«ΚΥΜΑΤΑ, ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΕΣ *και* ΑΝΑΜΝΗΣΕΙΣ»

Επιστημονική συνάντηση προς τιμή του Μάκη ΑθανασούληΣυνέδριο

Δαμάζοντας τα κύματα
Ενα οδοιπορικο μνήμης

Α. Θεοδουλίδης

ΕΜΠ, 4&5 Ιουλίου 2022

Σκοπός της παρουσίασης

- Η παρουσίαση δεν επικεντρώνεται στην επιστημονική πτυχή της συνεργασίας μου με τον Μάκη.
- Αποσκοπει στο να αναδείξει την διαμορφωση των ανθρωπίνων σχέσεων μέσω της κοινής προσπάθειας για την κατανόηση φυσικών προβλημάτων.
- Να αναδείξει την αδιόρατη επίδραση του Δασκάλου στην βιοτή του Μαθητή.
- Να ανάδειξει ότι ο δρόμος έχει την αξία και όχι ο προορισμός.

Η συνάντηση

- Ιούλιος 1985 – Μεσημέρι- Δώμα
- Αναζήτηση Διπλωματικής
- Λουκάκης vs Αθανασούλης
- Το γκρέμισμα του στερεότυπου “Καθηγητής Πανεπιστημίου»
- Η επιλογή και το ξεκίνημα της συνεργασίας

Διπλωματική Εργασία - η πρώτη συνεργασία

«Υδροδυναμική ανάλυση συστήματος επιπλεόντων ή/και βυθισμένων σωμάτων»

- Μελέτη της αλληλεπίδρασης **συστήματος επιπλεόντων ή/και βυθισμένων σωμάτων** και κυματισμών βαρύτητας, στις δύο διαστάσεις.
- Προβλήματα σκέδασης και ακτινοβολίας
- Για την επίλυση του προβλήματος χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των συνοριακών ολοκληρωτικών εξισώσεων με χρήση κατάλληλων συναρτήσεων Green.

- Η Εργασία ήταν επέκταση της Διπλωματικής του Ηλία Ευθυμιάδη στην περίπτωση πολλών σωμάτων.

Διδακτορική διατριβή

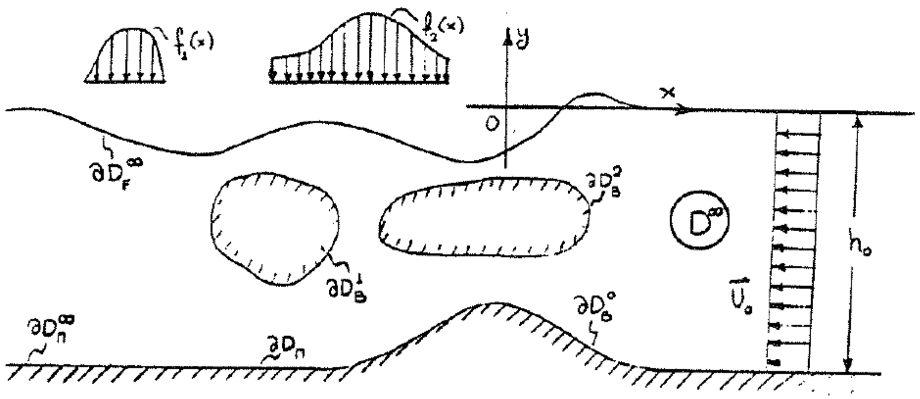
«Συμβολή στη μελέτη του μόνιμου προβλήματος διαταραχής ομοιόμορφης ροής με ελεύθερη επιφάνεια. Γραμμικό και μη-γραμμικό πρόβλημα»

- Προσδιορισμός της αλληλεπίδρασης ομοιόμορφης ροής με επιπλέοντα ή /και βυθισμένα σώματα, ανωμαλίες του πυθμένα ή εντοπισμένες κατανομές πίεσης πάνω στην ελεύθερη επιφάνεια. Απώτερος στόχος ήταν η αναπτυχθείσα μεθοδολογία να μεταφερθεί στις τρεις διαστάσεις όπου θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την αντιμετώπιση του προβλήματος υπολογισμού της αντίστασης κυματισμού πλοίου. Για το σκοπό αυτό, σκόπιμα απεφεύχθη η χρήση οποιασδήποτε θεωρητικής παραδοχής ή μεθοδολογικού εργαλείου το οποίο δεν θα παρείχε άμεση δυνατότητα μεταφοράς στις τρεις διαστάσεις.

- Στο πρώτο μέρος της διατριβής προτείνεται μια ισοδύναμη μεταβολική διατύπωση του προβλήματος, στηριγμένη στην Αρχή του Hamilton, και ένα αριθμητικό σχήμα επίλυσης του μη-γραμμικού προβλήματος στηριγμένο στην ανωτέρω διατύπωση.

- Στο δεύτερο μέρος της Διατριβής γίνεται χρήση του προτεινόμενου αριθμητικού σχήματος για την επίλυση διαφόρων περιπτώσεων διαταραχής ομοιόμορφης ροής.

Διδακτορική διατριβή



Το φυσικό πρόβλημα

<u>Πρόβλημα $P(D^{\infty};\eta,\varphi)$:</u> Να βρεθούν συναρτήσεις $\eta(x), x \in \mathbb{R}$ και $\varphi(\vec{x})$ $\vec{x} \in D^{\infty}$:

$$\Delta\varphi(x,y) = 0 , \quad \vec{x} \in D^{\infty},$$

$$-\eta,_x \varphi,_x + \varphi_y + U\eta,_x = 0 , \quad \vec{x} \in \partial D_F^{\infty},$$

$$\frac{1}{2} |\nabla\varphi|^2 - U\varphi,_x + g\eta + \pi = 0 , \quad \vec{x} \in \partial D_F^{\infty} ,$$

$$\partial_n\varphi = U n_x , \quad \vec{x} \in \partial D_B,$$

$$\partial_n\varphi = 0 , \quad \vec{x} \in (\partial D_\pi \cup \partial D_\pi^{\infty}),$$

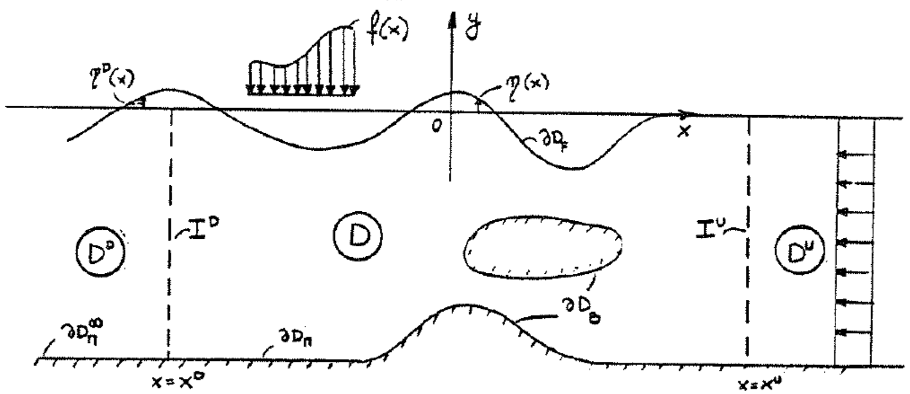
$$\eta(x) \longrightarrow 0, \; x \longrightarrow +\infty,$$

$$\nabla\varphi(x,y) \longrightarrow 0, \; -h_o \leq y \leq \eta(x), \; x \longrightarrow +\infty.$$

$$\eta(x) < M_1, \; x \longrightarrow -\infty, \; M_1 \in \mathbb{R}$$

$$|\nabla\varphi| < N_1, \; -h_o \leq y \leq \eta(x), \; x \longrightarrow -\infty, \; N_1 \in \mathbb{R}.$$

Διδακτορική διατριβή



Το υβριδικό πρόβλημα

<u>Πρόβλημα $P(D;\eta,\varphi)$:</u> Να βρεθούν συναρτήσεις $\varphi(\vec{x})$, $\vec{x}\in D$ και $\eta(x), x\in[x^D, x^U$

$$\Delta\varphi(x,y) = 0\ , \quad \vec{x}\in D\ , \tag{1}$$

$$-\eta,_x\varphi,_x + \varphi_y + U\eta,_x = 0\ , \quad \vec{x}\in\partial D_F, \tag{2}$$

$$\frac{1}{2}\ |\nabla\varphi|^2 - U\varphi,_x + g\eta + \pi(x) = 0\ , \quad \vec{x}\in\partial D_F\ , \tag{3}$$

$$\eta(x^D) = \eta^D(x^D),\ \ \varphi(x^D,y) = \varphi^D(x^D,y),\ \ \partial_n\varphi = \partial_n\varphi^D,\ \ \vec{x}\in I^D \tag{4}$$

$$\eta(x^U) = \eta^U(x^U),\ \ \varphi(x^U,y) = \varphi^U(x^U,y),\ \ \partial_n\varphi = \partial_n\varphi^U,\ \ \vec{x}\in I^U \tag{5}$$

$$\partial_n\varphi = Un_x\ , \quad \vec{x}\in\partial D_B, \tag{6}$$

$$\partial_n\varphi = 0\ , \quad \vec{x}\in\partial D_\pi,$$

Διδακτορική διατριβή

Η Μεταβολική Διατύπωση

<u>Θεώρημα:</u> Θεωρούμε το συναρτησιακό:

$$J(\Phi_F,\eta,\{C_n^D\},\{C_n^U\}) = \frac{1}{2}\int_D |\nabla\varphi|^2 dV + \frac{1}{2}\, g\int_{I_F} \eta^2 dx + U\int_{I_F} \Phi_F \eta_{,x} dx + \int_{I_F} \pi\, \eta\, dx +$$

$$+ \frac{1}{2}\int_{I^D} \varphi^D\, \partial_{\vec{n}}\varphi^D\, ds + \frac{1}{2}\int_{I^U} \varphi^U\, \partial_{\vec{n}}\varphi^U\, ds + \frac{1}{2} U\varphi^D(x^D,0)\,\eta^D(x^D) -$$

$$- \frac{1}{2} U\varphi^U(x^U,0)\,\eta^U(x^U), \qquad (1)$$

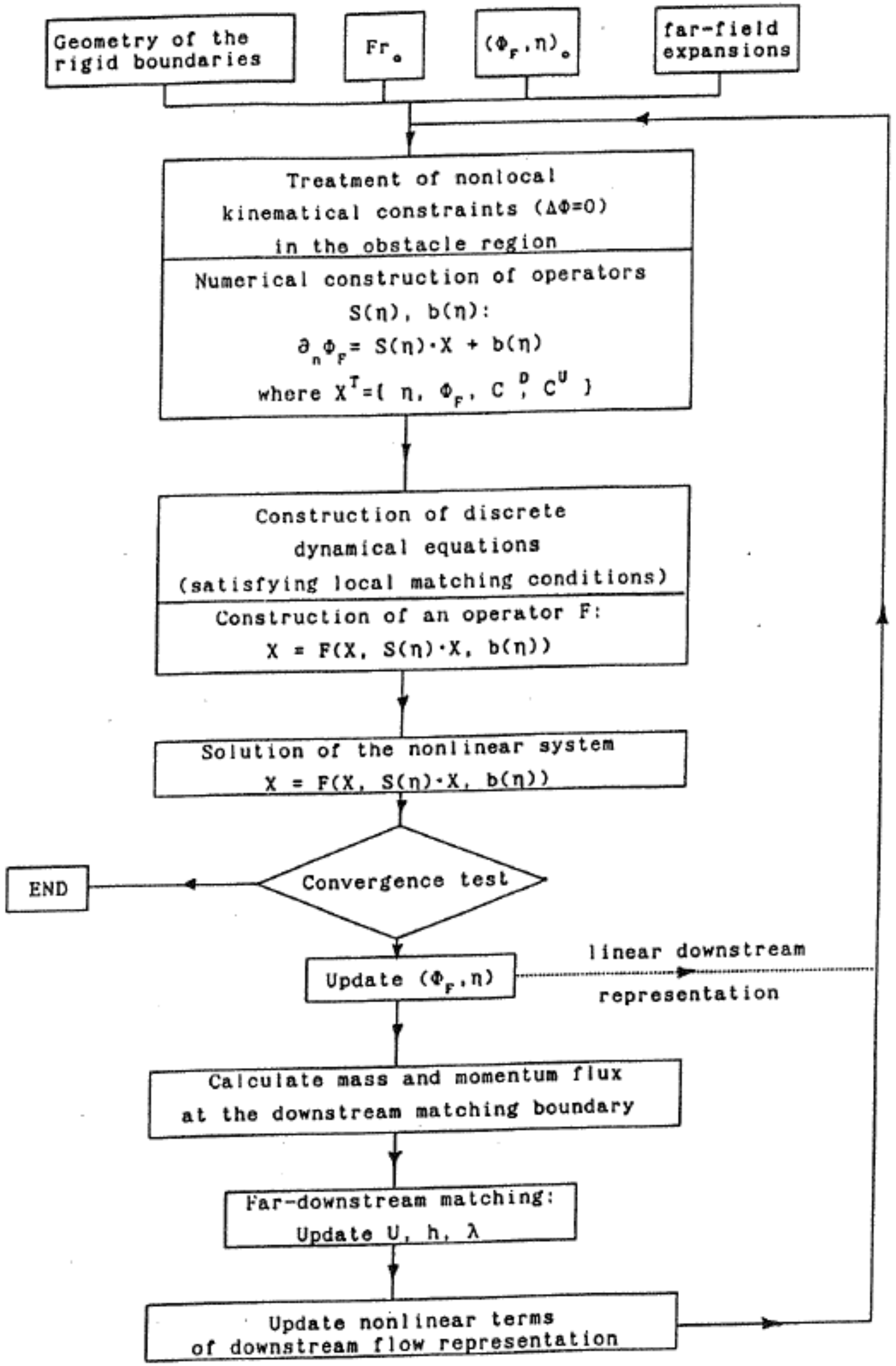
όπου $I_F=[x_D,x_U]$ είναι η προβολή του τμήματος της ελεύθερης επιφάνειας ∂D_F πάνω στον άξονα των x, ενώ το διάνυσμα κάτω από τις κάθετες παραγώγους δείχνει την φορά της παραγώγισης. Το ακόλουθο πρόβλημα μεταβολών VP(D):

<u>Πρόβλημα VP(D):</u> Να βρεθούν συναρτήσεις $\varphi(\vec{x})\in H(D)$, $\eta(x)$, $x\in I_F$, και πραγματικοί συντελεστές $\{C_n^D\},\{C_n^U\}$ έτσι ώστε:

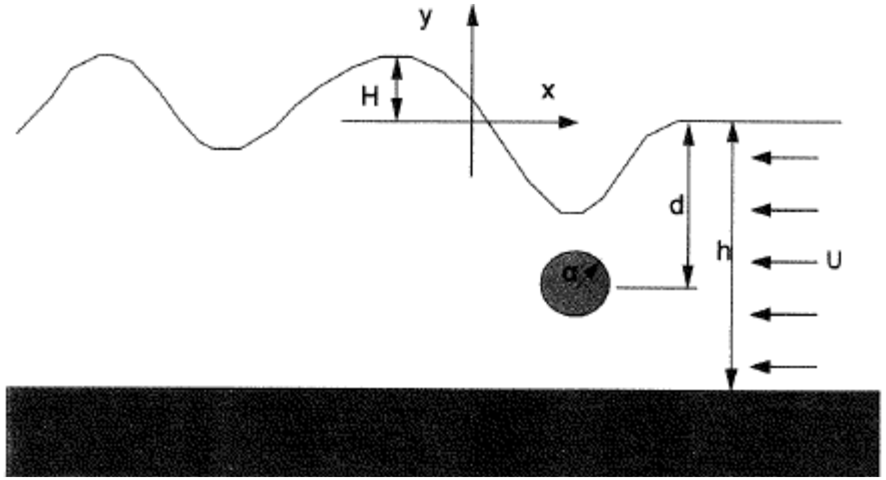
$$\delta J = \delta_{\Phi_F} J + \delta_\eta J + \sum_n \delta_{C_n^D} J + \sum_n \delta_{C_n^U} J = 0\,. \qquad (2)$$

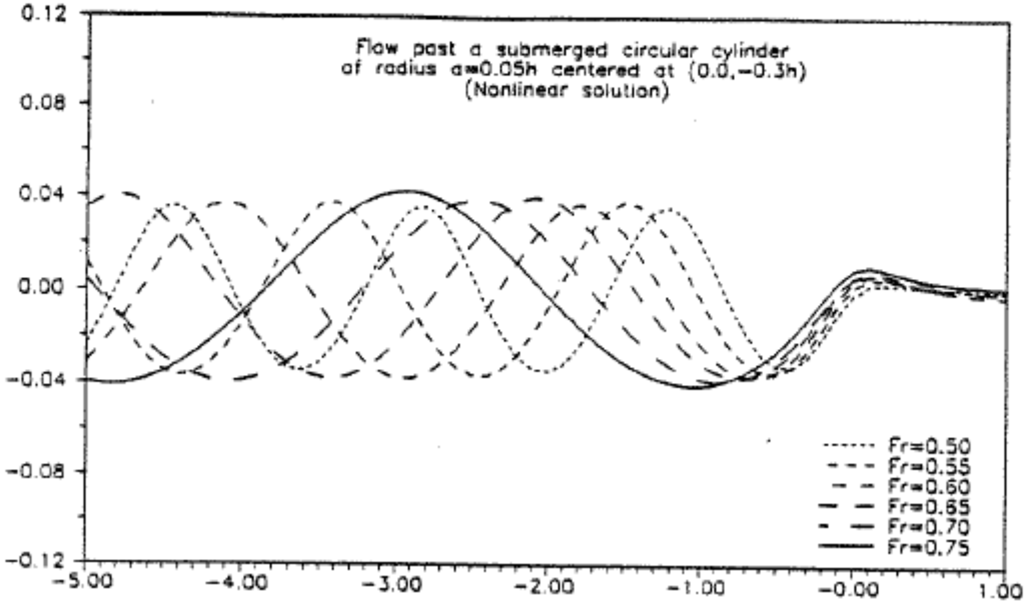
Διδακτορική διατριβή

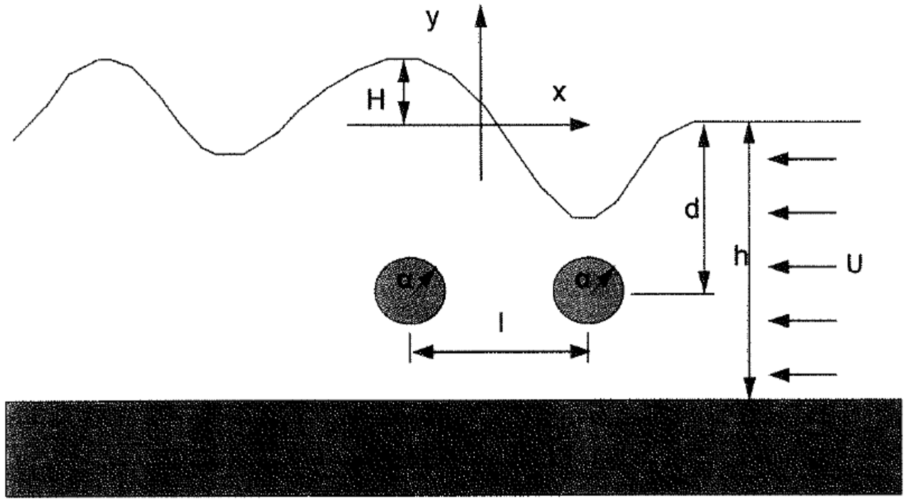
Το αριθμητικό σχήμα:

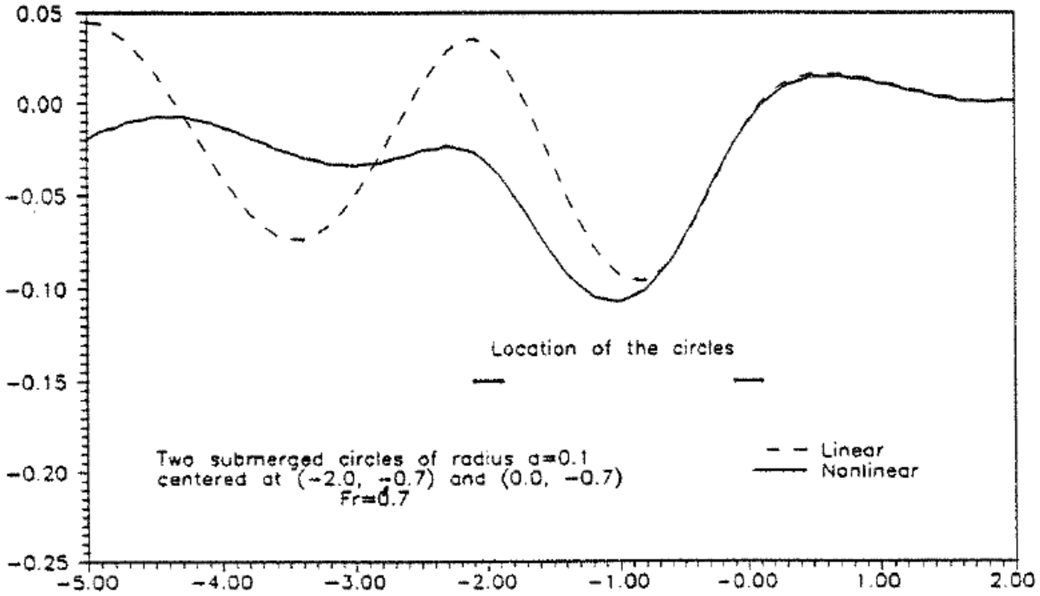


Ενδεικτικά αποτελέσματα

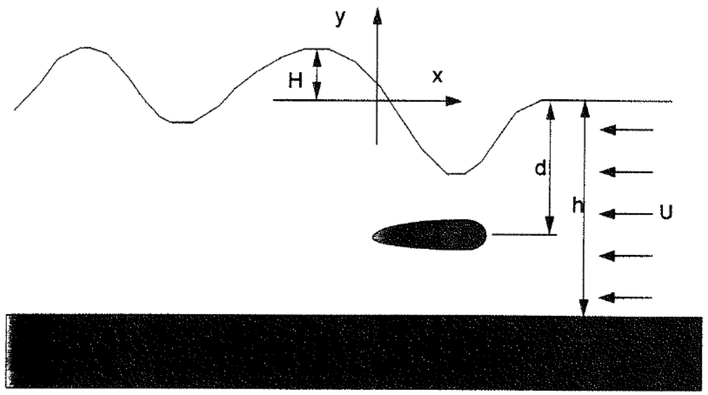


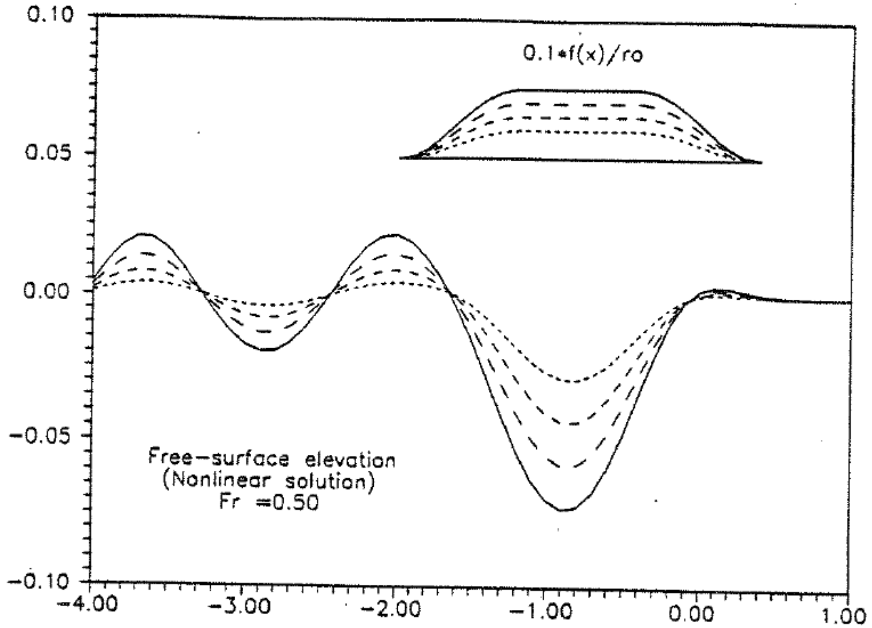


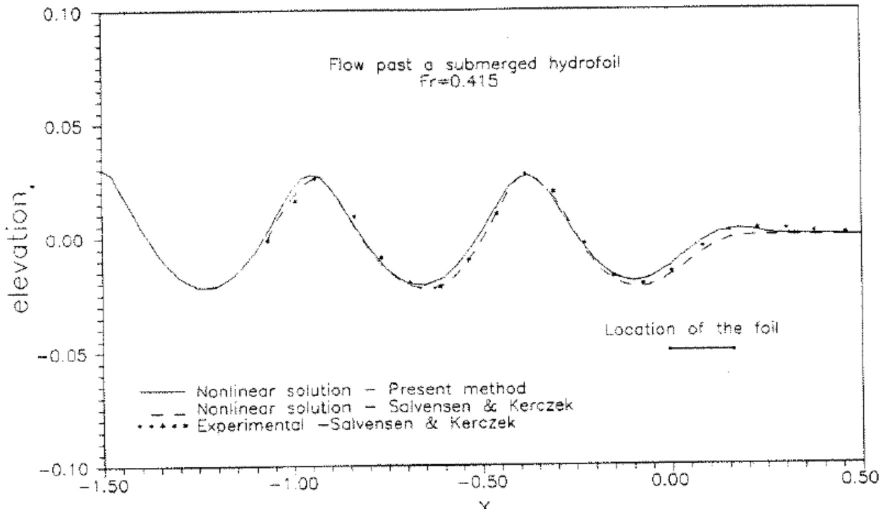




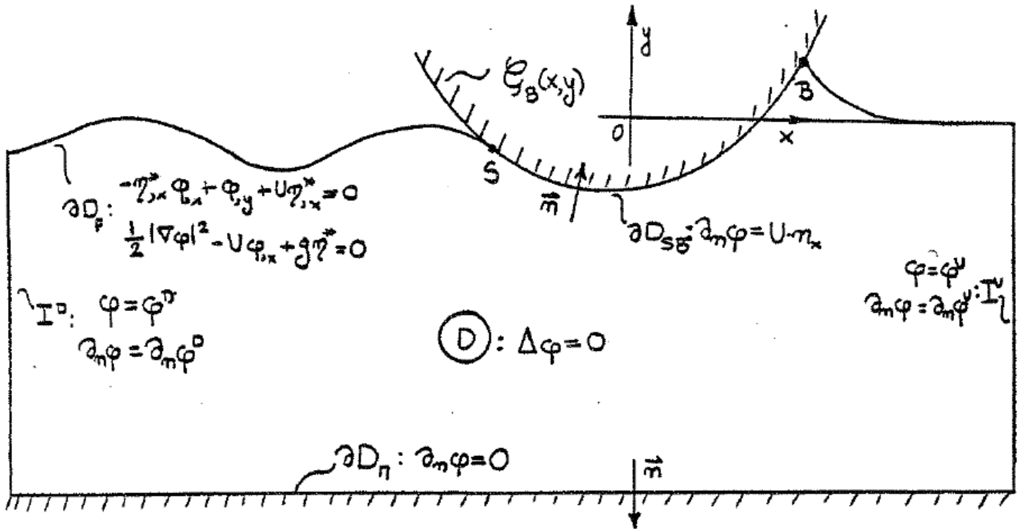
Ενδεικτικά αποτελέσματα







Η πρόκληση



<u>Θεώρημα:</u> Θεωρούμε το συναρτησιακό:

$$J_{FB}(\Phi_F,\eta,p^b,\{C_n^D\},\{C_n^U\};x_S,x_B) = \frac{1}{2}\int_D |\nabla\varphi|^2 dV + \frac{1}{2}g\int_{I_F}\eta^2 dx + U\int_{I_F}\Phi_F\eta_{,x}dx +$$

$$+\int_{I_F^b} p^b(\eta-\eta^G)dx + \frac{1}{2}\int_{I^D}\varphi^D\,\partial_{\vec{n}}\varphi^D\,ds + \frac{1}{2}\int_{I^U}\varphi^U\,\partial_{\vec{n}}\varphi^U\,ds + \tag{15}$$

$$+\frac{1}{2}U\varphi^D(x^D,0)\eta^D(x^D) - \frac{1}{2}U\varphi^U(x^U,0)\eta^U(x^U),$$

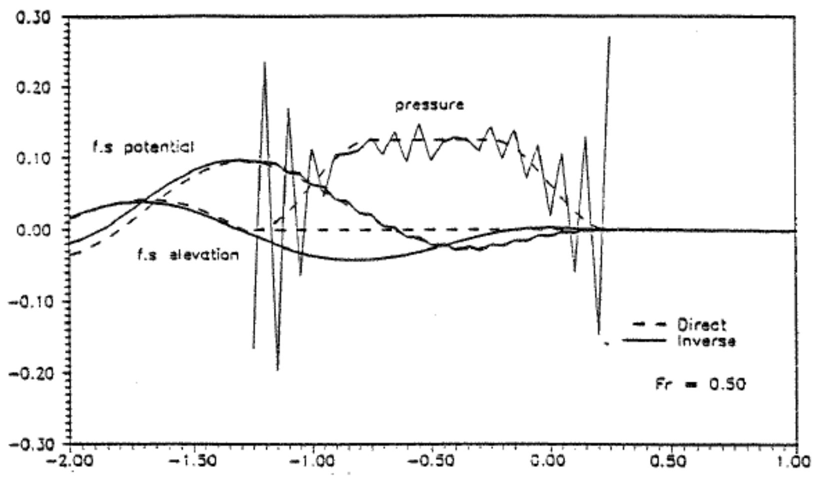
Το ακόλουθο πρόβλημα μεταβολών $VP_{FB}(D)$:

<u>Πρόβλημα $VP_{FB}(D)$:</u> Να βρεθούν συναρτήσεις $\varphi(\vec{x})\in\mathbb{H}(D)$, $\eta(x)$, $x\in I_F$, $p^b(x)$, $x\in I_F^b$ και πραγματικοί συντελεστές $\{C_n^D\}$, $\{C_n^U\}$ έτσι ώστε:

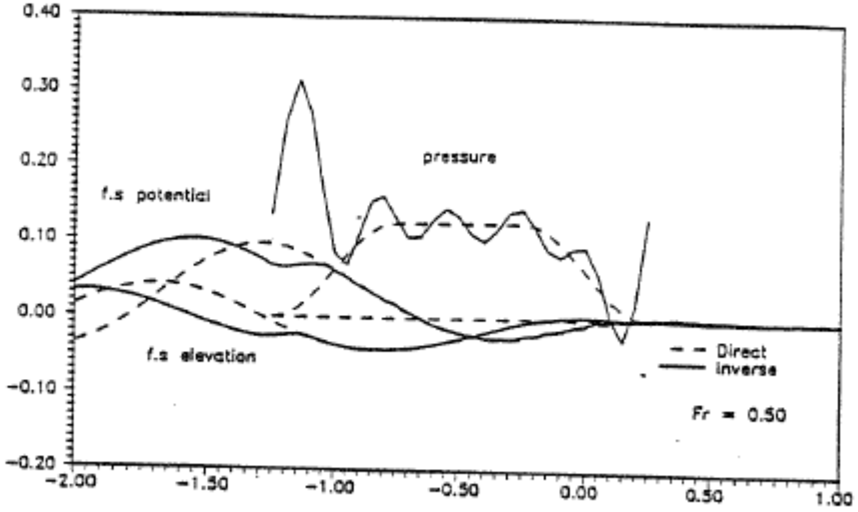
$$\delta J_{FB} = \delta_{\Phi_F}J_{FB} + \delta_\eta J_{FB} + \delta_p J_{FB} + \sum_n \delta_{C_n^D}J_{FB} + \sum_n \delta_{C_n^U}J_{FB} = 0\ , \blacksquare$$

είναι ισοδύναμο με το πρόβλημα $P'^{EQ}_{FB}(D;\eta,\varphi;x_S,x_B)$.

Η πρόκληση

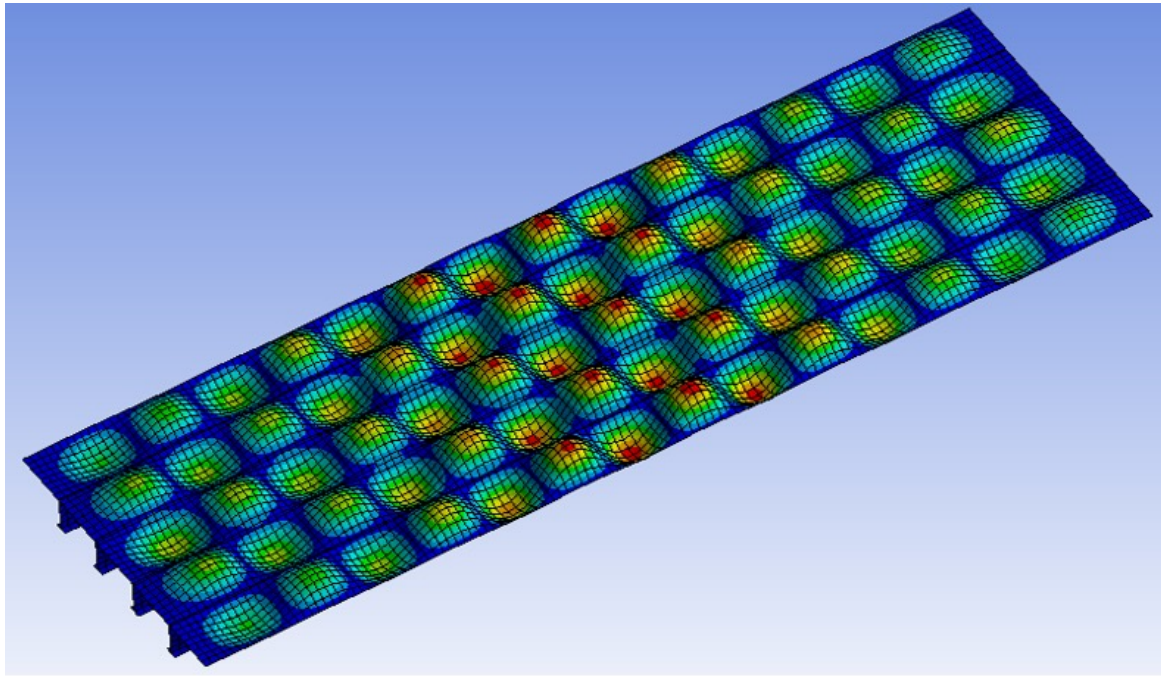


<u>Σχήμα</u> <u>4.4.1:</u> Σύγκριση αποτελεσμάτων του ευθέος και αντιστρόφου προβλήματος για τραπεζοειδή κατανομή πίεσης. Αναπαράσταση της $p^I(x)$ με χρήση κυβικών splines.

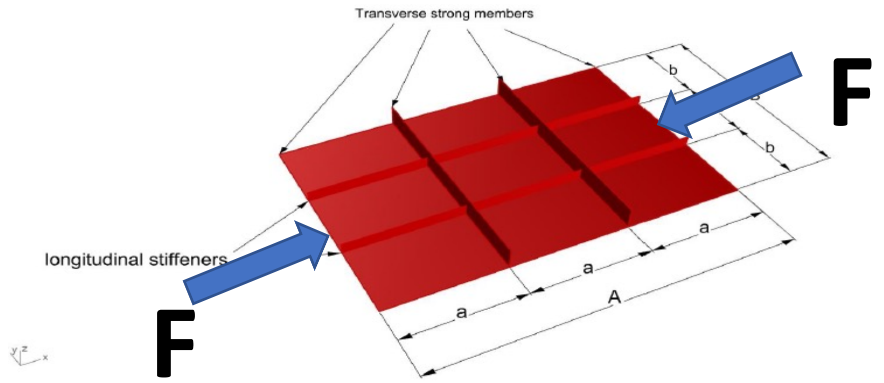


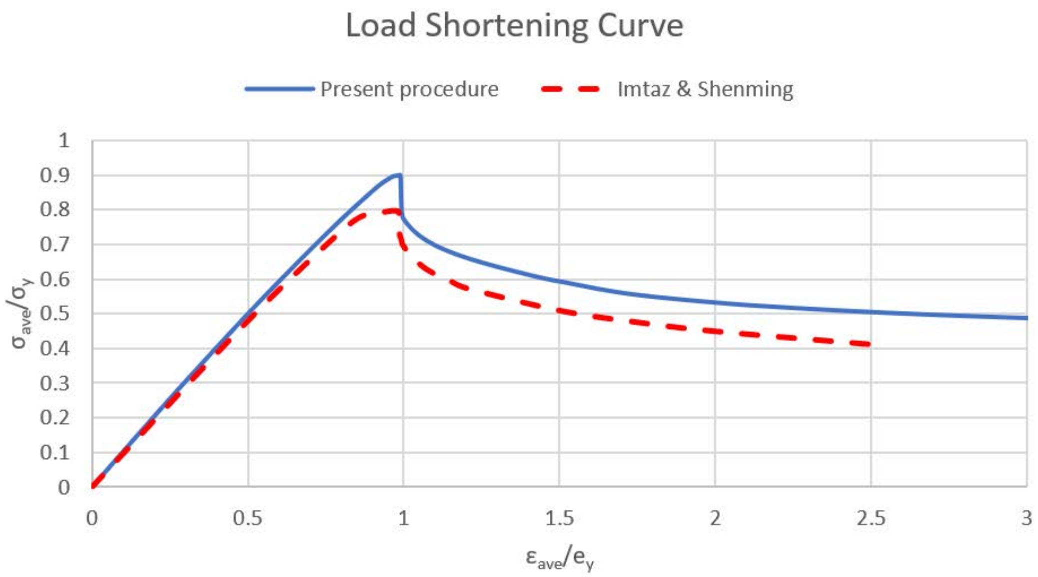
<u>Σχήμα</u> <u>4.4.5:</u> Σύγκριση αποτελεσμάτων του ευθέος και αντιστρόφου προβλήματος για τραπεζοειδή κατανομή πίεσης. Αναπαράσταση της $p^I(x)$ με σειρά Fourier.

Αλλαγή πλεύσης -Πάλι κύματα!!!



Τρέχον ερευνητικό πεδίο -Μέγιστη αντοχή ενισχυμένων πλακών





Ζητούμενο: Η θέσπιση μιας συνεπούς διδικασίας αριθμητικής επίλυσης!!!

Σχετική απαίτηση Κανονισμών CSR

The bending moment-curvature relationship, M-χ, may be established by alternative methods. Such models are to consider all the relevant effects important to the non-linear response with due considerations of:

a) Non-linear geometrical behaviour.

b) Inelastic material behaviour.

c) Geometrical imperfections and residual stresses (geometrical out-of-flatness of plate and stiffeners).

d) Simultaneously acting loads:

- Bi-axial compression.
- Bi-axial tension.
- Shear and lateral pressure.

e) Boundary conditions.

f) Interactions between buckling modes.

g) Interactions between structural elements such as plates, stiffeners, girders, etc.

h) Post-buckling capacity.

i) Overstressed elements on the compression side of hull girder cross section possibly leading to local permanent sets/buckle damages in plating, stiffeners etc (double bottom effects or similar).

Ομοιότητες - Διαφορές

- Πολλαπλή μη-γραμμικότητα

  (υλικού και γεωμετρίας)
- Ενεργειακό ισοζύγιο

  Ελαχιστοποίηση της συνολικής δυναμικής ενέργειας
- Μεταβολική διατύπωση
- Στοχαστικότητα

- Ασταθής συμπεριφορά
- Χρήση ανώτερης τάξης μεταβολών του συναρτησιακου της συνολικής δυναμικής ενέργειας για τον έλεγχο της ευστάθειας

Παράμετροι που επηρεάζουν την λύση

Φυσικές παράμετροι

- Αρχικές παραμορφώσεις

  (Τύπος -κατανομή-μέγεθος)

- Οριακές συνθήκες
- Επιβολή μετατόπισης ή δύναμης?
- Μη γραμμικότητα υλικού

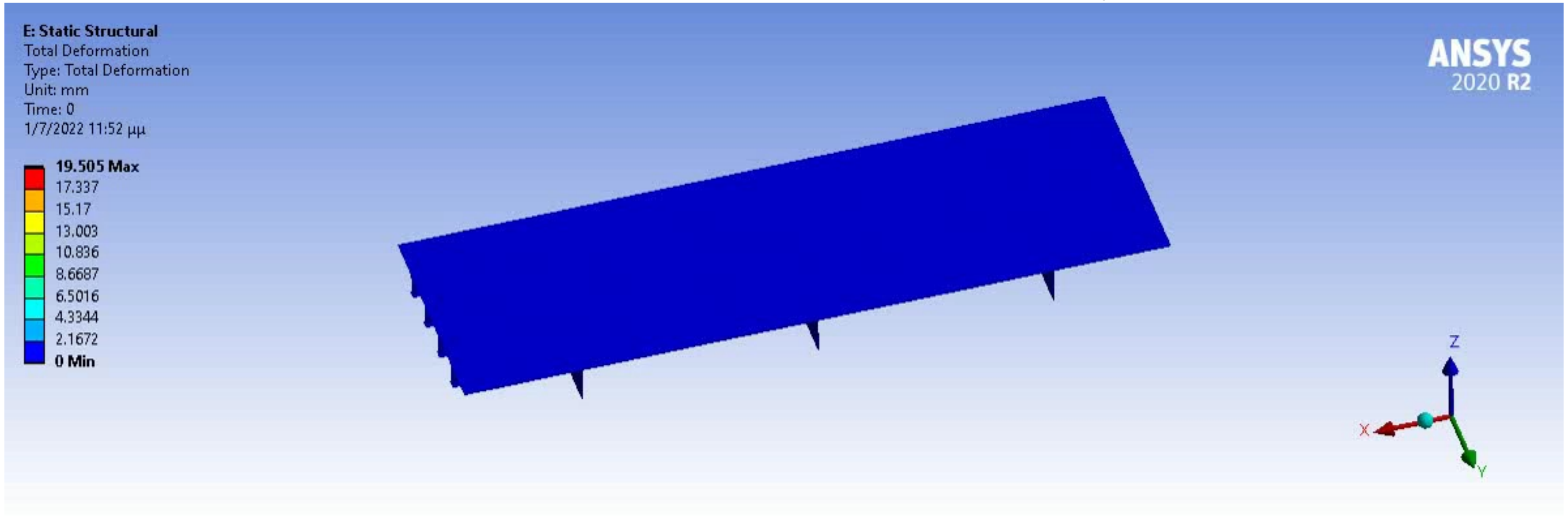
Αριθμητικές παράμετροι

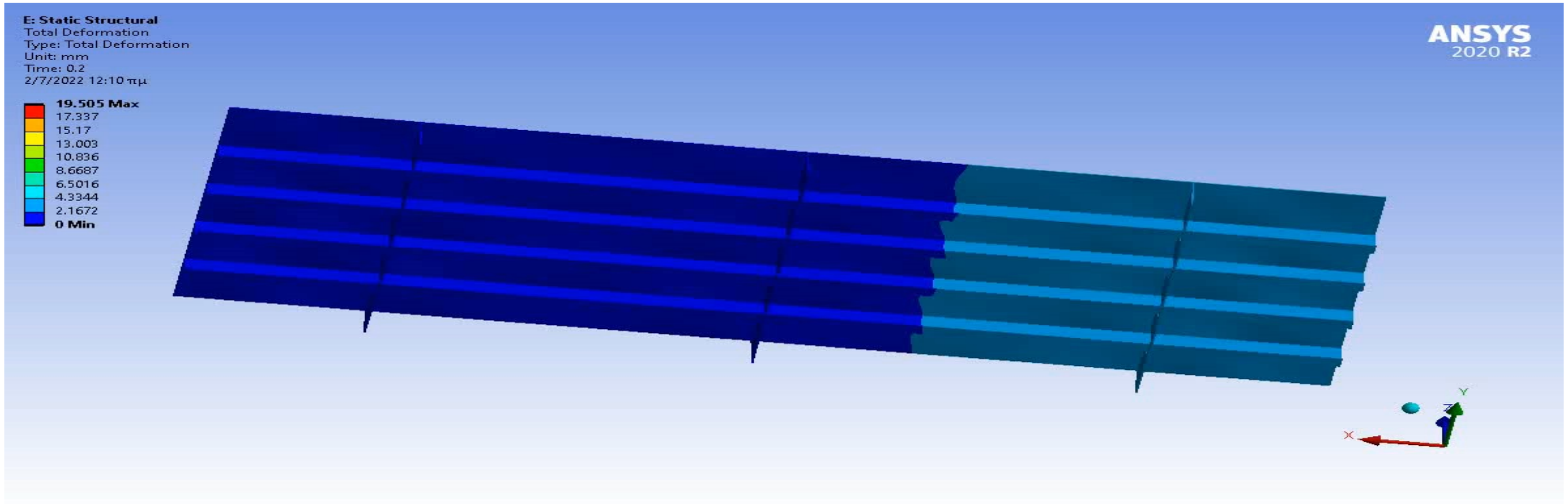
- Μαθηματική μοντελοποίηση των αρχικών παραμορφώσεων
- Μοντελοποίηση μη-γραμμικής συμπεριφοράς του υλικού
- Επαναληπτικό σχήμα επίλυσης

  (Newton-Raphson, Arc length, ??)

- Θεώρηση αριθμητικής απόσβεσης
- Πυκνότητα πλέγματος
- Κριτήρια σύγκλισης

Ενδεικτικά αποτελέσματα





Ενδεικτικά αποτελέσματα

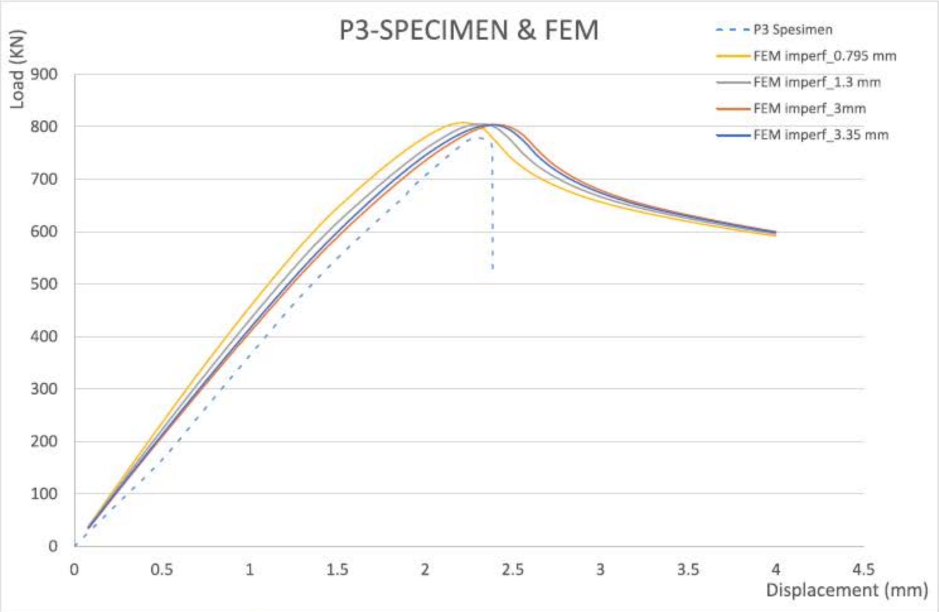


Figure 8: Results of the nonlinear analyses for specimens P1, P2, and P3 with various maximum initial im

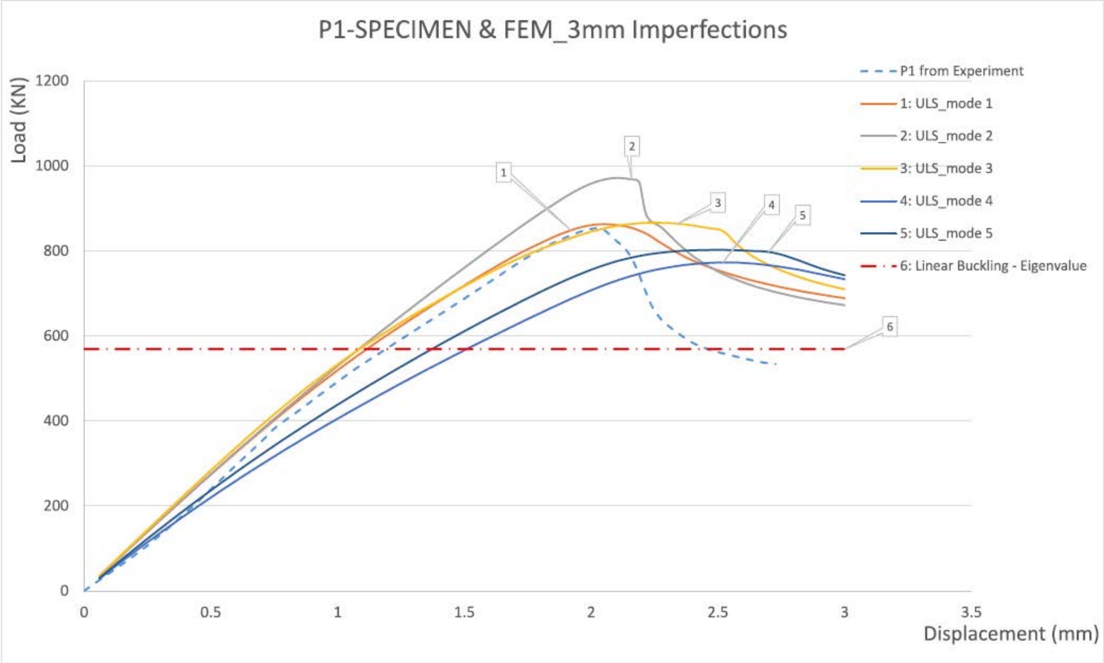


Figure 16: Results of the nonlinear analyses for specimen P1 with initial imperfections of 3mm, by changing the mode of buckling, for the shape of the initial imperfections.

Η de facto αποκατάσταση της Υδροδυναμικής σήμερα

- Η θεσμοθέτηση περιορισμού των αερίων ρύπων των πλοίων ανεβάζει την Υδροδυναμική στο βάρθρο της
- Παρατηρείται έντονη ερευνητική δραστηριότητα στη σχεδίαση εξατομικευμένων υδροδυναμικών συστημάτων για την αύξηση της ενέργειακής απόδοσης των πλοίων (energy saving devices).
- Αερολίπανση (Air lubrication) της γάστρας για μείωση της αντίστασης τριβής
- Αιολική ενέργεια (rotor sails).

Ευχαριστώ για την προσοχή σας!