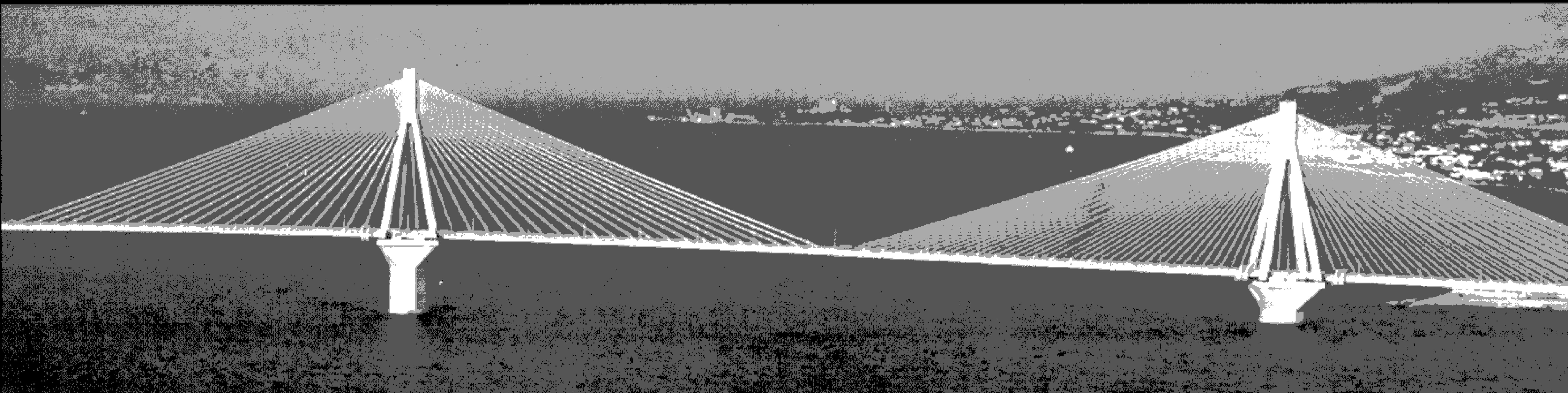


Δρ. Παναγιώτης Α. Βουθούνης
Αικ. Ε. Σταματίου • Π. Π. Βουθούνη

Μηχανική παραμορφώσιμου στερεού



ΑΝΤΟΧΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Αθήνα 2013

Χρήσιμες μαθηματικές σχέσεις

Άλγεβρα

Ταυτότητες:

$$(a \pm b)^2 = a^2 \pm 2ab + b^2, \quad a^2 - b^2 = (a+b)(a-b)$$

$$(a \pm b)^3 = a^3 \pm 3a^2b + 3ab^2 \pm b^3$$

$$a^3 \pm b^3 = (a \pm b)(a^2 \mp ab \pm b^2)$$

$$(a+b-c)^2 = a^2 + b^2 + c^2 + 2ab - 2bc - 2ca$$

$$(a+b+c)^3 = a^3 + b^3 + c^3 + 3a^2b + 3b^2c + 3c^2a + 3a^2c + 6abc$$

$$(a+b)^n = a^n + na^{n-1}b + \frac{n(n-1)a^{n-2}b^2}{2!} + \frac{n(n-1)(n-2)a^{n-3}b^3}{3!} + \dots$$

Εξίσωση δευτέρου βαθμού:

$$ax^2 + bx + c = 0, \quad x = \frac{-b \pm \sqrt{\Delta}}{2a}, \quad \Delta = b^2 - 4ac$$

Λογάριθμοι:

$$a^{-x} = \frac{1}{a^x}, \quad a^{x+y} = a^x a^y, \quad a^{x-y} = \frac{a^x}{a^y}$$

$$\log a = x \Rightarrow a = 10^x, \quad \ln a = x \Rightarrow a = e^x$$

$$\log(ab) = \log a + \log b, \quad \log(a/b) = \log a - \log b$$

$$\log(a^n) = n \log a$$

Τριγωνομετρία

$$\sin^2 \theta + \cos^2 \theta = 1, \quad \tan \theta = \sin \theta / \cos \theta$$

$$\sin(-a) = -\sin a, \quad \cos(-a) = \cos a$$

$$\sin(\theta \pm \pi/2) = \pm \cos \theta, \quad \cos(\theta \pm \pi/2) = \mp \sin \theta$$

$$\sin 2\theta = 2 \sin \theta \cos \theta$$

$$\cos 2\theta = \cos^2 \theta - \sin^2 \theta = 2 \cos^2 \theta - 1 = 1 - 2 \sin^2 \theta$$

$$\sin(\theta \pm \varphi) = \sin \theta \cos \varphi \pm \cos \theta \sin \varphi$$

$$\cos(\theta \pm \varphi) = \cos \theta \cos \varphi \mp \sin \theta \sin \varphi$$

$$\sin \theta + \sin \varphi = 2 \sin \frac{\theta + \varphi}{2} \cos \frac{\theta - \varphi}{2}$$

$$\cos \theta + \cos \varphi = 2 \cos \frac{\theta + \varphi}{2} \cos \frac{\theta - \varphi}{2}$$

Για $\theta \leq 5^\circ$: $\sin \theta \approx \tan \theta \approx \theta$, (θ σε rad)

Θεώρημα ημιτόνου: $\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin \Gamma}$

Ορθογώνιο τρίγωνο: $\beta = a \sin B = a \cos \Gamma = \gamma \tan B$

Θεώρημα ουννημιτόνου: $a^2 = b^2 + \gamma^2 - 2\beta\gamma \cos A$

Απειροστικός λογισμός

Παραγωγοί:

$$\frac{d}{dx} x^n = nx^{n-1}, \quad \frac{d}{dx} e^{ax} = ae^{ax}, \quad \frac{d}{dx} \ln ax = \frac{a}{x}$$

$$\frac{d}{dx} \sin ax = a \cos ax, \quad \frac{d}{dx} \cos ax = -a \sin ax$$

Ολοκληρώματα:

$$\int x^n dx = \frac{x^{n+1}}{n+1} + C, \quad n \neq -1$$

$$\int \frac{dx}{x} = \ln x + C, \quad \int e^{ax} dx = \frac{1}{a} e^{ax} + C$$

$$\int \sin ax = -\frac{1}{a} \cos ax + C, \quad \int \cos ax = \frac{1}{a} \sin ax + C$$

$$\int \frac{dx}{\sqrt{a^2 - x^2}} = \arcsin \frac{x}{a} + C, \quad \int \frac{dx}{x^2 + a^2} = \frac{1}{a} \arctan \frac{x}{a} + C$$

$$\int \frac{dx}{\sqrt{x^2 + a^2}} = \ln(x + \sqrt{x^2 + a^2}) + C$$

$$\int x e^{ax} dx = \frac{e^{ax}}{a^2} (ax - 1), \quad \int \frac{dx}{a + bx} = \frac{1}{b} \ln(a + bx)$$

Δυναμοσειρές:

$$\sin x = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \frac{x^7}{7!} + \dots$$

$$\cos x = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \frac{x^6}{6!} + \dots$$

$$e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \frac{x^4}{4!} + \dots$$

$$\ln(1+x) = x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \frac{x^4}{4} + \dots, \quad |x| < 1$$

Κέντρο επιφάνειας

$$\bar{x} = x_k = \frac{\sum A_i x_i}{\sum A_i}, \quad \bar{y} = y_k = \frac{\sum A_i y_i}{\sum A_i}$$

Καρτεσιανό διάνυσμα $\mathbf{A} = A_x \mathbf{i} + A_y \mathbf{j} + A_z \mathbf{k}$

Μέτρο: $A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}$

Διεύθυνση:

$$\mathbf{u}_A = \frac{\mathbf{A}}{A} = \frac{A_x}{A} \mathbf{i} + \frac{A_y}{A} \mathbf{j} + \frac{A_z}{A} \mathbf{k} = \cos a \mathbf{i} + \cos b \mathbf{j} + \cos c \mathbf{k}$$

$$\cos^2 a + \cos^2 b + \cos^2 c = 1$$

Εσωτερικό γινόμενο

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = AB \cos \theta = A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z$$

Εξωτερικό γινόμενο

$$\mathbf{C} = \mathbf{A} \times \mathbf{B} = \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix}$$

Καρτεσιανή θέση διανύσματος

$$\mathbf{r} = (x_2 - x_1) \mathbf{i} + (y_2 - y_1) \mathbf{j} + (z_2 - z_1) \mathbf{k}$$

Δύναμη σε καρτεσιανές συντεταγμένες

$$\mathbf{F} = F_x \mathbf{i} + F_y \mathbf{j} + F_z \mathbf{k} = F \mathbf{u} = F \left(\frac{\mathbf{r}}{r} \right)$$

Ροπή δύναμης F προς σημείο O : $M_o = F d$

$$\mathbf{M}_o = \mathbf{r} \times \mathbf{F} = \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ r_x & r_y & r_z \\ F_x & F_y & F_z \end{vmatrix}$$

Ροπή δύναμης ως προς άξονα λ

$$M = \lambda \cdot \mathbf{r} \times \mathbf{F} = \begin{vmatrix} \lambda_x & \lambda_y & \lambda_z \\ r_x & r_y & r_z \\ F_x & F_y & F_z \end{vmatrix}$$

Ροπή δύναμης ως προς άξονα:

Όταν ο φορέας μιας δύναμης τέμνει έναν άξονα ή είναι παράλληλος με αυτόν, τότε η ροπή της δύναμης ως προς τον άξονα αυτόν είναι μηδέν.

Εξισώσεις ισορροπίας

Σημείο (η κομβός): $\sum F_x = 0, \quad \sum F_y = 0, \quad \sum F_z = 0$

Αποδιάστατο στερεό σώμα:

$$\sum F_x = 0, \quad \sum F_y = 0, \quad \sum M_o = 0$$

Τριδιάστατο στερεό σώμα:

Διανυσματικές εξισώσεις: $\mathbf{R} = 0$ και $\mathbf{M} = 0$ ή

Στερεοστατικές εξισώσεις ισορροπίας:

$$\sum F_x = 0, \quad \sum F_y = 0, \quad \sum F_z = 0$$

$$\sum M_x = 0, \quad \sum M_y = 0, \quad \sum M_z = 0$$

Τριβή

Στατική: $F_s = \mu_s N$, N η κάθετη αντίδραση

Κινηματική: $F_k = \mu_k N$, $\mu_s < \mu_k$

Αρχή δράσης-αντίδρασης:

Όταν σώμα ασκεί σε άλλο δύναμη P (δράση), τότε και αυτό δέχεται από το πρώτο δύναμη ίσου μέτρου αλλά αντίθετης φοράς (αντίδραση).

Αρχή της επαλληλίας ή της υπέρθεσης:

Το αποτέλεσμα (αντίδραση, τάση) το προερχόμενο από δυνάμεις που επενεργούν ταυτόχρονα σε ένα σώμα, ισούται με το αλγεβρικό άθροισμα των αποτελεσμάτων που θα προέρχονταν αν η κάθε μία δύναμη δρούσε ξεχωριστά στο σώμα.

Θεώρημα Varignon:

Η ροπή ως προς σημείο (ή ως προς άξονα) της συνισταμένης δύναμης, ισούται με το αλγεβρικό άθροισμα ροπών των συνιστωσών της.

Θεώρημα παράλληλης μεταφοράς δύναμης:

Μεταφέροντας μία δύναμη P σε σημείο O , προκύπτει P ίσου μέτρου και ίδιας φοράς συν τη ροπή μεταφοράς $M = P \cdot d$, όπου d η απόσταση του φορέα της P από το O .

Χρήσιμη πρόταση:

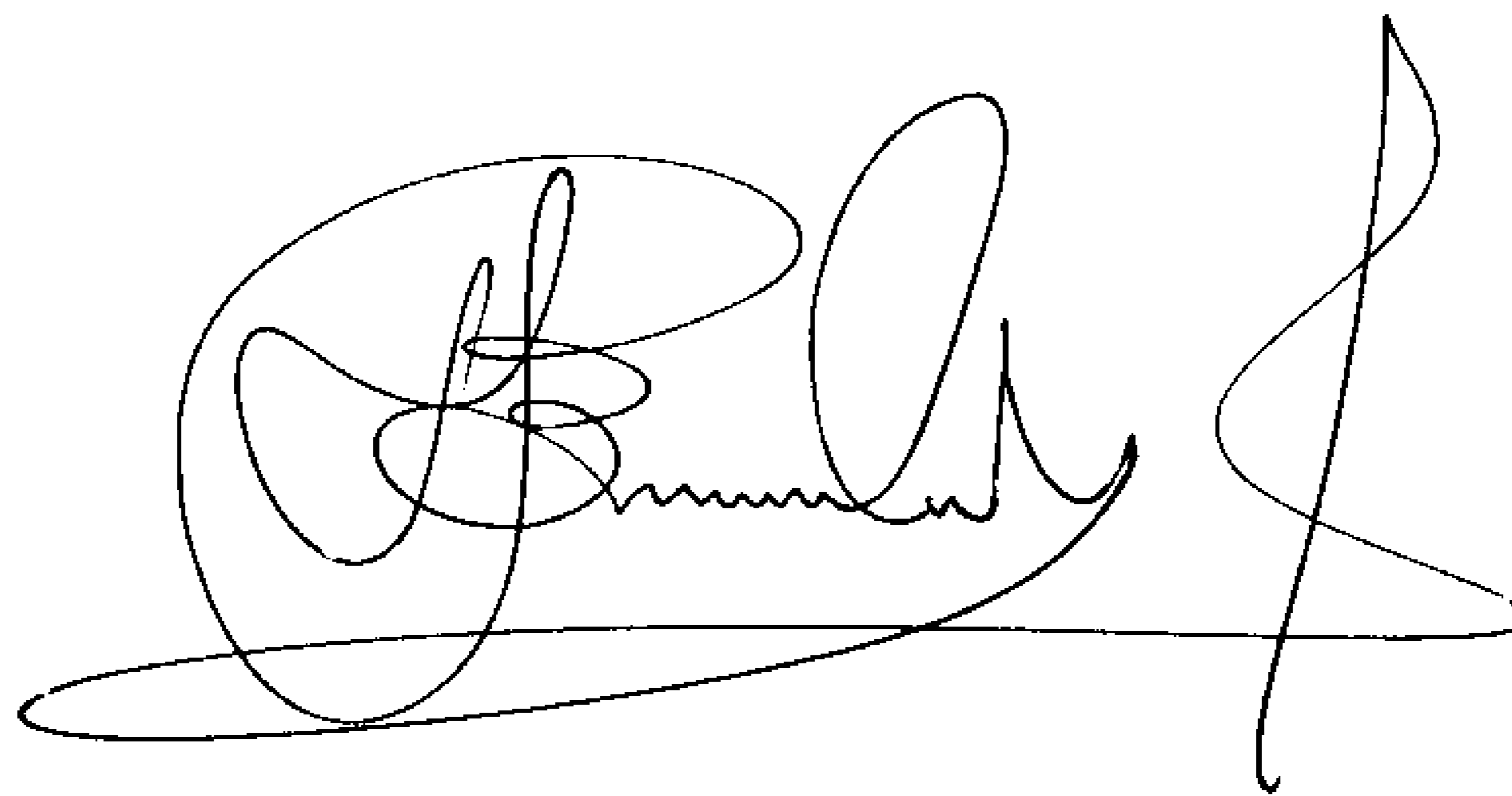
Όταν δοκός φέρει στα άκρα της αρθρώσεις και είναι ενδιάμεσα αφόρπιστη, καταπονείται μόνον αξονικά.

Η Αντοχή των Υλικών είναι από τα χαρακτηριστικότερα μαθήματα των Μηχανικών και αναμφίβολα από τα δυσκολότερα.

Για την αποτελεσματικότερη εκμάθησή της, το βιβλίο αυτό προσφέρει επιπλέον τα εξής:

- **Ολοκληρώνει την παρουσίαση του περιεχομένου του, χωρίς ο αναγνώστης να χρειαστεί ποτέ να γυρίσει σελίδα.**
- **Χωρίζει το κάθε λυμένο παράδειγμα στα επιμέρους "βήματά του", γεγονός που διευκολύνει σημαντικά την άμεση κατανόησή του.**
- **Ιδιαίτερα επιμελημένα σχήματα, στα περισσότερα εκ των οποίων έχει εφαρμοστεί η φιλοσοφία της "έξισωσης σχήματος" (δηλαδή της ανάλυσης ενός σύνθετου σχήματος σε άθροισμα απλούστερων σχημάτων).**

Δρ. Βιγνώσιου
του ΤΕΙ Μαγ



Μηχανική παραμορφώσιμου στερεού

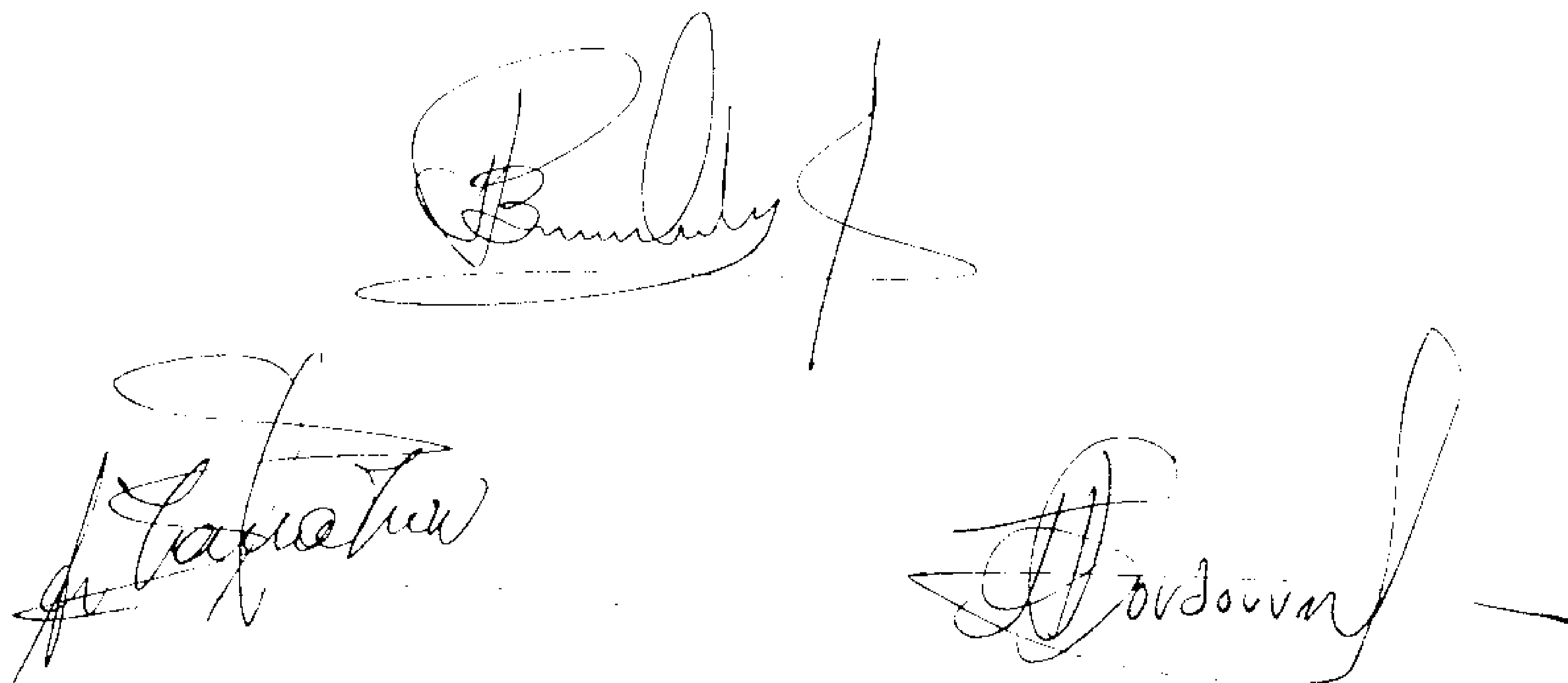
—ΑΝΤΟΧΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ—

Α' ΈΚΔΟΣΗ – Αθήνα 2013

Ο Νόμος 2387/20, το Ν.Δ. 4264/62 και ο Ν. 2121/93 κατοχυρώνουν την πνευματική ιδιοκτησία και απαγορεύουν την αναπαραγωγή με κάθε τρόπο, καθώς και την αναδημοσίευση ακόμα και τμήματος του έργου, χωρίς την έγγραφη άδεια του συγγραφέα.

Το παρόν υπόκειται σε μελλοντικό δειγματολογικό έλεγχο.

Κάθε γνήσιο αντίτυπο φέρει την υπογραφή των συγγραφέων ή του εκδότη



Μορφοποίηση κειμένου – επιμέλεια: Αικ. Σταματίου

Σχέδια: Μ. Κουτσοδενδρίης, Ε. Πολυχρονιάδη, Μ. Μανουσαρίδου, Αικ. Σταματίου, Π. Βουθούνη

Εξώφυλλο: Παναγιώτα Βουθούνη, Αικ. Σταματίου

Φίλμ – Μοντάζ: Ντίμης Καρράς, τηλ. 210-38.21.733

Τυπογραφείο: Δ. Κουτουρίνης

Βιβλιοδεσία: Κώστας Καλογρίδης & ΣΙΑ ΕΠΕ

ISBN 978 – 960 – 85431 – 8 – 8

Copyright ©: *Παναγιώτης Α. Βουθούνης*,

Ηλέκτρας Αποστόλου 81, Ν. Ηράκλειο Τ.Κ. 14122, τηλ. 6972-713.826, Fax 210-28.29.135,
email: pnouthounis@teiath.gr, p_vouthounis@yahoo.gr

Έκδοση: Του Συγγραφέα Π. Α. Βουθούνη

Το βιβλίο αυτό εκδόθηκε στην Αθήνα από τον Συγγραφέα Παναγιώτη Α. Βουθούνη. Όλα τα δικαιώματα διατηρούνται. Απαγορεύεται η ανατύπωση, αναδημοσίευση ή αντιγραφή μέρους ή όλου του βιβλίου ή των σχημάτων του, η αποθήκευση σε αρχείο πληροφοριών, η μετάδοση με οποιοδήποτε μέσο επικοινωνίας (ηλεκτρονικό, μηχανικό, φωτοαντιγραφικό, φωνογραφικό, κ.λπ.) χωρίς τη νόμιμη εκχώρηση έγγραφης άδειας από τον συγγραφέα – εκδότη.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form by any means electrical, mechanical or otherwise, without first seeking the written permission of the copyright owner.

620102
207

ΔΩΡΕΑ

Τ.Ε.Ι. ΑΘΗΝΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
Αρ. εισ. 86427

Dr Παναγιώτης Ανδρ. Βουθούνης
Μηχανολόγος - Ηλεκτρολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.
Διδάκτορας στον " Τομέα Μηχανικής" του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

MSc. Αικατερίνη Ε. Σταματίου – MSc. Παναγιώτα Π. Βουθούνη

Μηχανική παραμορφώσιμου στερεού

—ΑΝΤΟΧΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ—

Θεωρία – Περίληψη – 224 Παραδείγματα – 2000 Έγχρωμα σχήματα

Αθena 2013

Αφιερώνεται

Στη Μαρία Αγγελοπούλου - Βουθούνη

Για την αφανή συμμετοχή της στην εκπόνηση του παρόντος

Οι συγγραφείς

Σεπτέμβριος 2013

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Αφού πέρασαν 20 χρόνια από την αρχική έκδοση του βιβλίου μας "Τεχνική Μηχανική – ΑΝΤΟΧΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ", και με την εμπειρία που αποκτήθηκε από την συνεχή διδασκαλία του μαθήματος αφενός, και από τις εύστοχες υποδείξεις των συναδέλφων αφετέρου, αλλά και αφού αξιολογήσαμε την ως προς την αφομοίωση της ύλης ανταπόκριση των φοιτητών μας, προχωρήσαμε στην αντικατάσταση από το παρόν πόνημα.

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΟΣ ΣΤΟΧΟΣ

Η νέα γενιά των συγγραφέων, με την φαντασία, τη συνεχή προσπάθεια για κάτι συνεχώς βελτιούμενο και κυρίως με την έμφυτη τάση των νέων να απαιτούν να δίνεται σαφής απάντηση στο "γιατί;" συνέβαλε αποφασιστικά στην παρουσία και διάρθρωση αυτού του βιβλίου.

Έτσι με το παρόν σύγγραμμα πιστεύουμε ότι προσφέρουμε ένα βιβλίο για φοιτητές μηχανικούς Α.Ε.Ι. με το οποίο να είναι σε θέση:

- i. Να κατανοήσουν και να εμπεδώσουν την ύλη του μαθήματος κατά τρόπο -όσο γίνεται- απλό, μεθοδικό και εύληπτο.
- ii. Να μην χρειάζονται επιπλέον βοηθήματα -όπως π.χ. βιβλία ασκήσεων- λόγω της υπερκάλυψης της ύλης τόσο στη θεωρία όσο και στην υποδειγματική επίλυση ασκήσεων.

Το προηγούμενο μάθημα της "*Στατικής – Μηχανικής των ισοστατικών φορέων*" έχει το χαρακτηριστικό γνώρισμα ότι περιέχει λίγη ή και ελάχιστη θεωρία, καθίσταται συνεπώς σχεδόν αποκλειστικά μάθημα ασκήσεων.

Το μάθημα της "*Αντοχής Υλικών*" αντίθετα, έχει αρκετό (έως πολύ μεγάλο) όγκο θεωρίας, την οποία αφού κατανοήσει ο φοιτητής θα πρέπει να είναι σε θέση να επιλύει προβλήματα, που ούτως ή άλλως είναι ο κατά 90% στόχος αυτού του μαθήματος. Επειδή η επίτευξη του παραπάνω στόχου –και μάλιστα σε περιορισμένο χρονικό διάστημα– είναι εκ των πραγμάτων δύσκολη, θεωρούμε ότι πέραν του αναντικατάστατου "καλού διδάσκοντα", ένα καλό –ή ακόμη προτιμότερο– ή ένα πολύ καλό σύγγραμμα βοηθά καθοριστικά στην κατεύθυνση αυτή.

Η πολιτεία μας –μολονότι οι οικονομικοί της πόροι είναι περιορισμένοι– ενστερνιζόμενη τα παραπάνω, επιτρέπει –προιτρέπει όλους του φοιτητές της να επιλέξουν αυτοί το καλό σύγγραμμα, επιβαρυνόμενη εκείνη το κόστος του.

ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Η κύρια ύλη του βιβλίου αυτού χωρίζεται σε **17 Κεφάλαια**. Το κάθε Κεφάλαιο αποτελείται από τη θεωρία, τα παραδείγματα (ή λυμένες ασκήσεις), την περίληψη, το τυπολόγιο, έναν χώρο για πιθανές χειρόγραφες σημειώσεις του φοιτητή και μία αρκετά πλούσια συλλογή ασκήσεων προς λύση με την απάντησή τους.

Ποιότητα: Κατά τη συγγραφή της κατεβλήθη μεγάλη, επίπονη και σε βάθος χρόνου άοκνος προσπάθεια, ώστε αυτή να παρουσιαστεί κατά τρόπο όσο γίνεται απλό, σύντομο και πιστεύουμε εύληπτο. Προς τούτο, κάθε κεφάλαιο ξεκινάει με μία εισαγωγική παράγραφο που θέτει το σκοπό και τους στόχους του κεφαλαίου. Περιγράφει απλώς την ύλη που θα καλυφθεί καθώς και την εφαρμογή της στις διάφορες τεχνικές κατασκευές.

Στις παραγράφους που ακολουθούν δίνουμε τους βασικούς ορισμούς και τις μαθηματικές σχέσεις που τους διέπουν ακολουθούμενες από τις αποδείξεις τους. Οι αποδείξεις είναι με μικρότερου μεγέθους γραμματοσειρά, θέλοντας έτσι να υποδηλώσουμε ότι η μελέτη τους στις περισσότερες των περιπτώσεων μπορεί να παραληφθεί κατά το στάδιο της αρχικής μελέτης.

Προς περαιτέρω διευκόλυνση της οπτικής αναζήτησης, ένα πρωτοοριζόμενο μέγεθος γράφεται με έντονα πλάγια γράμματα (***bold & italics***), οι κανόνες γράφονται με πλάγια γράμματα (*italics*), ενίοτε δε περικλείεται το κείμενο σημαντικών εξ αυτών εντός πλαισίου με φόντο (ράστερ) ή ανάμεσα σε δύο κατακόρυφες γραμμές. Τέλος, κάτι που κατά τη γνώμη μας πρέπει να προσεχθεί ιδιαίτερα γράφεται με έντονα γράμματα (**bold**).

Τα χρησιμοποιούμενα μαθηματικά σύμβολα αποτυπώνονται με διαφορετικού τύπου γραμματοσειρά απ' ό,τι του τρέχοντα λόγου, ώστε να υπάρχει και μία οπτική διαφοροποίηση, προς περαιτέρω ενίσχυση της οποίας γράφονται και με πλάγια γράμματα.

Η ίδια γραμματοσειρά των συμβόλων εμφανίζεται και στα σχήματα για λόγους ομοιομορφίας αφενός, αλλά και για να μπορεί το μάτι να τα εντοπίζει ευκολότερα.

Τα σχήματα εμφανίζονται στις δύο ακραίες σπίλες του δισέλιδου αριστερά και δεξιά από το κείμενο, είναι δίχρωμα, και δεν υπάρχει σελίδα χωρίς τουλάχιστον ένα σχήμα, εκτός αυτής με την εισαγωγική παράγραφο του κάθε κεφαλαίου. Αυτό έχει σαν οπτικό – αλλά και ουσιαστικό – αποτέλεσμα το κάθε δισέλιδο να παρουσιάζεται σαν ενιαίο "ανοικτό λεύκωμα", εντός του οποίου αναλύεται η κάθε παράγραφος, περιστοιχισόμενη από τα απαραίτητα σχήματα. Δηλαδή μία από τις καινοτομίες του βιβλίου αυτού, είναι ότι καθιερώνεται το "σαλόνι του δισέλιδου" όπως το αποκαλούν οι ειδικοί των "γραφικών τεχνών".

| Η μελέτη των παραγράφων δηλαδή ολοκληρώνεται στο δισέλιδο αυτό, |
| χωρίς ποτέ ο αναγνώστης να χρειαστεί να γυρίσει σελίδα μπρος ή πίσω. |

Στα σχήματα χρησιμοποιούμε εκτεταμένα τα διαγράμματα ελευθέρου σώματος (Δ.Ε.Σ.) για τον προσδιορισμό κυρίως των αντιδράσεων στήριξης. Εκτεταμένη χρήση γίνεται επίσης στις "εξισώσεις σχημάτων" με τις οποίες γίνεται πιο κατανοητή από τους φοιτητές η επαλληλία των φορτίσεων και κατ' επέκταση των τάσεων, όπως και η επαλληλία των παραμορφώσεων (βελών κάμψης, κ.λπ.). Γενικότερα τα σχήματα τα χρησιμοποιούμε ευρέως αφού –για τον μηχανικό τουλάχιστον– ισχύει η ρήση:

"ένα σχήμα = 1000 λέξεις"

Εξ' άλλου ο αριθμός των πλέον 2000 σχημάτων του βιβλίου το καταμαρτυρά ξεκάθαρα.

Περίληψη: Αυτή αποτυπώνεται αυστηρά σε ένα δισέλιδο (το οποίο εντοπίζεται εύκολα στο πλάι του βιβλίου λυγίζοντάς το, λόγω του γκρι πλαισίου από το οποίο περιβάλλεται). Το να αποτυπωθεί ένα ολόκληρο κεφάλαιο σε δύο και μόνον σελίδες δεν ήταν καθόλου εύκολο. Κρίναμε όμως σκόπιμο να γίνει διότι συν τοις άλλοις, ο μηχανικός στον επαγγελματικό του βίο θα κληθεί να αποτυπώσει ένα σύνθετο πρόβλημα –γιατί όχι και– εντός δισέλιδου, όπως π.χ. μία τεχνική έκθεση. Αυτό άλλωστε το έχουμε κάνει και σε άλλα βιβλία μας και από όλους και κυρίως τους χρήστες, μόνον θετικά σχόλια είχαν διατυπωθεί.

Εξ' άλλου αυτό δίνει και "κουράγιο" στον φοιτητή όταν αντικρύζει τον μεγάλο όγκο της ύλης που έχει διδαχθεί.

Υπογραμμίζουμε πάντως το γεγονός ότι δεν μπορεί η περίληψη να υποκαταστήσει την θεωρία. Υπερθεματίζουμε όμως, πως η περίληψη είναι τέτοια που "φρεσκάρει" όλη τη βασική θεωρία.

Τυπολόγιο: Θεωρούμε ότι είναι ένα άριστο μονοσέλιδο συνολικό τυπολόγιο απαραίτητο στις εξετάσεις.

Παραδείγματα και λυμένες ασκήσεις: Η πλούσια και επιλεκτική αυτή συλλογή των 224 υποδειγματικά λυμένων παραδειγμάτων, πιστεύουμε ότι καθιστά τον φοιτητή ικανό να εμπεδώσει πλήρως και σε βάθος την ύλη του κάθε Κεφαλαίου. Άλλωστε ο αριθμός 224 αλληγορικά προτρέπει το φοιτητή:

- 2** Διάβασέ τα **2** φορές
- 2** Λύσε μόνος σου **2** από αυτά (ανά κεφάλαιο και με κλειστό βιβλίο)
- 4** Λύσε **4** από τις άλλτες ασκήσεις (του κάθε κεφαλαίου)

Αυτά επιλύονται κατά τρόπο ομοιόμορφο, ώστε να υποδεικνύονται σταθερά και απαράβαρα τα λεγόμενα "βήματα" της άσκησης, τα οποία μάλιστα αποτυπώνονται με έντονα πλάγια γράμματα πορτοκαλί χρώματος. Ο τρόπος αυτός της επίλυσης δεν είναι πάντα ο συντομότερος, πιστεύουμε όμως, ότι είναι ο ασφαλέστερος και ίσως ο μοναδικός, ώστε μέσα από αυτόν να μπορέσει ο φοιτητής να κατανοήσει πλήρως και σε βάθος την ύλη του μαθήματος.

Ο παραπάνω ίσως και μονότονος τρόπος παρουσίασης της λύσης κρίνεται **απαραίτητος**, ώστε να καταστεί βίωμα του φοιτητή "η πορεία πλεύσης" για τη λύση και συναφών τεχνικών προβλημάτων. Του δίνει επίσης μία πρώτης τάξεως απάντηση στο καυτό ερώτημα που πολλές φορές προκύπτει κατά τη διάρκεια των εξετάσεων "και τώρα τι κάνουμε;"

Σε πολλά όμως παραδείγματα υποδεικνύονται και άλλοι τρόποι λύσης, προκειμένου ο φοιτητής να μπορεί να βλέπει το πρόβλημα και από άλλες "οπτικές γωνίες".

| Δεν ήμασταν φειδωλοί σε **κόπο και χρόνο**, ώστε η λύση κάθε άσκησης να ολοκληρώνεται, |
| **χωρίς ο αναγνώστης να αναγκαστεί ποτέ να γυρίσει σελίδα.** |

Άλλες ασκήσεις: Προσφέρεται μία πλούσια συλλογή 414 ασκήσεων (μετά των απαντήσεών τους στα 9 πρώτα κεφάλαια, που είναι και τα βασικότερα). Η συλλογή αυτή ολοκληρώνεται στο Παράρτημα του βιβλίου, όπου υπάρχουν και 57 γενικότερα προβλήματα εφ' όλης της ύλης και μετά των απαντήσεών τους, υπό τον τίτλο *Άλυτα θέματα*.

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΜΑΣ

Κατά τη συγγραφή του παρόντος, προέκυψαν διάφοροι προβληματισμοί τόσο ως προς την παρουσίαση, όσο και ως προς το περιεχόμενο. Για παράδειγμα, η ύλη του παρόντος γνωστικού αντικειμένου εμπεριέχει μεγάλη ορολογία και συμβολισμούς που ίσως σε κανένα άλλο μάθημα μηχανικού δεν συναντάται. Σημαντικό μέρος της ύλης μάλιστα προέρχεται από ξενόγλωσση βιβλιογραφία –αφού αυτή θεμελιώθηκε στο εξωτερικό. Είναι δε τόσο μεγάλο το πλήθος των συμβόλων που στους επιστήμονες που το θεμελίωσαν δεν έφθασε το λατινικό αλφάβητο, οπότε έγινε ευρεία χρήση και του ελληνικού. Έτσι, συμβολίζονται διεθνώς με γράμματα του ελληνικού αλφαβήτου, η ορθή τάση με σ , η διατμητική με τ , η ορθή παραμόρφωση (ή ορθή τροπή) με ϵ , η διατμητική παραμόρφωση (ή διατμητική τροπή) με γ , οι γωνίες στροφής με θ ή φ , κ.λπ. Για την ορθή τάση σ για παράδειγμα υπάρχουν πάνω από 10 ακόμη όροι, όπως τάση αναλογίας, τάση διαρροής, τάση θραύσης, τάση επιτρεπόμενη, κ.λπ. Προβληματιστήκαμε έντονα για το αν οι χρησιμοποιούμενοι δείκτες που χαρακτηρίζουν αυτές, θα πρέπει να παραπέμπουν στην ελληνική ή στην ξενόγλωσση ορολογία. Η λογική ήταν πιο κοντά στην πρώτη επιλογή, αφού έτσι παραπέμπεται πιο εύκολα ο Έλληνας φοιτητής στην ελληνική ορολογία, όμως και η τελική απόφαση ήταν δύσκολη. Έτσι λοιπόν "το ρίξαμε στον κλήρο" και χρησιμοποιήσαμε τελικά τα ελληνικά σύμβολα, οπότε οι προαναφερθείσες τάσεις συμβολίστηκαν σ_A , σ_Δ , $\sigma_{\theta\theta}$, $\sigma_{\epsilon\pi}$.

| Αυτό όμως που δεν "παίχτηκε στον κλήρο", είναι η ποιότητα του περιεχομένου σε |
| **συνδυασμό με τον –όπως ήδη προαναφέραμε– συνολικό τρόπο παρουσίασής του.** |

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το βιβλίο αυτό "στήθηκε" με αποκλειστικό και καθοριστικό γνώμονα τον φοιτητή, προκειμένου να του καταστήσει το μάθημα φιλικό και ευχάριστο και με "απόκρυφο" στόχο –γιατί όχι;- να το αγαπήσει.

Ευχαριστίες:

Από την θέση αυτή, ο πρώτος εκ των συγγραφέων επιθυμεί να ευχαριστήσει θερμά όλους αυτούς που ενέπνευσαν παρότρυναν και στήριξαν τη συγγραφή του βιβλίου "τεχνική μηχανική – ΑΝΤΟΧΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ" και οι οποίοι αναφέρονται στους πρόλογους των διαφόρων εκδόσεών του. Ιδιαίτερη μνεία όμως θεωρεί ότι πρέπει να επαναληφθεί για τους Μ. Πατατούκου και Μ. Κουτσοδενδρή.

Για το παρόν, οι συγγραφείς ευχαριστούν θερμά τον Δρ. Κ. Καλκάνη για την υπομονή και τη συνεργασία του, καθώς έλεγξε τις λύσεις και τις απαντήσεις όλων των προβλημάτων του παρόντος. Ευχαριστούν επίσης και τους καθηγητές κ.κ. Γ. Τσαμασφύρο, Γ. Παπανικολάου, Σ. Ζαούτσο, Δ. Παύλου, Ε. Μουρατίδη και Π. Γκότση για τις εύστοχες υποδείξεις τους.

Σεπτέμβριος 2013

Οι συγγραφείς

ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Χρήσιμες Μαθηματικές Σχέσεις – Μηχανική Απαραμόρφωτου Στερεού

Πρόλογος – Συνοπτικά περιεχόμενα – Ευρετήριο παραρτήματος
Αλφαβητικό ευρετήριο όρων – Αλφαβητικό ευρετήριο κύριων ονομάτων
Ευρετήριο πινάκων – Ευρετήριο συμβόλων – Συνομογραφίες

Κεφ. 1

ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

1

Εισαγωγή – Ορθή και διατμητική τάση – Ορθή και διατμητική τροπή – Διάγραμμα $\sigma-\epsilon$ για εφελκυσμό – Διάγραμμα $\sigma-\epsilon$ για θλίψη – Πλαστική παραμόρφωση – Όλκιμη και ψαθυρή θραύση – Εξιδανικευμένη συμπεριφορά των υλικών – Στατική τάση θραύσης – Συνθήκες αντοχής των υλικών – Δυναμική τάση θραύσης–κόπωση
Περίληψη – Τυπολόγιο – 9 Παραδείγματα & Λυμένες Ασκήσεις – 4 Άλυτες Ασκήσεις

Κεφ. 2

ΑΞΟΝΙΚΟΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ – ΘΛΙΨΗ

37

Εισαγωγή – Νόμος του *Hooke* – Λόγος του *Poisson* – Εφελκυσμός λόγω ιδίου βάρους – Διαστασιολόγηση εφελκυσόμενης ράβδου – Διόγκωση εφελκυσόμενης ράβδου – Εφελκυσμός μεταβλητής διατομής – Θερμικές τάσεις – Υπεροστατικά προβλήματα εφελκυσμού – Μέθοδος της μετατόπισης – Ενέργεια παραμόρφωσης εφελκ. ράβδου – Τάσεις σε πλάγιες τομές – Συντελεστής συγκέντρωσης τάσεων
Περίληψη – Τυπολόγιο – 21 Παραδείγματα & Λυμένες Ασκήσεις – 59 Άλυτες Ασκήσεις

Κεφ. 3

ΑΠΛΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

87

Εισαγωγή – Ψαλιδισμός–επιφάνεια διάτμησης – Διατμητική καταπόνηση ήλου ή κοχλία – Καταπόνηση του ελάσματος – Υπολογισμός συγκολλήσεων – Υπολογισμός κοχλιών λόγω στρέψης
Περίληψη – Τυπολόγιο – 5 Παραδείγματα & Λυμένες Ασκήσεις – 11 Άλυτες Ασκήσεις

ΕΠΙΠΕΔΗ ΕΝΤΑΣΗ & ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ

107

Εισαγωγή – Πρόσημο των διατμητικών τάσεων – Στροφή του συστήματος αξόνων – Κύριες τάσεις–κύρια επίπεδα – Μέγιστη διατμητική τάση – Κύκλος *Mohr* για τις τάσεις – Καθαρή διάτμηση – Ανάλυση των παραμορφώσεων (τροπών) – Μηκυνσιόμετρα – Γενικευμένος νόμος *Hooke* στο επίπεδο – Σχέση των μέτρων ελαστικότητας E και G – Τροχιές των τάσεων ή ισοτασικές γραμμές
Περίληψη – Τυπολόγιο – 7 Παραδείγματα & Λυμένες Ασκήσεις – 16 Άλυτες Ασκήσεις

Κεφ. 5

ΛΕΠΤΟΤΟΙΧΑ ΔΟΧΕΙΑ ΠΙΕΣΗΣ

139

Εισαγωγή – Λεπτότοιχα κυλινδρικά δοχεία πίεσης – Σύνθετα δοχεία–ενδογενής πίεση – Σφαιρικά δοχεία πίεσης – Δοχεία διπλής καμπυλότητας – Κωνικά δοχεία πίεσης – Χονδρότοιχα κυλινδρικά δοχεία πίεσης
Περίληψη – Τυπολόγιο – 6 Παραδείγματα & Λυμένες Ασκήσεις – 9 Άλυτες Ασκήσεις

Κεφ. 6

ΡΟΠΕΣ ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ

165

Εισαγωγή – Κέντρο (βάρους) επιφάνειας – Ροπή αδράνειας επιφάνειας – Γινόμενο αδράνειας – Πολική ροπή αδράνειας – ροπή αντίστασης – Θεώρημα του *Steiner* – Στροφή του συστήματος αξόνων – Κύριοι άξονες–κύριες ροπές αδράνειας – Ροπές αδράνειας σύνθετης επιφάνειας – Έλλειψη αδράνειας – Τυποποιημένες διατομές ελασμάτων – Ροπές αδράνειας τρισδιάστατου σώματος
Περίληψη – Τυπολόγιο – 16 Παραδείγματα & Λυμένες Ασκήσεις – 9 Άλυτες Ασκήσεις

Κεφ. 7

ΣΤΡΕΨΗ

197

Εισαγωγή – Στρέψη ράβδου κυκλικής διατομής – Στρέψη κυκλικής μεταβλητής διατομής – Άτρακτοι μεταφοράς ισχύος – Υπερστατικά προβλήματα στρέψης – Στρέψη λεπτότοιχων κλειστών διατομών – Στρέψη κυψελωτής διατομής – Στρέψη διαφόρων κλειστών διατομών – Στρέψη ανοικτής λεπτότοιχης διατομής – Ενέργεια παραμόρφωσης λόγω στρέψης – Κύριες τάσεις - αστοχία λόγω στρέψης – Στρέψη και αξονική καταπόνηση – Συντελεστής συγκέντρωσης τάσεων
Περίληψη – Τυπολόγιο – 16 Παραδείγματα & Λυμένες Ασκήσεις – 27 Άλυτες Ασκήσεις

Κεφ. 8

ΚΑΜΨΗ

237

Εισαγωγή – Γενική ανάλυση της κάμψης – Κατανομή των ορθών τάσεων – Θεμελιώδης νόμος της κάμψης – Μέγιστες ορθές τάσεις - συνθήκες αντοχής – Συντελεστής εκμετάλλευσης διατομής – Κάμψη δοκού μεταβλητής διατομής – Οριζόντιο επίπεδο φόρτισης – Κάμψη δοκού με σύνθετη διατομή – Δοκοί οπλισμένου σκυροδέματος – Ενέργεια παραμόρφωσης λόγω κάμψης – Σύνθετες καταπονήσεις με κάμψη – Συντελεστής συγκέντρωσης τάσεων
Περίληψη – Τυπολόγιο – 14 Παραδείγματα & Λυμένες Ασκήσεις – 21 Άλυτες Ασκήσεις

ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΕΝΤΑΣΗ & ΤΡΟΠΗ

285

Εισαγωγή – Τάσεις στο χώρο–τανυστής των τάσεων – Τάσεις σε πλάγια τομή – Κύριες τάσεις και ακρότατες διατμητικές – Τανυστής τροπών (παραμορφώσεων) – Γενικευμένος νόμος *Hooke* στο χώρο – Σχέσεις μετατοπίσεων - τροπών – Τανυστές Σ , \mathbf{E} , \mathbf{I} – Τασική συνάρτηση του *Airy*
Περίληψη – Τυπολόγιο – 10 Παραδείγματα & Λυμένες Ασκήσεις – 19 Άλυτες Ασκήσεις

Κεφ. 10

ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΓΡΑΜΜΗ

313

Εισαγωγή – Διαφορική εξίσωση ελαστικής γραμμής – Οριακές συνθήκες–μέγιστο βέλος – Μέθοδος διπλής ολοκλήρωσης – Μέθοδος γενικευμένων συναρτήσεων – Μέθοδος επαλληλίας – Μέθοδος *Mohr*–συζυγής δοκός – Μέθοδος των εμβαδών του Δ.Ρ.Κ – Βέλος κάμψης σε δοκούς *Gerber* – Βέλος κάμψης σε πλαίσια – Βέλος λόγω τέμνουσας δύναμης – Βέλος δοκού μεταβλητής διατομής – Βέλος λόγω πληκτικού φορτίου – Βέλος λόγω διαφοράς θερμοκρασίας – Υπερστατικές δοκοί–μέθοδος γενικ. συναρτήσεων
Περίληψη – Τυπολόγιο – 18 Παραδείγματα & Λυμένες Ασκήσεις – 41 Άλυτες Ασκήσεις

Κεφ. 11

ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΚΑΜΨΗ

361

Εισαγωγή – Διατμητικές τάσεις καμπτόμενης δοκού – Διατμητικές τάσεις ορθογωνικής διατομής – Διατμητικές τάσεις διαφόρων διατομών – Κύριες τάσεις στην κάμψη – Διατμητικές τάσεις σε σύνθετες διατομές – Κέντρο διάτμησης – Διάτμηση σε κλειστή συμμετρική διατομή – Διάτμηση σε επάλληλες δοκούς – Διατμητικές τάσεις σε ενώσεις δοκών
Περίληψη – Τυπολόγιο – 8 Παραδείγματα & Λυμένες Ασκήσεις – 21 Άλυτες Ασκήσεις

Κεφ. 12

ΣΥΝΘΕΤΗ ΚΑΜΨΗ – ΕΚΚΕΝΤΡΟΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ

393

Εισαγωγή – Διπλή κάμψη συμμετρικής διατομής – Λοξή κάμψη συμμετρικής διατομής – Διπλή κάμψη ασύμμετρης διατομής – Εφελκυσμός απλής εκκεντρότητας – Εφελκυσμός διπλής εκκεντρότητας – Έκκεντρος εφελκ. ασύμμετρης διατομής – Πυρήνας της διατομής – Αδρανής περιοχή
Περίληψη – Τυπολόγιο – 15 Παραδείγματα & Λυμένες Ασκήσεις – 27 Άλυτες Ασκήσεις

Κεφ. 13

ΣΥΝΘΕΤΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ – ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ & ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ

433

Εισαγωγή – Εντατικά μεγέθη διατομής – Σχέση εντατικών μεγεθών και τάσεων – Σχεδιασμός φορέων–διστασιολόγηση – Κάμψη και διάτμηση – Αξονική καταπόνηση και στρέψη – Κάμψη και στρέψη – Αξονική δύναμη, κάμψη και στρέψη – Στρέψη, κάμψη και διάτμηση – Αξον. δύναμη, στρέψη, κάμψη, διάτμηση – Κριτήρια αστοχίας υλικών – Κριτήριο μέγιστης ορθής τάσης – Κριτήριο μέγιστης διατμητικής τάσης (*Tresca*) – Κριτήριο ενέργειας παραμόρφωσης – Κριτήριο στροφικής ενέργειας (*Mises*) – Κριτήριο *Mohr* – Μηχανικές ιδιότητες υλικών – Αναδίπλωση – Σκληρομέτρηση – Επίδραση συνθηκών περιβάλλοντος – Θερμική κατεργασία – Κύριες κατηγορίες δομικού χάλυβα
Περίληψη – Τυπολόγιο – 10 Παραδείγματα & Λυμένες Ασκήσεις – 22 Άλυτες Ασκήσεις

Κεφ. 14

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

483

Εισαγωγή – Ενέργεια εφελκόμενης ράβδου – Ενέργεια από ροπή κάμψης – Ενέργεια από ροπή στρέψης – Ενέργεια από τέμνουσα δύναμη – Ενέργεια παραμόρφωσης λόγω τάσεων – Ενέργεια σε σύνθετη καταπόνηση – Μετατόπιση του σημείου εφαρμ. φορτίου – Θεώρημα *Castigliano* – Γενίκευση θεωρήματος *Castigliano* – Αρχή των δυνατών έργων – Μέθοδος μοναδιαίου φορτίου – Γινόμενο ολοκληρωμάτων – Γενίκευση μεθόδου μοναδιαίου φορτίου – Υπολογισμός ειδικών παραμορφώσεων – Μετατοπίσεις σε χωρικούς φορείς
Περίληψη – Τυπολόγιο – 23 Παραδείγματα & Λυμένες Ασκήσεις – 47 Άλυτες Ασκήσεις

Κεφ. 15

ΥΠΕΡΣΤΑΤΙΚΕΣ ΔΟΚΟΙ

533

Εισαγωγή – Μέθοδος της ελαστικής γραμμής – Μέθοδος της επαλληλίας – Θεώρημα 3 ροπών ή μέθοδος *Clapeyron* – Γενίκευση θεωρήματος 3 ροπών – Μέθοδος εμβαδού του Δ.Ρ.Κ. – Μέθοδος *Castigliano* – Μέθοδος μοναδιαίου φορτίου – Μέθοδος των δυνάμεων ή ευκαμψίας – Μετατοπίσεις σε υπερστατικές δοκούς – Επίλυση υπερστατικών κατασκευών – Υπερστατικοί φορείς στο χώρο
Περίληψη – Τυπολόγιο – 25 Παραδείγματα & Λυμένες Ασκήσεις – 29 Άλυτες Ασκήσεις

Κεφ. 16

ΛΥΓΙΣΜΟΣ

585

Εισαγωγή – Περιπτώσεις λυγισμού – Λυγισμός αμφιαρθρωτού στύλου – Λυγισμός μονόπακτου στύλου – Λυγισμός αμφίπακτου στύλου – Λυγισμός πακτωμένου - αρθρωτού στύλου – Γενίκευση του τύπου *Euler* – Κρίσιμη τάση λυγισμού – τύπος του *Tetmajer* – Λυγισμός λόγω έκκεντρης θλίψης – Τύπος της τέμνουσας – Παραμορφώσεις στο λυγισμό – Μέθοδος των συντελεστών ω
Περίληψη – Τυπολόγιο – 9 Παραδείγματα & Λυμένες Ασκήσεις – 27 Άλυτες Ασκήσεις

Κεφ. 17

ΕΛΑΣΤΟΠΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

617

Εισαγωγή – Εφελκυσμός ελαστοπλαστικού υλικού – Στρέψη ελαστοπλαστικής ατράκτου – Αποφόρτιση ελαστοπλαστικής ατράκτου – Πλήρως πλαστική κάμψη διατομής – Πλαστική άρθρωση-κατάρρευση – Μερικώς πλαστική κάμψη
Περίληψη – Τυπολόγιο – 12 Παραδείγματα & Λυμένες Ασκήσεις – 25 Άλυτες Ασκήσεις

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΟΣ

ΜΕΡΟΣ Α': ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1	– Διεθνές σύστημα μονάδων (S.I.).....	Π-3
2	– Πολλαπλάσια και υποπολλαπλάσια μονάδων.....	Π-3
3	– Μετατροπές μονάδων τάσης.....	Π-3
4	– Φορτίσεις με γενικευμένες συναρτήσεις.....	Π-4
5.α	– Διαγράμματα [Q], [M] προβόλων.....	Π-5
5.β	– Διαγράμματα [Q], [M] αμφιέρειστων.....	Π-6
6	– Προσδιορισμός γεωμετρικών στοιχείων σύνθετης διατομής.....	Π-8
7	– Τυποποιημένες διατομές ελασμάτων του εμπορίου	
7.α	– Υψίκορμοι δοκοί I (διπλό ταυ).....	Π-9
7.β	– Πλατύπελμοι δοκοί IPB	Π-10
7.γ	– Δοκοί μορφής [(πι).....	Π-11
7.δ	– Δοκοί μορφής T (ταυ).....	Π-12
7.ε	– Ισοσκελή γωνιακά ελάσματα.....	Π-13
7.στ	– Ανισοσκελή γωνιακά ελάσματα.....	Π-14
7.ζ	– Δοκοί μορφής Z	Π-15
7.η	– Κοιλοδοκοί ορθογωνικής διατομής.....	Π-16
8	– Γεωμετρικά στοιχεία ειδικών διατομών.....	Π-18
9.α	– Βέλη κάμψης και κλίσεις: ΠΡΟΒΟΛΟΙ.....	Π-20
9.β	– Βέλη κάμψης και κλίσεις: ΑΜΦΙΕΡΕΙΣΤΕΣ.....	Π-22
10.α	– Επίλυση υπερστατικών δοκών: ΜΟΝΟΠΑΚΤΕΣ.....	Π-24
10.β	– Επίλυση υπερστατικών δοκών: ΑΜΦΙΠΑΚΤΕΣ.....	Π-25
10.γ	– Επίλυση υπερστατικών δοκών: ΔΟΚΟΙ 3 ΣΤΗΡΙΞΕΩΝ.....	Π-26

ΜΕΡΟΣ Β'

– Απαντήσεις άλυτων ασκήσεων.....	Π-27
– 57 άλυτα θέματα (με τις απαντήσεις τους).....	Π-35
– Βιβλιογραφία.....	Π-46

ΑΛΦΑΒΗΤΙΚΟ ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΟΡΩΝ

A

Αδρανής περιοχή-----	420
Ακρότατη διατμητική τάση-----	114, 295
Ακτίνα καμπυλότητας καμπτόμενης δοκού -----	245
αδράνειας επιφάνειας-----	170
Ανάστροφος πίνακας-----	298
Ανηγμένη επιμήκυνση (ή ορθή τροπή)-----	14, 39
επιβράχυνση -----	41
γωνία στροφής -----	201
Αμοιβαιότητα των διατμητικών τάσεων-----	110, 291
Ανισότροπο υλικό -----	6
Αξονική καταπόνηση -----	33, 39, 40
Αξονική δύναμη -----	10
Αξονική ροπή αδράνειας-----	170
Αξονική ροπή αντίστασης -----	173
Αποκλίνων τανυστής-----	300
Αποφόρτιση ελαστοπλαστικής ατράκτου-----	626
<i>Αρχή δράσης-αντίδρασης</i> -----	8
<i>Αρχή επαλληλίας</i> -----	7
<i>Αρχή Saint-Venant</i> -----	7
Αστοχία υλικών -----	24
Άτρακτοι μεταφοράς ισχύος -----	210
Αυτεντατική κατάσταση (Γεωμετρικός καταναγκασμός) -----	54, 58

B

Βαθμός αοριστίας (υπερστατικότητας) -	58, 212, 347
Βέλος κάμψης (ή βύθιση) δοκού -----	316
σε πλαίσια -----	338
λόγω διαφοράς θερμοκρασίας ---	346
λόγω πληκτικού φορτίου -----	345
λόγω τέμνουσας δύναμης -----	342
δοκού μεταβλητής διατομής-----	344
Βρόγχος υστέρησης -----	20

Γ

Γενικ. νόμος <i>Hooke</i> στο επίπεδο - χώρο ----	126-290
Γενική εντατική κατάσταση -----	109
Γεωμετρικός καταναγκασμός-----	58
Γινόμενο αδράνειας (ή φυγόκεντρη ροπή αδρ.) -	172
Γινόμενο ολοκληρωμάτων-----	508, 558, 559
Γραμμές <i>Liiders</i> -----	17, 67
Γραμμικά ελαστικό υλικό -----	16
Γωνία διάτμησης (ολίσθησης)-----	15, 42, 120, 294
Γωνία στροφής-----	245, 201
Γωνία κύριων (επιπέδων) τάσεων-----	113, 292
αξόνων (αδράνειας)-----	178
Γωνιακή παραμόρφωση (στρέβλωση)-----	15, 90

Δ

Δείκτης τομής -----	66, 110, 290
Δευτεροβάθμια ροπή αδράνειας -----	170
Διάγραμμα ελεύθερου σώματος (Δ.Ε.Σ.) -----	8
Διάγραμμα σ-ε σε εφελκυσμό - θλίψη-----	16 - 19
Διάνυσμα τάσης -----	290, 352
Διαρμονική εξίσωση-----	302
Διαρροή -----	17, 621, 628
Διαστασιολόγηση-----	25, 48, 354
Διάτμηση -----	6, 89, 364
καθαρή-----	119
ήλου και κοιλία-----	74
Διατμητικές τάσεις καμπτόμενης δοκού -----	364
Διατμητική παραμόρφωση (διατμητική τροπή)----	364
Διατμητική ροπή-----	215, 277
Διατομές ελασμάτων (τυποποιημένες) -----	184, 681
Διαφορική εξίσωση ελαστικής γραμμής-----	316
Διαφορική εξίσωση τροχιών τάσεων -----	129
Διόγκωση, ανηγμένη-----	50, 290, 297

Διόγκωση εφελκυσμένης ράβδου-----	50
Διπλή κάμψη -----	256, 396, 400
Δίσκος-----	5
Δοκός οπλισμένου σκυροδέματος σε κάμψη ----	260
σύνθετη σε κάμψη -----	258
συζυγής (<i>Μοητ</i>) -----	330
Δοχεία πίεσης λεπτότοιχα -----	141
διπλής καμπυλότητας ----	146
κωνικά-----	149
κυλινδρικά-----	142
κυλινδρικά σύνθετα -----	144
σφαιρικά -----	145
χονδρότοιχα κυλινδρικά -----	150
σύνθετα-----	151
Δύναμη αξονική-----	10, 40
διατμητική (ή τέμνουσα)-----	12, 89, 364
Δυναμική καταπόνηση -----	28

E

Εγκάρσια παραμόρφωση-----	45
Είδη καταπονήσεων -----	6
Είδη τάσεων -----	10
παραμορφώσεων (τροπών) -----	14
φορέων -----	5
φορτίων -----	4
Ειδικές παραμορφώσεις-----	518
Ειδική ενέργεια παραμόρφωσης -----	486
Έκκεντρος εφελκυσμός -----	395, 404, 406, 410
Έκκεντρος λυγισμός -----	599
Εκκεντρότητα-----	405, 599
Ελαστική γραμμή -----	315
Μέθοδος διπλής ολοκλήρωσης -----	320
Μέθοδος γενικευμένων συναρτήσεων -----	324
Μέθοδος επαλληλίας -----	328
Μέθοδος γινομένου ολοκληρωμάτων -----	330
Μέθοδος των εμβαδών του Δ.Ρ.Κ. -----	333

Ελαστικότητα -----	3
Ελαστοπλαστικός εφελκυσμός-----	621
Ελαστοπλαστική στρέψη-----	623
κάμψη (πλήρως) -----	628
κάμψη (μερικώς) -----	634
Έλλειψη αδράνειας -----	184
Ενδογενής πίεση -----	144
Ενέργεια παραμόρφωσης σε εφελκυσμό ---	65, 486
σε κάμψη-----	264, 489
σε στρέψη-----	222, 490
Εντατική μονοαξονική κατάσταση-----	12, 40
επίπεδη κατάσταση -----	12, 109
Εξιδανικευμένη συμπεριφορά υλικών -----	22
Εξισώσεις ισορροπίας στο χώρο-----	301
<i>Lamé</i> -----	150
Εξίσωση συμβιβαστού των μετατοπίσεων -----	58, 302
Επίπεδα κύριων τάσεων-----	113, 292
Επίπεδο ακρότατων διατμητικών τάσεων----	114, 293
Επίπεδο φόρτισης καμπ. δοκού κατακόρυφο----	243
οριζόντιο -----	256
Ερπυσμός -----	21
Εφελκυσμός μονοαξονικός – διαξονικός ---	39 - 112
λόγω πληκτικού φορτίου -----	345

Θ

Θεμελιώδης νόμος της κάμψης -----	244
Θερμικές τάσεις -----	54, 55
Θεώρημα Castigliano -----	495, 500, 554
<i>Clapeyron</i> (β ροπών)-----	542, 548
<i>Steiner</i> (παράλληλου άξονα)-----	174
<i>Varignon</i> -----	8
<i>Πάππου</i> -----	167
Θεωρία συνολικής αντοχής σκυροδέματος-----	262
Θλίψη -----	6, 39
Θραύση όλκιμη – ψαθυρή -----	20

I

Ισοδύναμο μέτρο ελαστικότητας	126
Ισοδύναμο στατικό φορτίο	7
Ισοδύναμος λόγος <i>Poisson</i>	126
Ισοστάθμιση αντοχών σε κάμψη	240
Ισοστάθμιση αντοχών οπλισμένου σκυροδ.	262
Ισότροπο υλικό	6

K

Καθαρή διάτμηση	119
Κάμψη	239
γενική	240
διπλή	256, 396, 400
καθαρή	240
λοξή	398
Κανόνας αμοιβαιότητας διατμητικών τάσεων	110, 291
δεξιάς παλάμης – τριών δακτύλων	241
Κατανομή ορθών τάσεων (σε κάμψη)	242
Κατάρρευση ελαστοπλαστικής δοκού	632
Κέντρο (βάρους) επιφάνειας	166
διάτμησης (επιφάνειας)	376
πίεσης (π.χ. θλιβόμενης) επιφάνειας	405
Κόπωση	28
Κριτήρια αστοχίας υλικών	435
Κριτήριο μέγιστης ορθής τάσης	452
μέγιστης ορθής παραμόρφωσης	453
μέγιστης διατμητικής τάσης (<i>Tresca</i>)	454
στροφικής ενέργειας (<i>Mises</i>)	458
<i>Mohr</i>	461
Κύκλος <i>Mohr</i> τάσεων	116
Κύριο επίπεδο τάσεων	113, 122
Κύριες τάσεις	113, 292
παραμορφώσεις (τροπές)	122, 295
Κύριοι άξονες αδράνειας επιφάνειας	142
Κύριες ροπές αδράνειας	142
ακτίνες αδράνειας	184

A

Λεπτότοιχα δοχεία πίεσης	142
Λόγος εκκεντρότητας (στον έκκεντρο λυγισμό)	601
Λόγος <i>Poisson</i>	45
Λυγηρότητα	596
Λυγισμός	587
αμφιαρθρωτής	589
αμφίπακτης	593
έκκεντρος	599
μονόπακτης	592

M

Μέγιστη διατμητική τάση	114, 293
Μέγιστο βέλος κάμψης	319
Μέθοδος δυνάμεων	59
οριακής αντοχής	620
(συνιστωσών) της μετατόπισης	59, 62
Μετατόπιση	14, 298
Μέτρο ελαστικότητας ή μέτρο <i>Young</i>	40, 41
διάτμησης (ή ολίσθησης)	42, 200
δυστρεψίας	202
διόγκωσης	51
δυσκαμψίας	316
Μηκυνσιόμετρα	125
Μηχανικές ιδιότητες υλικών	57

N

Νόμος Hooke στον άξονα	40, 42
στο επίπεδο	126
στο χώρο	290

O

Ολκιμότητα	17, 19, 20
Ομογενές υλικό	6
Οριακές συνθήκες στήριξης δοκού	319

<i>Όριο</i> αναλογίας-----	16
άνω και κάτω όριο διαρροής -----	16
ελαστικότητας – θραύσης -----	16 - 20
Ουδέτερη γραμμή---	243, 256, 396, 404, 406, 412
Ουδέτερο επίπεδο-----	241
Ουδέτερος άξονας -----	241

Π

Παραδοχές ελαστικής γραμμής -----	316
ισχύος του νόμου του <i>Hooke</i> -----	40
κάμψης (<i>Bernoulli</i>) -----	241
στρέψης -----	200
<i>Παραμένουσες</i> πλαστ. παραμορφ. ατράκτου-----	626
δοκού-----	635
Παραμορφώσεις επίπεδες -----	120
στο χώρο-----	294, 295
<i>Παραμόρφωση</i> (ή τροπή) ορθή – γωνιακή ---	14, 90
διατμητική -----	15, 120
ελαστική – πλαστική-----	3, 19
Πείραμα εφελκυσμού – θλίψης-----	16 - 19
Περιβάλλουσα διατομής-----	416
Πλαστικότητα – ελαστικότητα -----	3
<i>Πολική</i> ροπή αδράνειας -----	173
ροπή αντίστασης -----	173
Πρόταση <i>Cauchy</i> -----	110
Πρωτοβάθμια (στατική) ροπή επιφάνειας -----	166
Πυκνότητα ενέργειας παραμόρφωσης-----	487
Πυρήνας διατομής -----	416

P

Ροζέτα μηκυνσιόμετρων -----	125
<i>Ροπή αδράνειας</i> (αξονική)-----	170
σύνθετης επιφάνειας-----	180
αντίστασης επιφάνειας -----	173
<i>Ροπή διαρροής</i> (σε κάμψη) διατομής -----	628
(σε στρέψη) διατομής-----	623

Ροπή πολική αδράνειας επιφάνειας-----	173
Ροπή κάμψης-----	240, 256, 396
<i>Ροπή κατάρρευσης</i> (σε κάμψη) διατομής-----	629
(σε στρέψη) διατομής -----	624
Ροπή στρέψης-----	199

Σ

Σταθερά εγκάρσιας παραμόρφ. (λόγος <i>Poisson</i>) --	45
Στατική ροπή (επιφάνειας)-----	166
Στατικό ύψος δοκού σκυροδέματος -----	260
<i>Στρέψη</i> -----	199
ανοικτής λεπτότοιχης διατομής -----	220
κλειστής λεπτότοιχης διατομής -----	214
κλειστών διατομών (και ορθογωνικής) -	218
κυκλικής διατομής -----	201
κυκλικής μεταβλητής διατομής -----	205
κυψελωτής διατομής -----	216
Συνημίτονα κατεύθυνσης-----	288
Συμπεριφορά υλικών ψαθυρή – όλκιμη -----	20
Συγκόλληση ελασμάτων-----	97
Συμπληρωματικό έργο (ενέργεια) παραμόρφ. ---	486
Συνεχές υλικό-----	6
Συνεκτικά υλικά -----	20
Σύνθετη άτρακτος σε στρέψη-----	205
Σύνθετη δοκός σε κάμψη -----	258
Σύνθετη καταπόνηση-----	6, 435
Συνθήκη αμοιβαιότητας διατμητικών τάσεων	110, 291
<i>Συνθήκες</i> αντοχής-----	24, 247
συμβιβαστότητας -----	298
συνέχειας της ελαστικής γραμμής-----	320
<i>Συντελεστής</i> εκμετάλλευσης διατομής σε κάμψη	254
ασφαλείας-----	24
θερμικής διαστολής-----	54
<i>συγκέντρωσης τάσεων</i> σε εφελκυσμό -----	68
σε κάμψη – σε στρέψη -----	272 - 224
σχήματος f_s (λόγω τέμνουσας) -----	342

κατάρρευσης f διατομής ελαστοπλ. δοκού--	630
Σχέσεις μετατοπίσεων--παραμορφώσεων -----	298
παραμορφώσεων--τάσεων -----	126, 296
τάσεων--παραμορφώσεων -----	126, 296

T

Τανυστής τάσεων -----	288
ανάστροφος -----	298
αποκλίνων -----	300
παραμορφώσεων (τροπών) -----	294
περιστροφών -----	298
ροπών αδράνειας επιφάνειας -----	300
Τάση -----	150
ακτινική -----	150
διαμήκης -----	142, 150
διαρροής -----	16, 621, 623, 628
διατμητική -----	42, 199, 363
δυναμική -----	28
έδρασης (ή πίεσης επιφανείας) -----	94
επιτρεπόμενη ορθή -- διατμητική -----	24 - 93
θερμική -----	54
θραύσης (στατική) -----	23
κάμψης -----	242, 244
κρίσιμη λυγισμού -----	596
κύριες -----	113, 292
ορθή -----	10, 40, 242
περιφερειακή -----	142, 150
συμπληρωματική -----	67
σύνθλιψης (ή πίεσης επιφανείας) -----	94
Τασική συνάρτηση <i>Airy</i> -----	300
Τμήση (απότμηση -- ψαλιδισμός) -----	90
Τροχιές τάσεων -----	129, 301
Τροπή (παραμόρφωση) -----	14, 36, 294
διατμητική -----	120
ορθή -----	14
Τύπος της τέμνουσας -----	600

του <i>Euler</i> (λυγισμού) -----	595
του <i>Swain</i> -----	410
του <i>Tetmajer</i> -----	596

Υ

Υδροστατική πίεση -----	50, 239
Υπερστατικά προβλ. εφελκυσμού -- στρέψης	57 - 212
Υπερστατικές δοκοί -----	347, 437, 535
Μέθοδος της ελαστικής γραμμής -----	347, 438
Μέθοδος της επαλληλίας -----	440
Μέθοδος <i>Clapeyron</i> (ή 3 ροπών) -----	444
Μέθοδος εμβαδού του Δ.Ρ.Κ. -----	454
Μέθοδος <i>Castigliano</i> -----	456
Μέθοδος μοναδιαίου φορτίου -----	460
Μέθοδος των δυνάμεων (ή ευκαμψίας) -----	464

Φ

Φαινόμενο <i>Bauschinger</i> -----	21
Φορτία εναλλασσόμενα -----	5, 28
ημιστατικά -- μόνιμα -----	5
κατανεμημένα -- συγκεντρωμένα -----	4
κρουσικά (πληκτικά) -----	5, 345
Φορτικοί συντελεστές -----	544, 546
Φυγόκεντρη ροπή αδράνειας (γινόμενο αδρ.) -----	172
Φυσικές ιδότητες κάλυβα σε διαρροή -----	22

Χ

Χαλάρωση -----	21
Χαρακτ. διάνυσμα ροπής κάμψης -----	241, 398, 400
ροπής στρέψης -----	199
Χονδρότοιχα κυλινδρικά δοχεία πίεσης -----	150

Ψ

Ψαθυρή θραύση -----	20
Ψαλιδισμός (απότμηση) -----	91

ΑΛΦΑΒΗΤΙΚΟ ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΚΥΡΙΩΝ ΟΝΟΜΑΤΩΝ

Airy:	Τασική συνάρτηση του Airy	302	Mohr:	Μέθοδος Mohr (συζυγής δοκός)	330
Bauschinger:	Φαινόμενο Bauschinger	21	Mohr:	Ολοκληρώματα Mohr (γινόμενο ολοκληρωμάτων)	508 558
Bernoulli:	Υπόθεση για επιπεδότητα διατομών στην κάμψη	241	Mohs:	Σκληρομετρική κλίμακα	469
Brinell:	Δοκιμή σκληρομέτρησης	468	Poisson:	Λόγος του Poisson ν Ισοδύναμος λόγος Poisson ν'	45 126
Castigliano:	Θεώρημα Castigliano	495 500 554	Rockwell:	Δοκιμή σκληρομέτρησης	469
Cauchy:	Πρόταση Cauchy (αμοιβαιότητα των διατμητικών τάσεων)	110 291	Saint Venant:	Εξισώσεις Saint Venant	298 301
Clapeyron:	Μέθοδος Clapeyron (θεώρ. 3 ροπών) Ανηγμένο μήκος Clapeyron l'	542 548	Smith:	Διάγραμμα κόπωσης κατά Smith	29
Euler:	Τύπος του Euler στο λυγισμό Γωνία Euler στον έκκεντρο λυγισμό	595 601	Steiner:	Θεώρ. Steiner (παρ/λου άξονα)	174
Gerber:	Δοκός Gerber	337	Swain:	Τύπος του Swain στον έκκεντρο εφελκυσμό	410
Hooke:	Νόμος Hooke	40 126 290	Tetmajer:	Τύπος του Tetmajer στο λυγισμό Συντελεστής Tetmajer B (για αναδίπλωση)	596 467
Lamé':	Εξισώσεις Lamé'	150	Tresca:	Κριτήριο Tresca αστοχίας υλικών	454
Lüders:	Γραμμές Lüders	17 67	Varignon:	Θεώρημα Varignon	8
Macaley:	Μέθοδος Macaley (γενικευμένων ή ιδιόμορφων συναρτήσεων)	324 536	Vickers:	Δοκιμή σκληρομέτρησης	468
Mises:	Κριτήριο Von Mises αστοχίας υλικών	458	Wöhler:	Καμπύλες κόπωσης κατά Wöhler	28
Mohr:	Κριτήριο αστοχίας κατά Mohr	461	Young:	Μέτρο Young Ισοδύναμο μέτρο ελαστικότητας	40 41 126
Mohr:	Κύκλος Mohr (τάσεων)	116	Πάππου:	Θεωρήματα Πάππου	167

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1	– Επιτρεπόμενη τάση κάλυβα για υπολογισμούς κατηγορίας I, II26
Πίνακας 1.2	– Δυναμική αντοχή σ_u διαφόρων υλικών29
Πίνακας 2.1	– Μέτρο διόγκωσης K_p διαφόρων υλικών50
Πίνακας 2.2	– Μηχανικές ιδιότητες συνήθων υλικών51
(Σχ. 2.25)	– Συντελεστής συγκέντρωσης τάσεων σε εφελκυσμό69
Πίνακας 3.1	– Επιτρεπόμενη διατμητική τάση $\tau_{επ}$ [MPa]93
Πίνακας 6.1	– Προσδιορισμός κεντροβ. συστ. K_{xy} σύνθετης διατομής και υπολογισμός των I_x, I_y, I_{xy}183
Πίνακας 6.2	– Γεωμετρικά στοιχεία συνήθων διατομών186
Πίνακας 7.1	– Συντελεστές για στρέψη ορθογωνικής διατομής219
(Σχ. 7.26)	– Συντελεστής συγκέντρωσης τάσεων σε στρέψη225
(Σχ. 8.13)	– Απλές περιπτώσεις φόρτισης και M_{max}247
(Σχ. 8.14)	– Διπλά συμμετρικές διατομές με τον αντίστοιχο συντελεστή εκμετάλλευσης254
(Σχ. 8.31)	– Συντελεστής συγκέντρωσης τάσεων σε κάμψη273
(Σχ. 9.14)	– Αντιστοιχίες τάσεων–παραμορφώσεων–ροπών αδράνειας 300, 179, 244
Πίνακας 10.1	– Βέλη κάμψης και κλίσεις σε προβόλους και αμφιέρειστες δοκούς322
(Σχ. 10.9)	– Η $M(x)$ με γενικευμένες (ή ιδιόμορφες) συναρτήσεις ανάλογα με τον τρόπο φόρτισης324
(Σχ. 10.17)	– Αποστάσεις του Κ.Β. σε διαγράμματα $[M]$334
(Σχ. 10.22)	– Συντελεστής σχήματος (ή μορφής f_s λόγω τέμνουσας δύναμης)342
(Σχ. α έως ε)	– Πυρήνας διαφόρων διατομών 418, 419
Πίνακας 13.1	– Τα είδη των απλών καταπονήσεων, οι τάσεις, οι παραμορφώσεις και η σχέση μεταξύ τους462
Πίνακας 13.2	– Τα κυριότερα κριτήρια αστοχίας υλικών463
Πίνακας 13.3	– Σκληρομετρική κλίμακα <i>Mohs</i>469
(Σχ. 14.4)	– Διάφορες τιμές της ενέργειας παραμόρφωσης U 265, 489
Πίνακας 14.1	– Τιμές γινομένων ολοκληρωμάτων512
Πίνακας 15.1	– Συντελεστές φόρτισης L και R (μεθόδου <i>Clapeyron</i>)546
(Σχ. 16.9)	– Ανηγμένο μήκος λυγισμού ℓ_a για τις τέσσερις περιπτώσεις στήριξης595
Πίνακας 16.1	– Λυγηρότητα ελαστικού και πλαστικού λυγισμού597
(Σχ. 16.14)	– Γραφική επίλυση του τύπου της τέμνουσας για <i>St 37</i> , λόγω έκκεντρης θλίψης600
Πίνακας 16.2	– Συντελεστές λυγισμού ω606
Πίνακας 16.3	– Συντελεστές λυγισμού ω για κάλυβες, κατά <i>DIN 4114</i>607
Πίνακας 17.1	– Συντελεστές κατάρρευσης διατομής (f , λόγω πλαστικής κάμψης)630



*Η δύναμη της φύσης
πιερεί να ελευθερι-
σεί τη δύναμη της γνώσης*

ISBN 978-960-85431-8-8



9 789608 543188