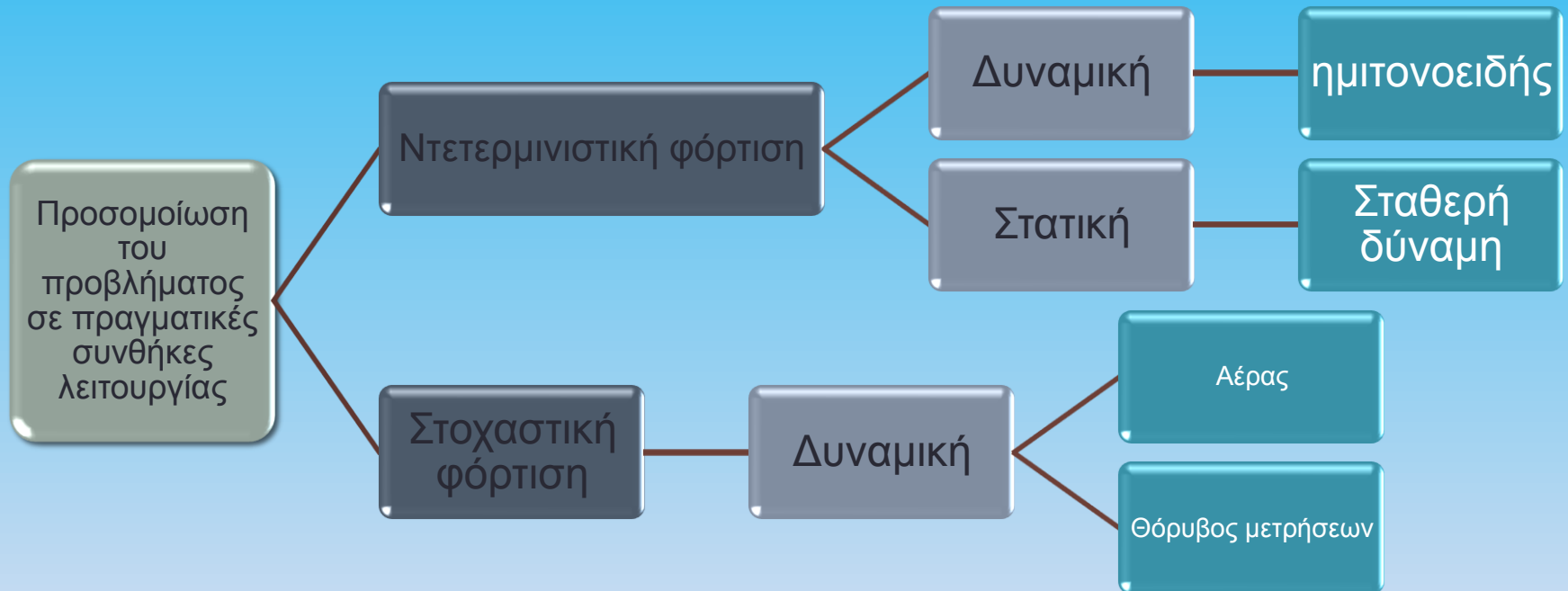
**ΔΡ. ΜΟΥΤΣΟΠΟΥΛΟΥ ΑΜΑΛΙΑ**  
**ΕΠΙΚΟΥΡΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ**

# ΠΡΟΒΟΛΟΣ ΜΕ ΠΙΕΖΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Είναι σημαντικό να ελαχιστοποιηθούν οι ταλαντώσεις με στόχο την ευστάθεια και την ευρωστία του συστήματος.



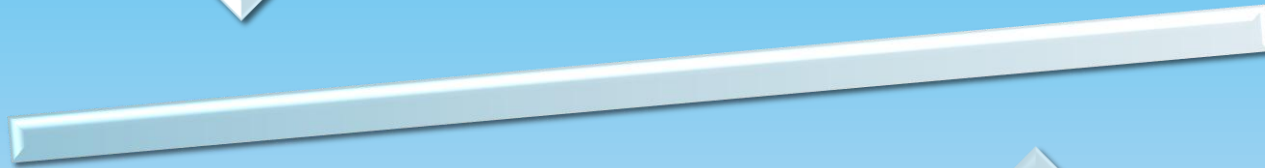
# ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ



Το μέγεθος της παραμόρφωσης μπορεί να παρατηρηθεί με την μέτρηση της ηλεκτρικής τάσης που παράγουν τα υλικά.

### Άμεση Πιεζοηλεκτρική Επίδραση

Δημιουργούν μία τάση ή ένα φορτίο όταν υπόκεινται σε μία δύναμη ή παραμόρφωση,



### Αντίθετη Πιεζοηλεκτρική Επίδραση

Παρουσιάζουν μηχανική παραμόρφωση όταν υπόκεινται σε ένα εφαρμοσμένο ηλεκτρικό πεδίο

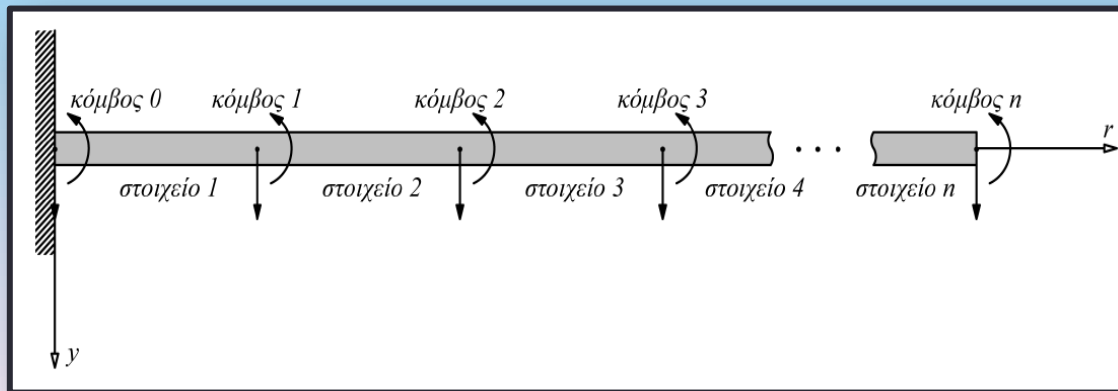
# ΣΧΕΔΙΑΣΗ



# Μοντελοποίηση

Πεπερασμένα στοιχεία:  
μετατρέπεται η μερική  
διαφορική εξίσωση κίνησης  
της δοκού σε σύστημα  
συνήθων διαφορικών  
εξισώσεων.

Συγκλίνουν στην επίλυση της  
μερικής διαφορικής εξίσωσης  
αυξάνοντας το πλήθος των  
στοιχείων.



# Παράδειγμα

Ο στόχος της εργασίας είναι η καταστολή των ταλαντώσεων πρόβολου δοκού, που γίνεται από γραφίτη και εποξικό, και είναι προσκολλημένα σε αυτή πιεζοηλεκτρικά υλικά PZT G1195N που δρουν ως αισθητήρες και ενεργοποιητές.

Τα άνω πιεζοηλεκτρικά λειτουργούν ως αισθητήρες και τα κάτω ως ενεργοποιητές.

Ως εξωτερική φόρτιση θεωρείται η αιολική, ενώ στο διάγραμμα φαίνεται η απόκριση του ακραίου κόμβου με και χωρίς έλεγχο. Η προσομοίωση της δοκού έχει γίνει με πεπερασμένα στοιχεία.



# Πιεζοηλεκτρικά Υλικά

- ❑ Σε αυτή την εργασία γίνεται χρήση των πιεζοηλεκτρικών υλικών επικολλημένων στις κατασκευές.
  - ❑ Μπορούν να λειτουργήσουν ως αισθητήρες για την παρακολούθηση και ως ενεργοποιητές για τον έλεγχο της απόκρισης της
- Συνδυάζουν μηχανικά και ηλεκτρικά χαρακτηριστικά
  - Πρόσφατες εξελίξεις στο πεδίο της επιστήμης των υλικών έχουν δώσει πιεζοηλεκτρικά υλικά που έχουν ικανοποιητική σύνδεση μεταξύ των ηλεκτρικών και μηχανικών ιδιοτήτων. Δύο από τα κοινώς χρησιμοποιούμενα πιεζοηλεκτρικά υλικά, είναι το PVDF, ένα ημικρυσταλλικό πολυμερές υλικό και το PZT ένα κεραμικό πιεζοηλεκτρικό υλικό.

# PZT

- έχει μεγαλύτερους συντελεστές ηλεκτρομηχανικής σύνδεσης
- μπορεί να προκαλέσει μεγαλύτερες δυνάμεις ή ροπές στις κατασκευές.
- είναι σχετικά εύθραυστο

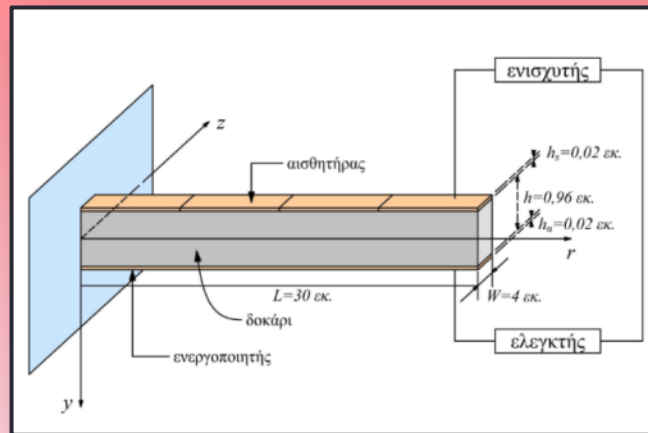
# • PVDF

- έχει μικρότερους συντελεστές ηλεκτρομηχανικής σύνδεσης
- προκαλεί μικρότερες δυνάμεις ή ροπές στις κατασκευές.
- είναι ευέλικτο και μπορεί να κοπεί σε οποιοδήποτε επιθυμητό σχήμα

•

Εξίσωση κίνησης κατασκευής:

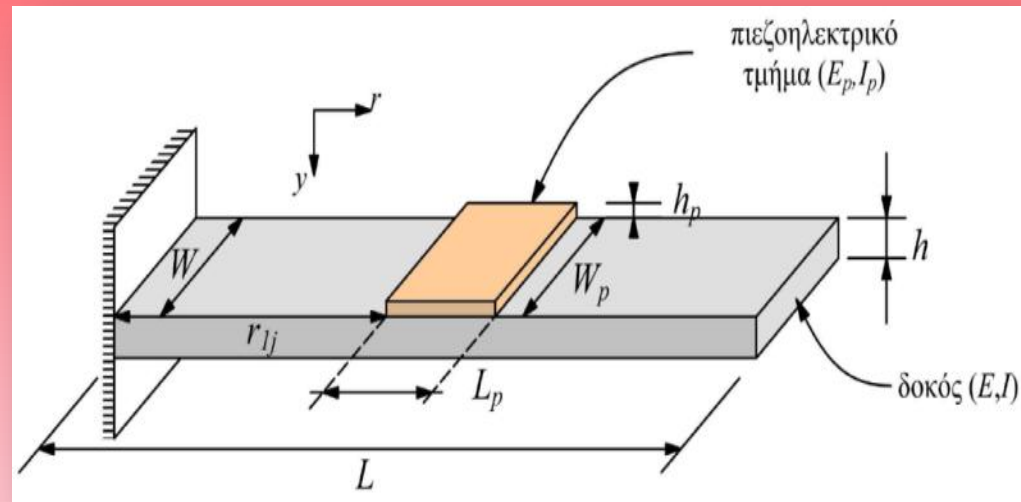
$$EI \frac{\partial^4 y(t, r)}{\partial r^4} + \rho_b A_b \frac{\partial^2 y(t, r)}{\partial t^2} = f(t, r), 0 \leq r \leq L$$



## Η ηλεκτρική φόρτιση εξ' αιτίας του πιεζοηλεκτρικού ενεργοποιητή ισούται

$$f_e(t, r) = \frac{\partial^2 M_{pr}(t, r)}{\partial r^2}$$

$$M_{pr}(t, r) = C_0 e_{pe}(t) [H(r - r_{1j}) - H(r - r_{2j})] u_j(t)$$



## ΜΟΡΦΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

$$K_f = \frac{12EE_p h h_p (2h + h_p)}{16E^2 h^4 + EE_p (32h^3 h_p + 24h^2 h_p^2 + 8h h_p^3) + E_p^2 h_p^4}$$

$$C_0 = EI \cdot K_f$$

$$e_{pe}(t) = \frac{d_{31}}{h_p} u_j(t)$$

$$M_{pr}(t, r) = C_p [H(r - r_{1j}) - H(r - r_{2j})] u_j(t)$$

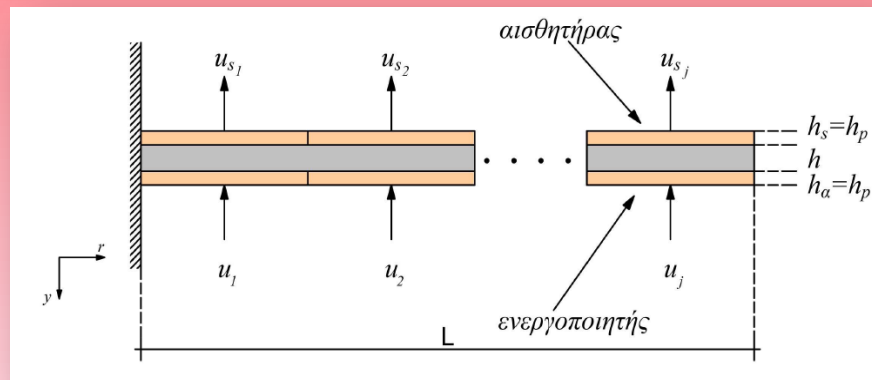
$$f_e(t, r) = C_p u_{\alpha j}(t) [\delta'(r - r_{1j}) - \delta'(r - r_{2j})]$$

## ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ ΕΞΙΣΩΣΗ ΚΙΝΗΣΗΣ

$$EI \frac{\partial^4 y(t, r)}{\partial r^4} + \rho_b A_b \frac{\partial^2 y(t, r)}{\partial t^2} = q_0(t) + C_p u_j(t) \left[ \delta'(r - r_{1j}) - \delta'(r - r_{2j}) \right]$$

Για  $j$  όμοια πιεζοηλεκτρικά γίνεται:

$$EI \frac{\partial^4 y(t, r)}{\partial r^4} + \rho_b A_b \frac{\partial^2 y(t, r)}{\partial t^2} = q_0(t) + C_p u_j(t) \sum_{i=1}^j \left[ \delta'(r - r_{1j}) - \delta'(r - r_{2j}) \right]$$



## Περιγραφή στο χώρο καταστάσης

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= \begin{bmatrix} 0_{2n \times 2n} & I_{2n \times 2n} \\ -M^{-1}K & -M^{-1}D \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 0_{2n \times 2n} \\ M^{-1}F_e^* \end{bmatrix} u(t) + \begin{bmatrix} 0_{2n \times 2n} \\ M^{-1} \end{bmatrix} f_m(t) \\ &= Ax(t) + Bu(t) + Gf_m(t) \\ &= Ax(t) + \begin{bmatrix} B & G \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u(t) \\ f_m(t) \end{bmatrix} \\ &= Ax(t) + \tilde{B}\tilde{u}(t)\end{aligned}$$

## Περιγραφή στο χώρο καταστασης

- Για τη μέτρηση της κατάστασης του συστήματος χρησιμοποιούνται ως αισθητήρες αντίστοιχα πιεζοηλεκτρικά.
- Η τάση εξόδων αυτών των πιεζοηλεκτρικών αισθητήρων είναι ανάλογη των κομβικών μετακινήσεων των αντίστοιχων στοιχείων.
- Για απλούστευση η έξοδος του συστήματος
- για τις προσομοιώσεις λαμβάνεται ως:

$$y(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) & x_3(t) & \dots & x_{n-1}(t) \end{bmatrix}^T = Cx(t)$$

## Ορισμός ελέγχου

