



Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας
Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Μηχανικών Σχεδίασης Προϊόντων & Συστημάτων



Τεχνική Μηχανική

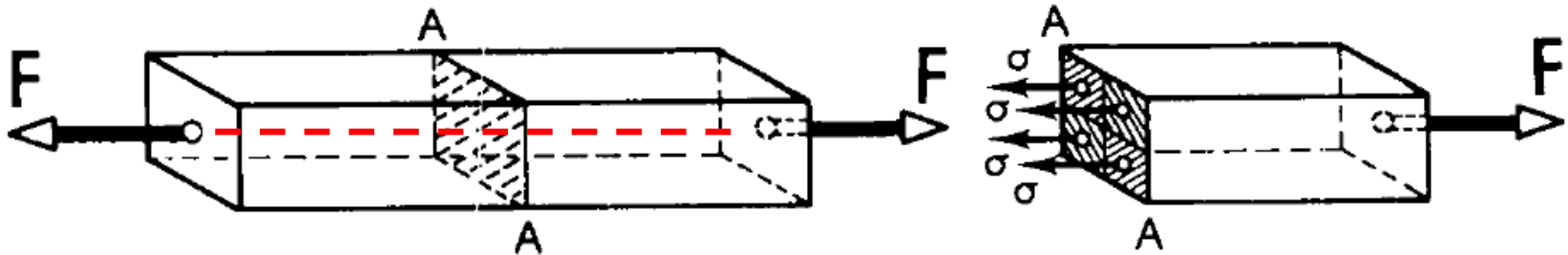
Μέρος Β - Αντοχή Υλικών

Εφελκυσμός – Θλίψη - Διάτμηση

Άνθιμος Σ. ΑΝΑΣΤΑΣΙΑΔΗΣ
Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, EurIng

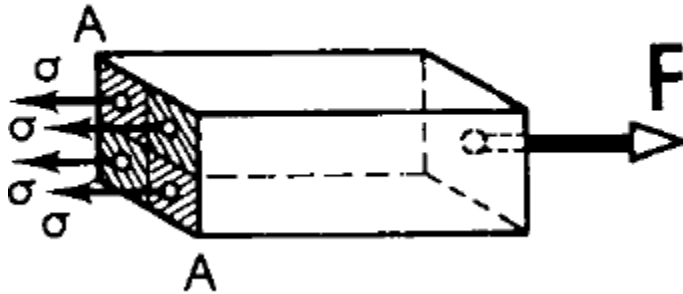
1. Εφελκυσμός-Θλίψη

(α) Τάσεις



Εφελκυσμός: Ένα στοιχείο καταπονείται σε εφελκυσμό, όταν στον άξονα του ασκούνται δύο ίσες και αντίρροπες δυνάμεις οι οποίες οδηγούν σε αύξηση του μήκους και σε μείωση της αρχικής διατομής.

Θλίψη: Ένα στοιχείο καταπονείται σε θλίψη, όταν στον άξονα του ασκούνται δύο ίσες και αντίρροπες δυνάμεις οι οποίες οδηγούν σε μείωση του μήκους και σε διόγκωση της αρχικής διατομής. [υπό την προϋπόθεση ότι αυτό δεν υφίσταται λυγισμό].



$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Συνηθίζεται να συμβολίζεται ως θετικός (+) ο εφελκυσμός, **+F** και αρνητική (-) η θλίψη, **-F**.

Οι δυνάμεις **ασκούνται στον κεντροβαρικό άξονα**,
ως εκ τούτου αναφερόμαστε σε:

Αξονικό Εφελκυσμό.

Αξονική Θλίψη.

Ο εφελκυσμός και η θλίψη προκαλούν ορθές τάσεις.

Λαμβάνοντας υπόψη την αρχική σχέση θεωρείται ότι προκύπτουν **3 πρακτικά προβλήματα** κατά τον σχεδιασμό δομικών στοιχείων στην συγκεκριμένη καταπόνηση.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$



(1) Διαστασιολόγηση [σχεδιασμός]

$$A = \frac{F}{\sigma_{\text{επ}}}$$

Γνωρίζοντας την δύναμη που καταπονεί το στοιχείο και την οριακή ή επιτρεπόμενη τάση του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένο το δομικό στοιχείο αναζητούμε τις διαστάσεις του.

(2) Έλεγχος φέρουσας ικανότητας

$$\sigma_{\text{υπ.}} = \frac{F_{\text{υπ.}}}{A_{\text{υπ.}}} (\leq \sigma_{\text{επ.}})$$

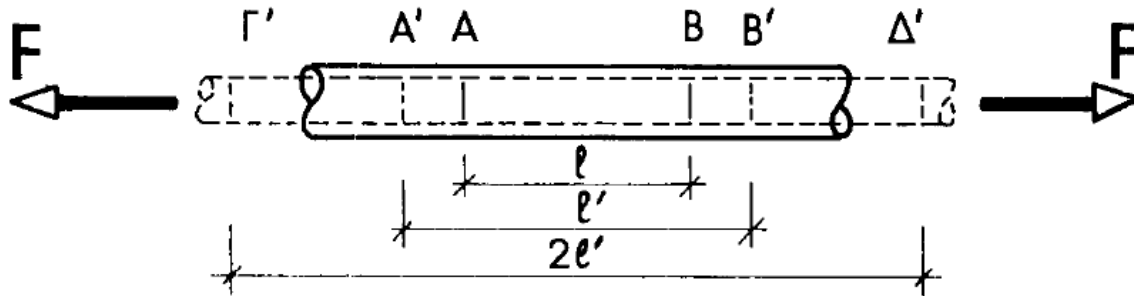
Γνωρίζοντας την δύναμη που καταπονεί το στοιχείο και τις γεωμετρικές διαστάσεις, ελέγχουμε εάν οι τάσεις που ασκούνται σε αυτό είναι μικρότερες [στατική επάρκεια] ή μεγαλύτερης από τις οριακές ή επιτρεπόμενες τάσεις [αστοχία].

(3) Ικανότητα φόρτισης [ανασχεδιασμός]

$$F_{\text{max}} = \sigma_{\text{επ.}} \cdot A_{\text{υπ.}}$$

Γνωρίζοντας τις γεωμετρικές διαστάσεις του στοιχείου και την οριακή ή επιτρεπόμενη τάση του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένο το στοιχείο, υπολογίζουμε την μέγιστη καταπόνηση που αυτό μπορεί να παραλάβει.

(β) Παραμορφώσεις



Ο εφελκυσμός και η θλίψη προκαλούν αξονικές παραμορφώσεις [μηκύνσεις, βραχύνσεις].

$$\sigma = \frac{F}{A} = \epsilon E$$

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

$$\Delta l = \frac{F \cdot l}{A \cdot E}$$

l = Μήκος ράβδου // E = Μέτρο ελαστικότητας // A = Εμβαδόν διατομής
 Δl = Μήκυνση // ϵ = Αξονική παραμόρφωση

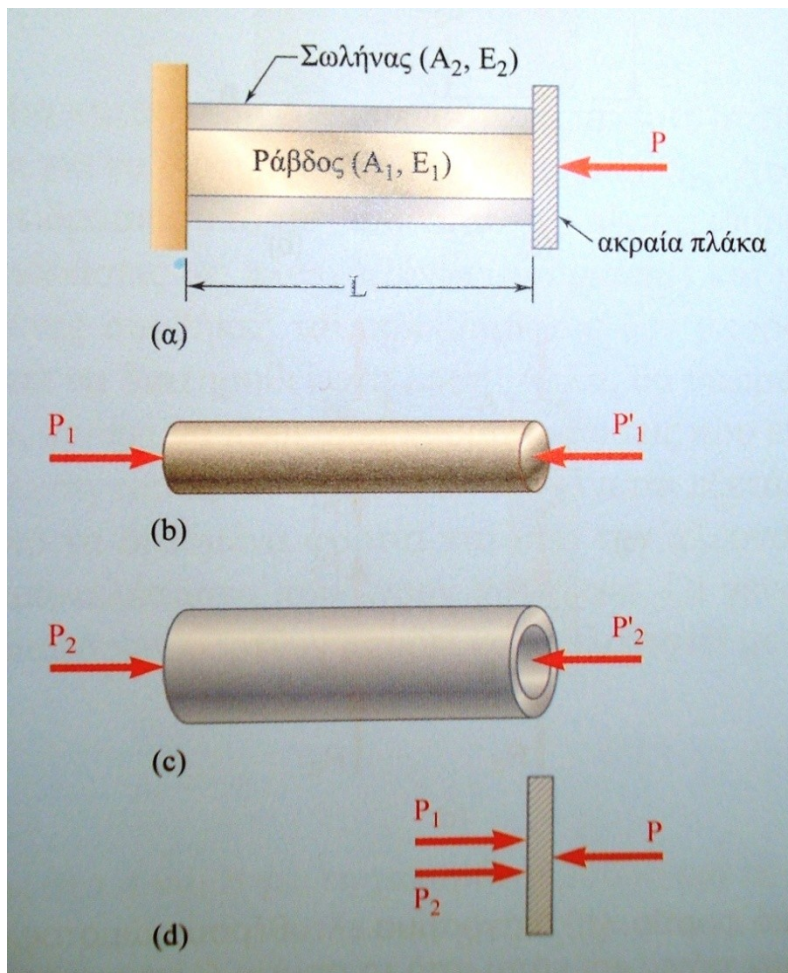
2. Υπερστατικά προβλήματα

Στις περιπτώσεις όπου για την επίλυση του τεχνικού προβλήματος **δεν επαρκούν** οι **εξισώσεις ισορροπίας** προκειμένου να προσδιοριστούν οι εσωτερικές δυνάμεις [φορτία διατομής/εντατικά μεγέθη], τότε **οι προαναφερόμενες εξισώσεις συμπληρώνονται και με τις σχέσεις μεταξύ των παραμορφώσεων.**

Αυτό συμβαίνει διότι ο φορέας **διαθέτει περισσότερες στηρίξεις** από ότι απαιτείται προκειμένου να ισορροπήσει.

Αυτοί οι φορείς ονομάζονται **υπερστατικοί.**

Γενικά οι υπερστατικοί φορείς χρησιμοποιούνται περισσότερο επειδή παρέχουν μεγαλύτερη ασφάλεια έναντι των ισοστατικών, διότι εμπεριέχουν πλεονάζουσες στηρίξεις, όπου στην περίπτωση αστοχίας αυτές ενεργοποιούνται, εξασφαλίζοντας τον φορέα έναντι πρόωρης αστοχίας.



$$P_1 + P_2 = P$$

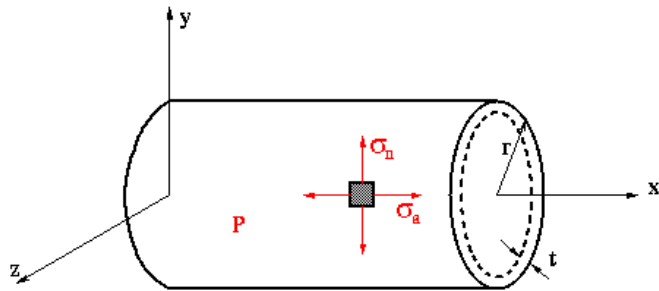
$$\delta_1 = \frac{P_1 L}{A_1 E_1} \quad \delta_2 = \frac{P_2 L}{A_2 E_2}$$

Η ράβδος και ο σωλήνας συνδέονται κατά τέτοιο τρόπο έτσι ώστε έχουν ίση μετακίνηση.

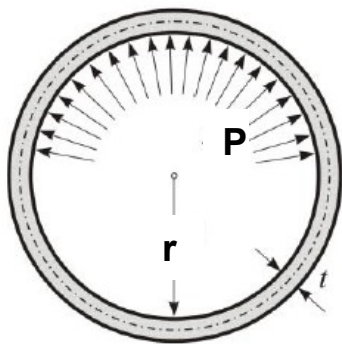
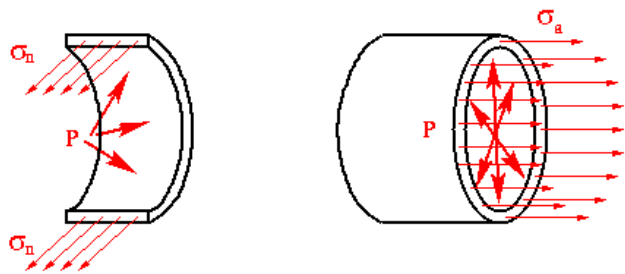
$$\frac{P_1}{A_1 E_1} = \frac{P_2}{A_2 E_2}$$

$$P_1 = \frac{A_1 E_1 P}{A_1 E_1 + A_2 E_2} \quad P_2 = \frac{A_2 E_2 P}{A_1 E_1 + A_2 E_2}$$

3. Αξονικές δυνάμεις σε κυλινδρικά δοχεία



P = εσωτερική πίεση



Εφαπτομενική τάση

$$\sigma_n = \frac{Pr}{t}$$

Αξονική τάση

$$\sigma_a = \frac{Pr}{2t}$$

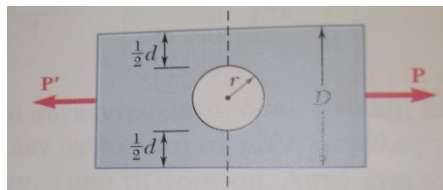
P = εσωτερική πίεση

t = πάχος δοχείου

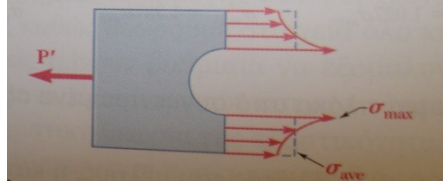
r = ακτίνα

4. Συγκέντρωση τάσεων

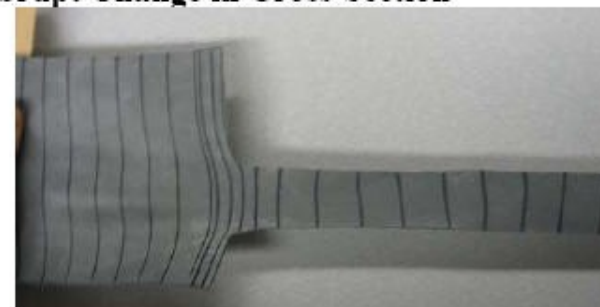
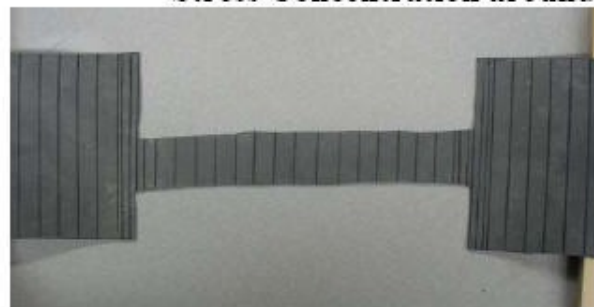
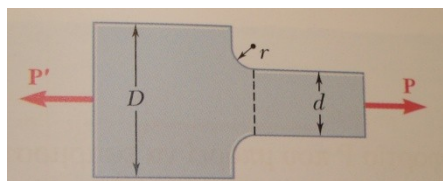
Stress Concentration at Point Load



Stress Concentration around Hole

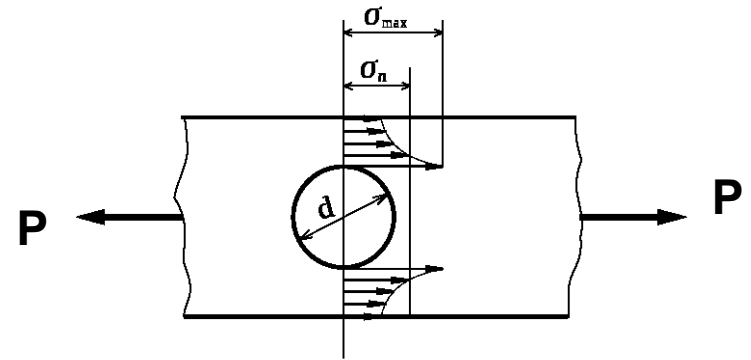


Stress Concentration around Abrupt Change in Cross-Section

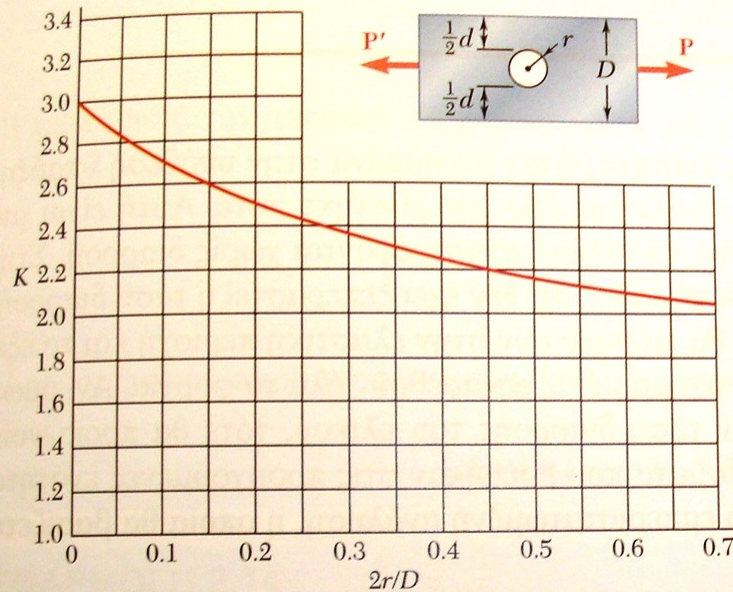


<https://me-mechanicalengineering.com/saint-venants-principle>

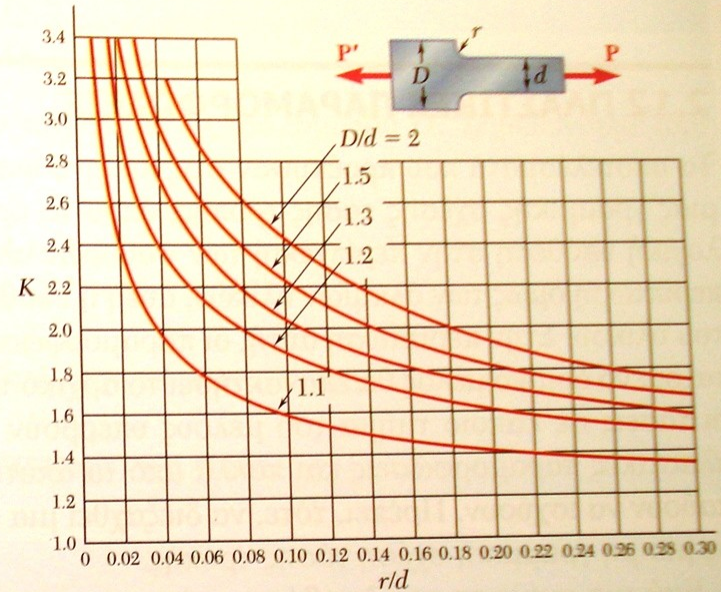
$$\sigma = K (P/A)$$



Η συγκέντρωση τάσεων προκαλεί αύξηση της ιαυσις

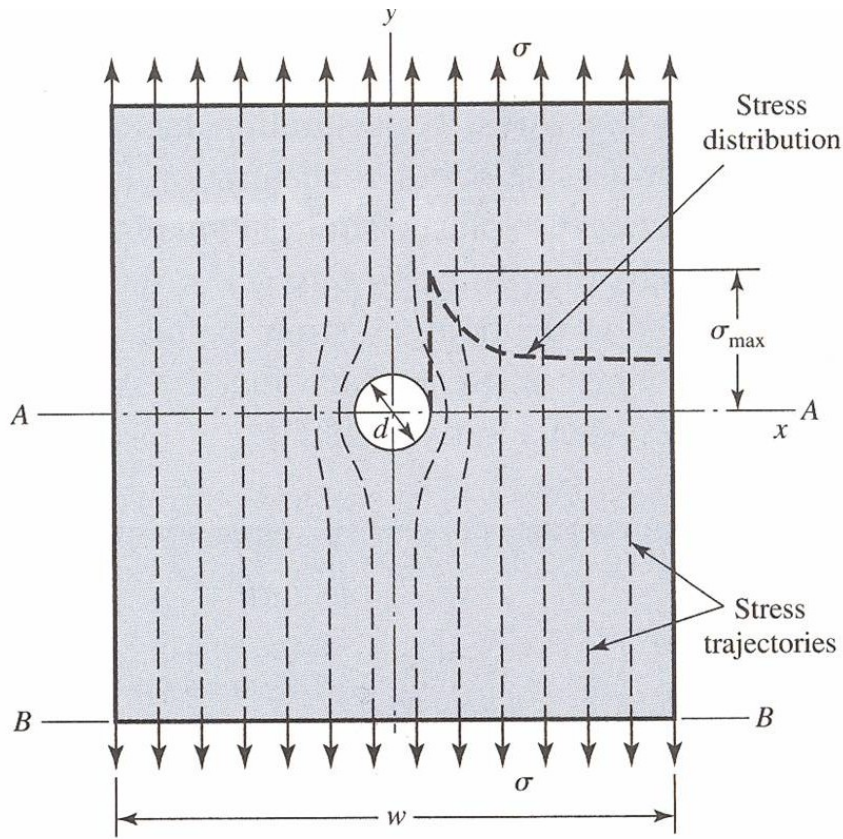


(a) Επίπεδα ελάσματα με οπές



(b) Επίπεδα ελάσματα με καμπύλες προσαρμογής

Συντελεστές συγκέντρωσης τάσεων για επίπεδα ελάσματα υπό αξονική φόρτιση. Σημειώστε ότι η μέση τάση πρέπει να υπολογιστεί στη στενότερη διατομή: $\sigma_{ave} = P/t d$, όπου t είναι το πάχος του ελάσματος. (Πηγή: W. D. Pilkey and D.F. Pilkey, *Peterson's Stress Concentration Factors*, 3rd ed., John Wiley & Sons, New York, 2008.)



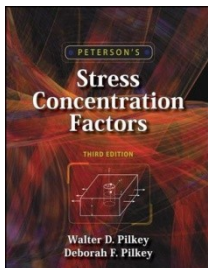
$$\sigma = K_t (P/A)$$

Μέγιστη ορθή τάση
στοιχείου με την οπή

$$K_t = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_0} \quad K_{ts} = \frac{\tau_{\max}}{\tau_0}$$

για διατμητικές τάσεις

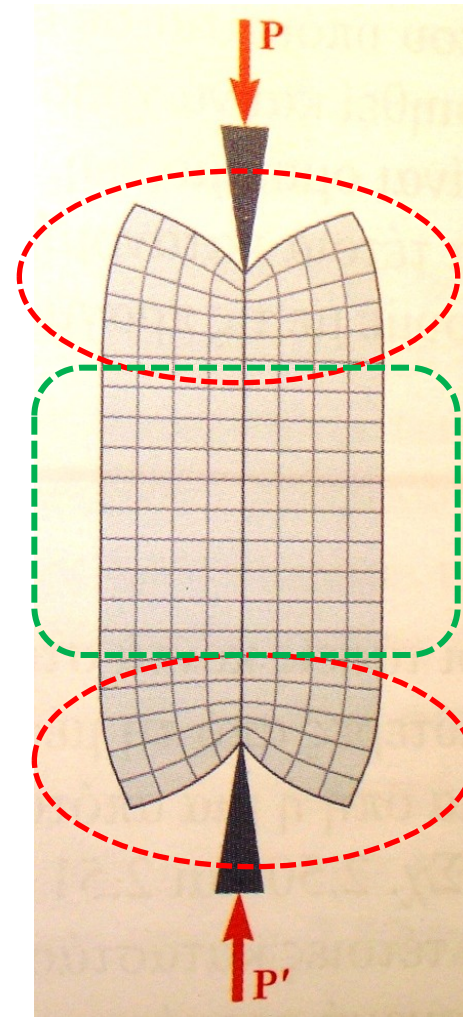
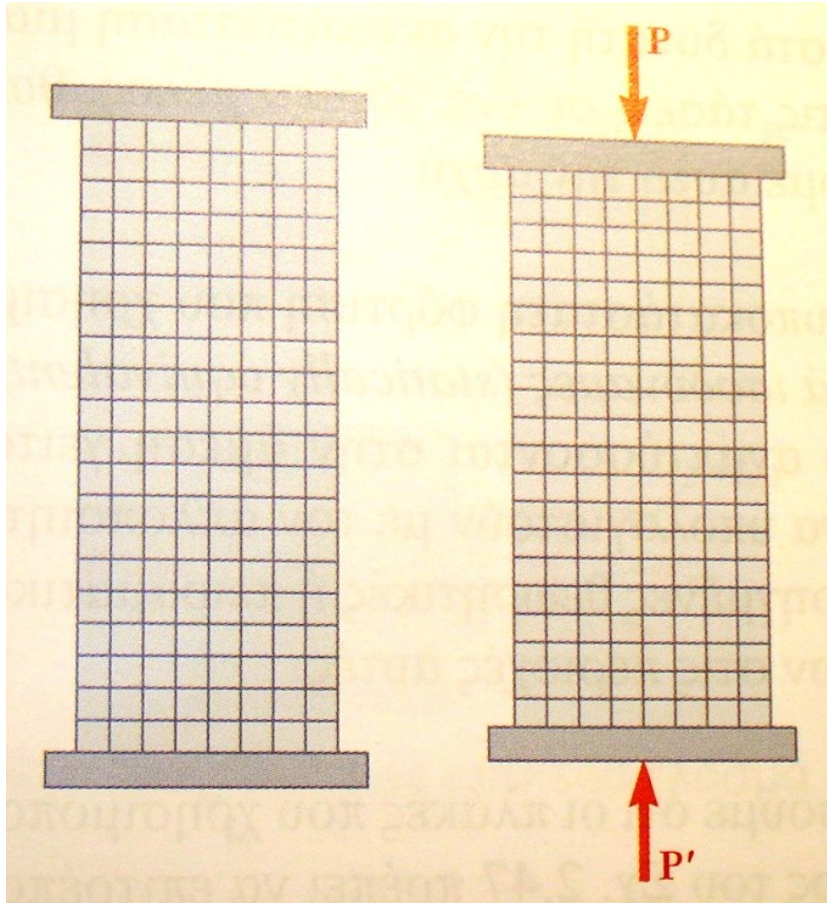
Μέγιστη ορθή τάση
στοιχείου χωρίς την οπή

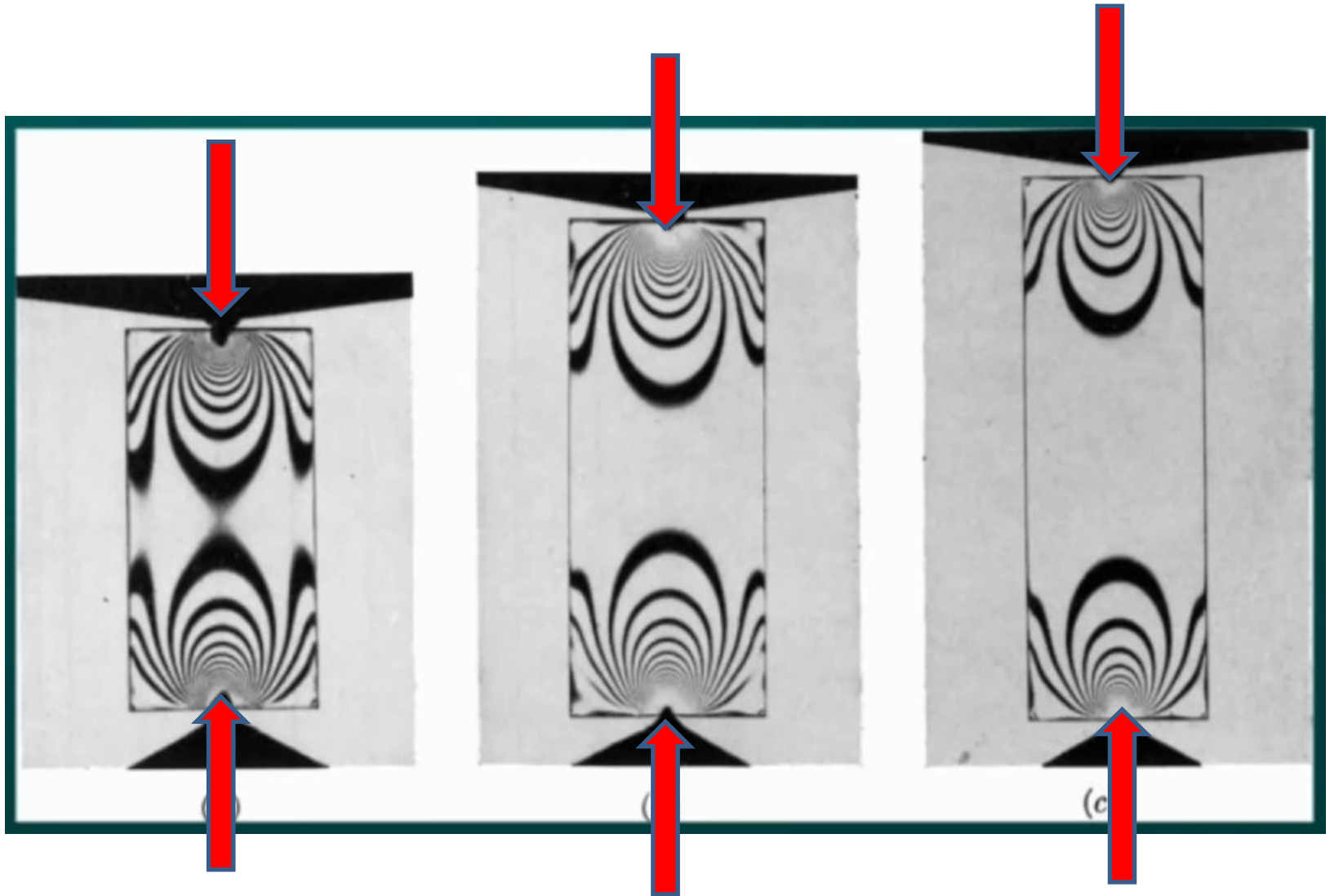


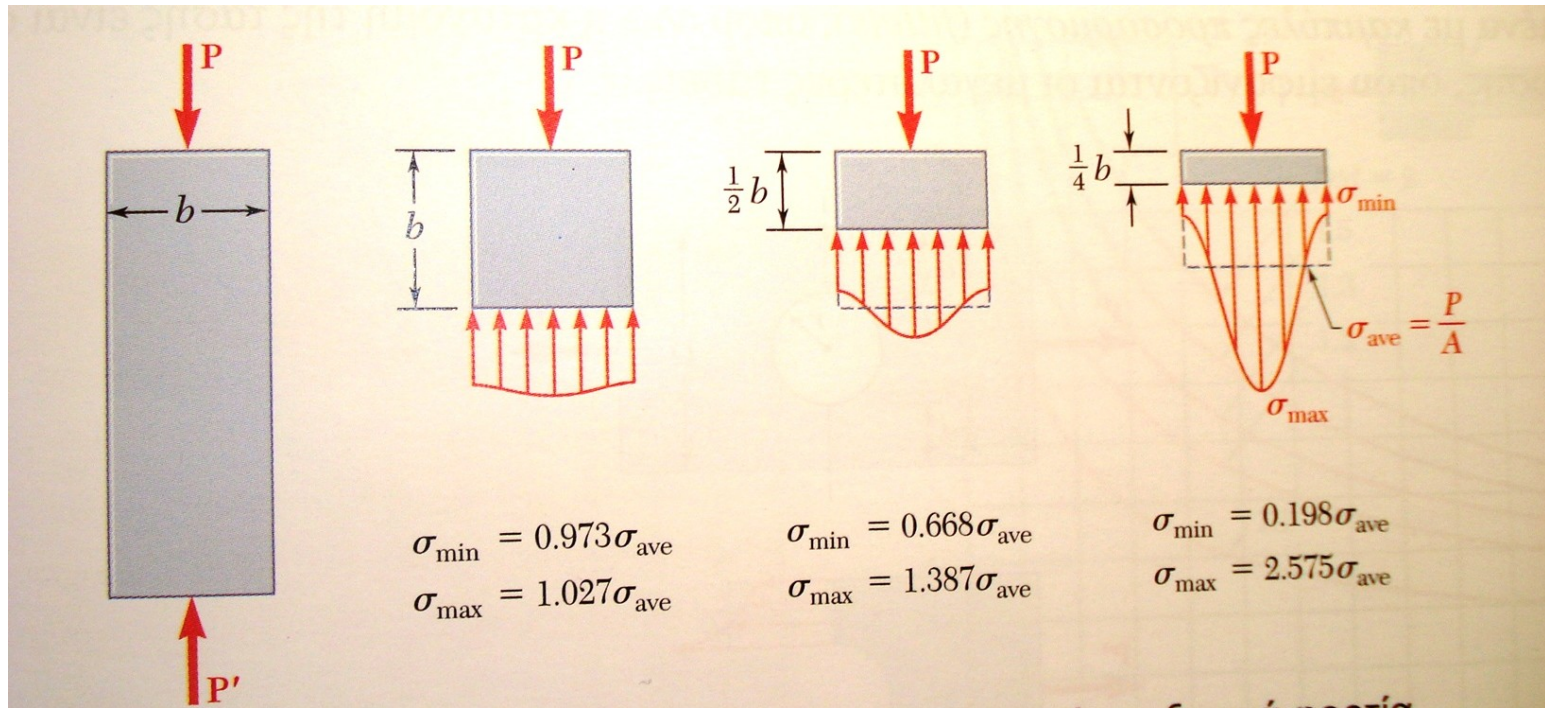
Peterson's Stress Concentration Factors, 3rd Edition

<https://www.wiley.com/en-us/Peterson%27s+Stress+Concentration+Factors%2C+3rd+Edition-p-9780470048245>

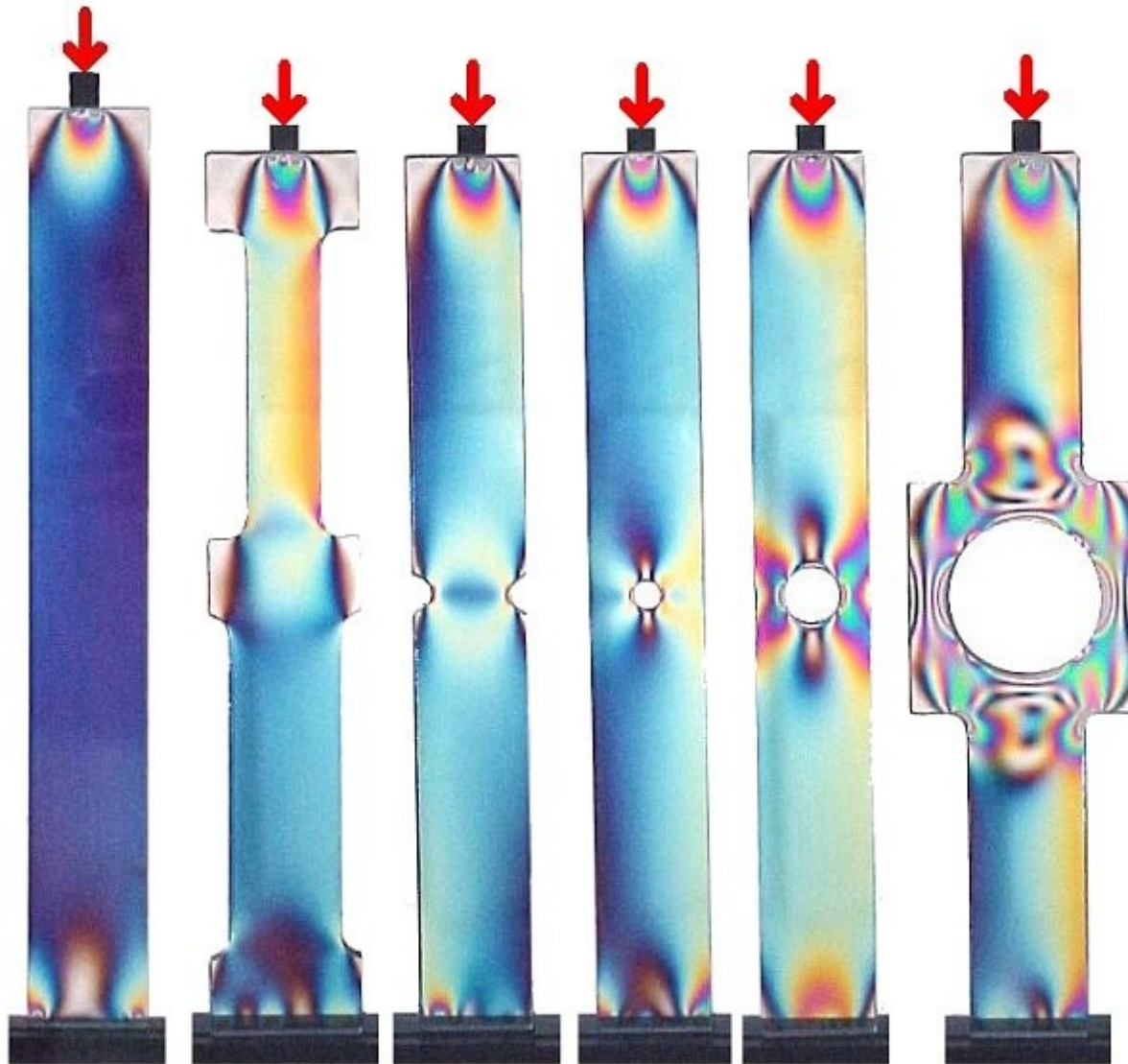
5. Κατανομή τάσης υπό αξονική φόρτιση





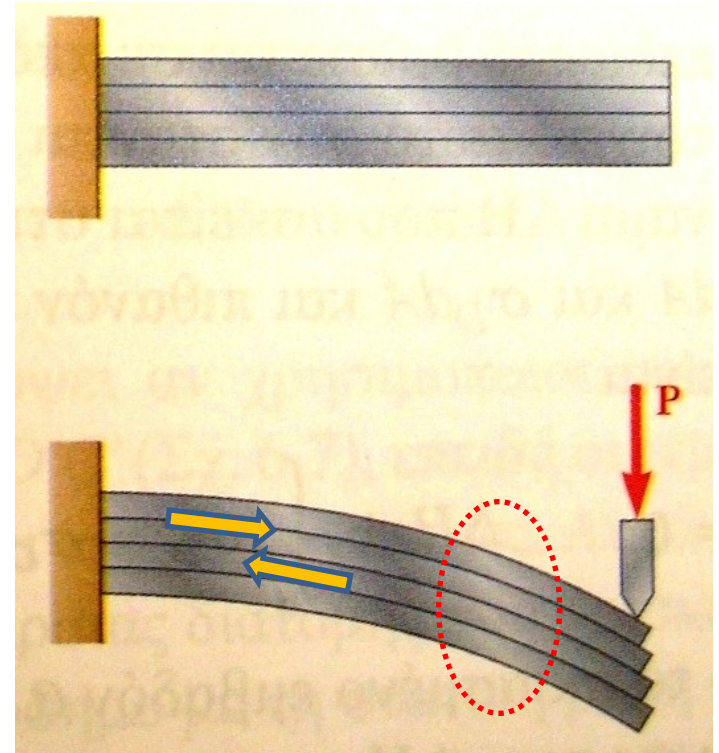
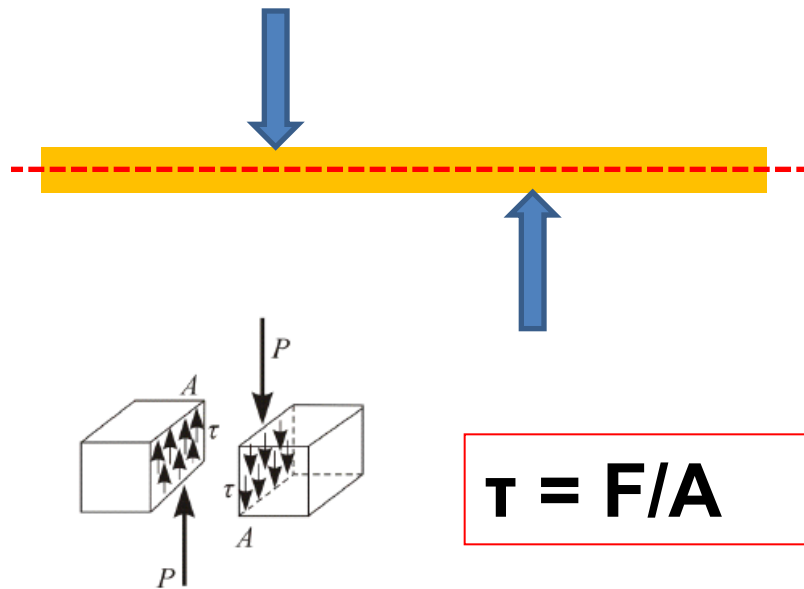


Εκτός από την άμεση γειτονία των σημείων εφαρμογή των φορτίων ισχύει ότι "Αν κάποια κατανομή δυνάμεων που δρα σε μια περιοχή της επιφάνειας ενός σώματος, αντικατασταθεί από μια διαφορετική κατανομή δυνάμεων, που δρα στην ίδια περιοχή του σώματος, και οι δυο κατανομές αυτές είναι στατικά ισοδύναμες, τότε οι επιδράσεις των δυο διαφορετικών κατανομών, πάνω σε τμήματα του σώματος απομακρυσμένα αρκετά από την περιοχή εφαρμογής των κατανομών, είναι ουσιαστικά ίδιες." Αρχή του *Saint-Venant* [1797-1886]



https://classes.mst.edu/civeng120/lessons/flexure/elastic/saint_venant/index.html

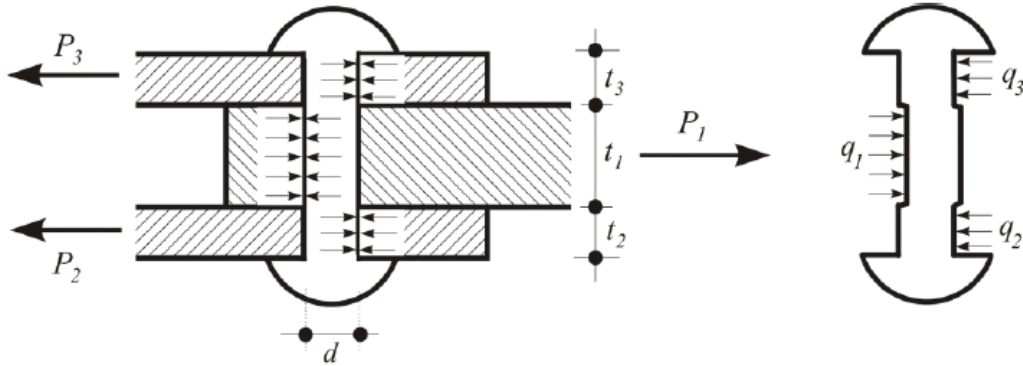
6. Διάτμηση



Διάτμηση από κάμψη

Διάτμηση: Ένα στοιχείο καταπονείται σε διάτμηση, όταν κάθετα στον άξονα του ασκούνται δύο ίσες και αντίρροπες δυνάμεις οι οποίες οδηγούν σε τμήση ή σε ολίσθηση της αρχικής διατομής.

Παράδειγμα: Σύνθλιψη άντυγος

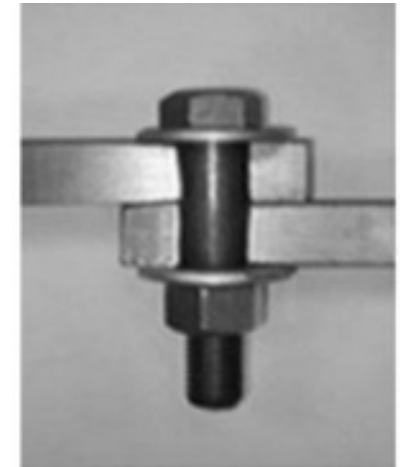


$$F = t \cdot d$$

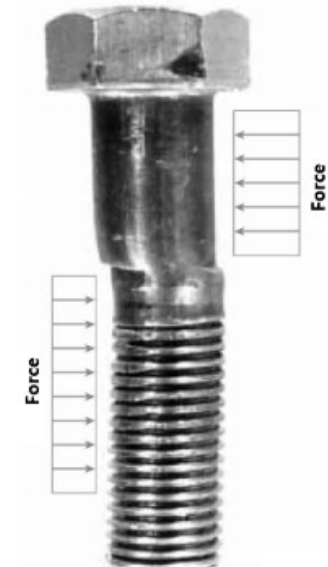
Τάσεις σύνθλιψης άντυγος

$$q_1 = \frac{P_1}{F_1} = \frac{P_1}{t_1 \cdot d}$$

$$q_2 = q_3 = \frac{P_1}{2F_2} = \frac{P_1}{2t_2 \cdot d}$$



Ενδεικτική κατασκευή.
Δεν ταυτίζεται με το
διπλανό σχήμα



<https://www.quora.com/What-is-a-shear-and-a-torsion>

Φ.Λόκκας. Αρχές και μέθοδοι στην αντοχή υλικών. Λάρισα. 2003

7. Παράμετροι σχεδιασμού

Εφελκυσμός – Θλίψη - Διάτμηση

Γεωμετρικά χαρακτηριστικά

Εμβαδόν διατομής

Μήκος στοιχείου

Μηχανικά χαρακτηριστικά

Μέτρο ελαστικότητας

Μέτρο διάτμησης

Λόγος Poisson

Όριο διαρροής

Όριο θραύσης

Όριο διατμητικής τάσης

Παραμόρφωση

Σημείωμα Αναφοράς σε έργα Τρίτων

Βιβλιογραφία

1. Beer F., Johnston E.R., Mazurek D.: Τεχνική Μηχανική-Στατική. Εκδόσεις Τζιόλα. Έκδ. 11^η 2019, [κωδ. Εύδοξος 59421317].
2. Gere J., Goodno B.: Αντοχή Υλικών. Εκδόσεις Τζιόλα. Έκδ. 9^η 2021, [κωδ. Εύδοξος 86055253].
3. Nash W.: Στατική και Μηχανική των Υλικών. Εκδόσεις Τζιόλα. Έκδ. 1^η 2002, [κωδ. Εύδοξος 18549012].
4. Π.Α. Βουθούνης: Τεχνική Μηχανική. Εκδόσεις Α. Βουθούνη. Έκδ. 10^η 2019, [ISBN 978-618-83280-4-4].
5. F.P. Beer, E.R. Johnston Jr., J.T. Wolf, D.F. Mazuerk: Μηχανική των Υλικών. Εκδόσεις Τζιόλα. Έκδ. 2012-2019. [ISBN: 978-960-418-381-4]. Ελληνική μετάφραση.
6. Π.Α. Βουθούνης: Στατική-Μηχανική του απαραμόρφωτου στερεού. Εκδόσεις Α. Βουθούνη. Έκδ. 6^η 2017, [ISBN 978-618-83280-1-3].
7. Π.Α. Βουθούνης: Αντοχή των Υλικών-Μηχανική του παραμορφώσιμου στερεού. Εκδόσεις Α. Βουθούνη. Έκδ. 4^η 2019, [ISBN 978-618-83280-3-7].
8. Μ. Ματσιοκούδη-Ηλιοπούλου: Τεχνική Μηχανική: Αρχές Στατικής και Εισαγωγή στην Θεωρία των Παραμορφώσιμων Σωμάτων. Εκδόσεις Ζυγός. Έκδοση 1991/2016. [ISBN13: 97896080652533], [κωδ. Εύδοξος 1753].
9. Γ. Γκρός. Μηχανική. Τόμος Α. Ευγενείδιο Ίδρυμα, 1976.

Σημείωμα αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας.

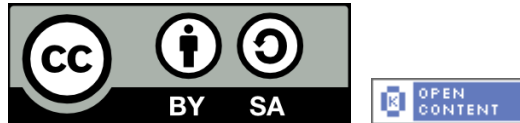
Άνθιμος Σ. Αναστασιάδης. «Τεχνική Μηχανική: Στατική και Αντοχή Υλικών». Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας. Πολυτεχνική Σχολή. Τμήμα Μηχανικών Σχεδίασης Προϊόντων & Συστημάτων. Έκδοση 4^η , Κοζάνη, 2024.

Διαθέσιμο από την διαδικτυακή διεύθυνση:

<https://eclass.uowm.gr/courses/MRE250/>

Σημείωμα αδειοδότησης

Το παρόν εκαπιδευτικό υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Παρόμοια Διανομή [<https://creativecommons.org/>] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να περιλαμβάνει τα παρακάτω:

- ❖ Σημείωμα Αναφοράς
- ❖ Σημείωμα Αδειοδότησης
- ❖ Δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- ❖ Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει), μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

Τέλος Ενότητας

Εφελκυσμός – Θλίψη - Διάτμηση

