

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΜΑ:

**ΕΡΩΤΟΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΜΕ ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ ΘΕΜΑΤΩΝ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:

ΒΑΣΙΛΕΙΑΔΗΣ ΛΑΖΑΡΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

ΤΣΟΡΜΠΑΤΖΙΔΗΣ ΑΝΕΣΤΗΣ

ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ

2015

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ:

**ΕΡΩΤΟΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΜΕ ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ ΘΕΜΑΤΩΝ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:

ΒΑΣΙΛΕΙΑΔΗΣ ΛΑΖΑΡΟΣ

A.M: 4310

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ:

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σήμερα η Αντοχή των Υλικών,

Βοηθούμενη από τη Θεωρία της Ελαστικότητας για σύντομη ανάλυση και περιγραφή των διαφόρων φαινομένων, έχει αναπτύξει σχετικά απλές αναλυτικές μεθόδους, οι οποίες βοηθούν το Μηχανικό να επιλύσει με ικανοποιητική ακρίβεια μία σειρά από τεχνικά προβλήματα που συναντώνται στην πράξη.

Η Αντοχή των Υλικών από πρακτική άποψη, έχει σαν αντικείμενο:

- i. Να προσδιορίσει τα επικίνδυνα όρια φόρτισης των διαφόρων υλικών σε όλα τα είδη των καταπονήσεων και στη συνέχεια, να καθορίσει τα επιτρεπτά όρια φόρτισης για κάθε ένα είδος φόρτισης ξεχωριστά.
- ii. Να καθορίσει το πλέον κατάλληλο σχήμα των φορέων και στη συνέχεια να υπολογίσει τις διαστάσεις τους, έτσι ώστε αυτοί να είναι σε θέση να παραλάβουν με ασφάλεια και συγχρόνως κατά τον οικονομικότερο δυνατό τρόπο τη φόρτιση, η οποία είναι δυνατόν να προέρχεται:
 - a) Από εξωτερικές δυνάμεις.
 - b) Από καταπονήσεις που προέρχονται από θερμοκρασιακές μεταβολές.
 - c) Από το ίδιο βάρος του φορέα ή της κατασκευής.
- iii. Να υπολογίσει το μέγιστο δυνατό φορτίο το οποίο μπορεί με ασφάλεια να αναλάβει ένας φορέας ή μία κατασκευή και να ελέγξει, κατά πόσο αυτός είναι ασφαλής έναντι δεδομένης φόρτισης, ή τέλος να ελέγξει κατά πόσο οι προκληθείσες παραμορφώσεις βρίσκονται εντός των παραδεκτών ορίων.

Για αρχή θα δούμε τα περιεχόμενα, έπειτα υπάρχουν 7(εφτά) κεφάλαια, τα οποία χωρίζονται σε υποκεφάλαια και εμπεριέχουν αρκετό θεωρητικό υλικό και ερωτοαπαντήσεις της Αντοχής Υλικών, ακολουθεί στη συνέχεια η βιβλιογραφία.

ABSTRACT

Today, Strength of Materials, supported by the Theory of Elasticity for short analysis and description of various phenomena, has developed relatively simple analytic methods that help Engineers to solve with satisfactory precision a number of related technical problems that are met into practice.

Strength of Materials from practical opinion, aims to:

- i. Determine the stress and strain acting on a structure and the permissible limits of stress that can be sustained by various materials that form the structure in all types of loading conditions.
- ii. Determine the most suitable shape and geometric characteristics of the structure and calculate their dimensions, so that the structure can be in a position to receive with safety all the loading and also to be an designed as a light and economic structure to emanate :
 - a) From exterior forces.
 - b) From strain that emanate from internal strains due to temperature changes.
 - c) From its own weight of the structure.
- iii. Calculate the biggest possible loads that can with safety undertaken by the structure and check the permissible limits.

This study work, consists of seven chapters, which are separated into sections and sub-sections (shown in the table of contents), includes enough theoretical material to provide a thorough understanding of the subject of Strength of Materials and a questionnaire with explanations and answers, followed by a bibliography.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το ερωτηματολόγιο αυτό γράφτηκε για να καλύψει τις ανάγκες των όλων ενδιαφερόντων αλλά είναι κατάλληλο και χρήσιμο και για τους σπουδαστές των σχολών ΑΕΝ/Μηχανικών που θέλουν να κατανοήσουν εύκολα και γρήγορα τα βασικά στοιχεία της Αντοχής Υλικών και των εφαρμογών τους.

Σε όλο το εγχειρίδιο έγινε μεγάλη προσπάθεια για την απλοποίησή του και την αποφυγή εξειδικευμένων λεπτομεριών, έτσι ώστε να αποτελέσει βοήθημα για όλους.

Για την βοήθεια πραγμάτωσης της πτυχιακής μου εργασίας με θέμα "ΕΡΩΤΟΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΜΕ ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ ΘΕΜΑΤΩΝ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ" θέλω θερμά να ευχαριστήσω πρώτα από όλα τον Διευθυντή της σχολής Μηχανικών και την Διοίκηση της Α.Ε.Ν. Μακεδονίας, για την ευκαιρία που μου δόθηκε να εκπονήσω την πτυχιακή μου στην σχολή. Ευχαριστώ τον καθηγητή Κο Τσορπατζίδα Ανέστη, για την αμέριστη βοήθεια και κατεύθυνση που μου παρείχε όλο το διάστημα της υλοποίησης της πτυχιακής.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ABSTRACT	4
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	5
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	6
 Κεφάλαιο 1 ^ο - ΕΙΣΑΓΩΓΗ	
1.1 Εισαγωγή	8
1.2 Βασικές έννοιες - Αντοχής Υλικών.....	9
1.3 Στοιχεία μηχανών - Αντοχής Υλικών.....	10
1.4 Τυπολόγιο - Αντοχής Υλικών	11
 Κεφάλαιο 2 ^ο - ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΡΙ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ	
2.1 Εισαγωγή	12
2.2 Εφελκυσμός και πειράματα εφελκυσμού.....	13
2.3 Τάσεις εφελκυσμού	14
2.4 Επιτρεπόμενη τάση εφελκυσμού.....	16
2.5 Συντελεστής ασφαλείας για τον εφελκυσμό	16
2.6 Σχέση εφελκυσμού	17
2.7 Εφαρμογές της σχέσεως εφελκυσμού	17
2.8 Παραμορφώσεις εφελκυσμού	19
 Κεφάλαιο 3 ^ο - ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΡΙ ΘΛΙΨΕΩΣ	
3.1 Εισαγωγή	21
3.2 Θλίψη και πειράματα θλίψεως.....	22
3.3 Τάσεις στη θλίψη.....	23
3.4 Επιτρεπόμενη τάση θλίψεως	24
3.5 Συντελεστής ασφαλείας για τη θλίψη	25
3.6 Σχέση θλίψεως	25
3.7 Εφαρμογές της σχέσεως θλίψεως.....	26
3.8 Παραμορφώσεις στη θλίψη	28
 Κεφάλαιο 4 ^ο - ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΡΙ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ	
4.1 Εισαγωγή	30

4.2 Τμήση και διάτμηση	31
4.3 Τάσεις στη διάτμηση	31
4.4 Επιτρεπόμενη τάση διατμήσεως.....	33
4.5 Συντελεστής ασφαλείας για τη διάτμηση	33
4.6 Σχέση διατμήσεως.....	34
4.7 Εφαρμογές της σχέσης διατμήσεως	34
4.8 Παραμορφώσεις στη διάτμηση	36
Κεφάλαιο 5° - ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΡΙ ΚΑΜΨΗΣ	
5.1 Εισαγωγή	38
5.1 Τάσεις που προκύπτουν από καθαρή κάμψη.....	39
5.2 Παραμορφώσεις λόγω κάμψης	40
5.3 Ελαστική γραμμή.....	40
5.4 Βέλος κάμψης.....	41
5.5 Μέθοδος Mohr.....	42
5.6 Γωνία κλίσης της δοκού.....	43
Κεφάλαιο 6° - ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΡΙ ΣΤΡΕΨΗΣ	
6.1 Εισαγωγή	44
6.2 Γενικά.....	45
6.3 Στρέψη ράβδου με δακτυλιοειδή διατομή	47
6.4 Στρέψη περιστρεφόμενου άξονα (ΑΤΡΑΚΤΟΥ)	48
6.5 Διαστασιολόγηση	49
Κεφάλαιο 7° - ΕΡΩΤΟΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΥΛΙΚΩΝ	
7.1 Ερωτήσεις με θέμα Αντοχής των Υλικών και των Εφαρμογών	50
7.2 Απαντήσεις με θέμα Αντοχής των Υλικών και των Εφαρμογών	52
7.3 Ερωτοαπαντήσεις πολλαπλής επιλογής με θέμα Αντοχής των Υλικών και των Εφαρμογών	61
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	75

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Εισαγωγή

Η αντοχή των υλικών ασχολείται με στερεά σώματα τα οποία παραμορφώνονται όταν δεχθούν εξωτερικές δυνάμεις με συνέπεια τη μεταβολή των διαστάσεών τους.

Παραμόρφωση δε, καλούμε κάθε μεταβολή της γραμμικής ή γωνιακής διάστασης που έχει σαν συνέπεια την αλλαγή του σχήματος του στερεού σώματος το οποίο θεωρούμε ότι βρίσκεται πάντα σε στατική ισορροπία. Η δράση των εξωτερικών δυνάμεων που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι αυτή που έχει σαν συνέπεια την ανάπτυξη στο στερεό σώμα εσωτερικών δυνάμεων και την πρόκληση παραμορφώσεων.

Σκοπός: Σκοπός της αντοχής υλικών είναι η βαθιά γνώση μεταξύ των αιτιών (φορτίων) και των αποτελεσμάτων (παραμορφώσεων) ώστε να εξασφαλίζεται η ασφάλεια, η οικονομία και η αποδοτικότητα μιας κατασκευής.

Ειδικά: Με την αντοχή των υλικών μπορούμε να προσδιορίσουμε τα εξής:

- a) Τις εξωτερικές δυνάμεις $P_{εξ}$ που ασκούνται στο υλικό και τον τρόπο που κατανέμονται σε αυτό.
- b) Τις παραμορφώσεις που δημιουργούνται από τις $P_{εξ}$.
- c) Τις διαστάσεις του υλικού ώστε να αναλαμβάνει με ασφάλεια δεδομένα φορτία καθώς επίσης και το μέγεθος των φορτίων που αναλαμβάνει με ασφάλεια το υλικό με δεδομένες διαστάσεις.
- d) Να βρούμε τις εναλλακτικές λύσεις μιας κατασκευής και να επιλέξουμε την άριστη.

1.2 Βασικές έννοιες - Αντοχής Υλικών

Αντοχή των Υλικών λέγεται εκείνο το κεφάλαιο της Μηχανικής, που ασχολείται με την επίπτωση που έχουν τα φορτία στα υλικά σώματα. Η Αντοχή των Υλικών θεωρεί τα σώματα σαν παραμορφώσιμα, σε αντίθεση με τη Στατική.

Είναι γνωστό ότι, δύο δομικά στοιχεία από διαφορετικά υλικά π.χ από χάλυβα το ένα και από ξύλο το άλλο, με ίδια γεωμετρική κατασκευή, όταν τους επιβληθούν ίσες εξωτερικές δυνάμεις, αυτά παρουσιάζουν γενικά διαφορετική συμπεριφορά. Το ένα υλικό για παράδειγμα μπορεί να αντέξει, ενώ το άλλο να σπάσει, ή το ένα στοιχείο να παραμορφωθεί πολύ περισσότερο από το άλλο.

Γίνεται έτσι αντιληπτό ότι, τα διάφορα στερεά σώματα που χρησιμοποιούμε στις κατασκευές (μέταλλα, ξύλα κ.λ.π.), είναι πρακτικά χρήσιμα και εξυπηρετούν τον προορισμό τους, όταν αφ' ενός δεν θραύονται με την επενέργεια των εξωτερικών φορτίων αλλά ανθίστανται τόσο, ώστε αφετέρου, οι αναπόφευκτες παραμορφώσεις τους να μην υπερβαίνουν κάποια όρια, τα οποία προκύπτουν είτε από κατασκευαστικούς λόγους είτε από λόγους αισθητικής.

Για τους παραπάνω λόγους είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε μέχρι ποιου ορίου μας επιτρέπεται να φορτίζουμε τα διάφορα υλικά, έναντι των δύο κινδύνων που προαναφέραμε, δηλαδή έναντι του κινδύνου της θραύσης και έναντι της υπερβολικής παραμόρφωσης.

Πολλοί από μας, έχοντας δει τους κάβους των δεμένων πλοίων, μπορεί να έχουμε αναρωτηθεί πώς αυτοί έχουν σχεδιαστεί, ώστε να αντέχουν και να μην σπάνε. Από την εμπειρία μας, οι κάβοι μάς θυμίζουν τα συρματόσχοινα. Ξέρομε ότι εάν τραβήξομε τη μία άκρη ενός συρματόσχοινου, του οποίου η άλλη άκρη είναι γερά στερεωμένη, τότε δημιουργείται στο σημείο στερεώσεως μία άλλη δύναμη, η οποία τραβάει το συρματόσχοινο αντίθετα. Σύμφωνα με το αξίωμα της δράσεως-αντιδράσεως της Φυσικής, η δύναμη που δημιουργείται στο σημείο στερεώσεως είναι η αντίδραση της δυνάμεως που ασκούμε στο άλλο άκρο και έχει ίδιο μέτρο και αντίθετη φορά μ' αυτήν. Η δύναμη που ασκούμε και η αντίδρασή της ισορροπούν μέσω του συρματόσχοινου. Δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι η ύλη του συρματόσχοινου αποτελείται από μόρια¹. Μεταξύ των μορίων ασκούνται ελκτικές δυνάμεις, οι οποίες τα συγκρατούν. Όταν τραβάμε το συρματόσχοινο από τη μία άκρη, η δύναμη που ασκούμε προσπαθεί να απομακρύνει τα μόρια μεταξύ τους. Μεταξύ των μορίων ασκούνται πρόσθετες ελκτικές δυνάμεις, οι οποίες προσπαθούν να τα επαναφέρουν στην αρχική τους θέση. Όταν σταματήσομε να τραβάμε το συρματόσχοινο, η αντίδραση, καθώς επίσης

και οι πρόσθετες ελκτικές δυνάμεις, μηδενίζονται. Στο εργαστήριο, με τη χρήση ειδικών μηχανών έλξεως, διαπιστώνομε ότι η άσκηση δυνάμεως στο άκρο του συρματόσχοινο επιφέρει αύξηση του μήκους του. Αν σταματήσει να ασκείται η δύναμη, το συρματόσχοινο επανέρχεται στο αρχικό του μήκος. Η ιδιότητα αυτή οφείλεται στην εσωτερική έλξη μεταξύ των μορίων του συρματόσχοινο που αυξομειώνεται ανάλογα με τις εξωτερικές δυνάμεις που δρουν σ' αυτό. Εάν συνεχίσουμε τα πειράματα έλξεως του συρματόσχοινο παρατηρούμε ότι υπάρχει ένα όριο στην ασκούμενη δύναμη, πέρα από το οποίο παραμένει μια μόνιμη αύξηση του μήκους, η οποία καλείται μόνιμη παραμόρφωση. Αν συνεχίσουμε να αυξάνομε και άλλο την ασκούμενη δύναμη, παρατηρούμε ότι το συρματόσχοινο σπάει.

1.3 Στοιχεία μηχανών - Αντοχής Υλικών

Όλες οι μηχανολογικές κατασκευές αποτελούνται από πολλά επί μέρους στοιχεία, τα στοιχεία μηχανών. Τα στοιχεία μηχανών είναι τεμάχια που χρησιμοποιούνται κατ' επανάληψη, στην ίδια ή παραπλήσια μορφή, για τη συγκρότηση μηχανών, συσκευών και οργάνων.

Κατηγορίες στοιχείων μηχανών:

Τα στοιχεία μηχανών μπορούν να διαχωριστούν σε:

(Α) βάσει του ρόλου τους:

Σύνδεσης: ήλοι, κοχλίες, σφήνες, πείροι, κολλήσεις.

Έδρασης και μετάδοσης κίνησης: έδρανα, άξονες, άτρακτοι, συμπλέκτες, οδοντωτοί τροχοί, ιμάντες, αλυσίδες και μειωτήρες στροφών.

Στοιχεία για τη μεταφορά υγρών και αερίων: σωληνώσεις και εξαρτήματα αυτών (βαλβίδες, κρουνοί, κλπ.)

(Β) βάσει του προορισμού τους:

Γενικού προορισμού (εκτελούν τον ίδιο πάντα σκοπό σε οποιαδήποτε μηχανή): Μόνιμα και λυόμενα μέσα σύνδεσης, τροχοί τριβής, οδοντοκινήσεις, άξονες και άτρακτοι, λυόμενοι και σταθεροί σύνδεσμοι, έδρανα, ελατήρια και πλαίσια μηχανών.

Ειδικού προορισμού (χρησιμοποιούνται σε συγκεκριμένους τύπους μηχανών): έμβολα, βαλβίδες, διωστήρες.

1.4 Τυπολόγιο - Αντοχής Υλικών

$$\sigma_{ολ}^2 = (\sigma + \sigma_b)^2 + (\tau + \tau_t)^2 . \text{ Έλεγχος αντοχής: } \sigma < \sigma_{επ}, \quad \nu = \frac{\sigma_{θρ}}{\sigma_{επ}} \quad \tau < \tau_{επ}, \quad \tau_{επ} = 0,8\sigma_{επ} \text{ για μέταλλα}$$

ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΘΛΙΨΗ

$$\sigma = \frac{F}{A} \text{ [N/m}^2\text{]}$$

Νόμος Hooke: $\sigma = E\varepsilon$ [N/m²] όπου: **E** = μέτρο ελαστικότητας του υλικού [N/m²]

$$\Delta \ell = \frac{Fl}{AE} \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{l' - l}{l} \quad \mu = \frac{\varepsilon_g}{\varepsilon}$$

$$\Delta b = b' - b \quad \varepsilon_g = \frac{\Delta b}{b}, \quad m = \frac{1}{\mu}$$

Παραμόρφωση λόγω ιδίου βάρους: $\Delta \ell_B = \frac{Bl}{2EA}$ όπου **B** το βάρος του σώματος [N]

Θερμικές τάσεις και παραμορφώσεις: $\Delta \ell_t = \alpha \ell \Delta t$ όπου **α** συντελεστής γραμμικής διαστολής [1/°C]
 $\sigma = -\alpha E \Delta t$

ΔΙΑΤΜΗΣΗ

$$\tau = \frac{F}{A}, \quad \tau = G\gamma$$

όπου **G** μέτρο διάτμησης του υλικού [N/m²] G ~ 0.385E

$$\tau = \frac{F}{\mu n A}, \quad \sigma_{πφ} = \frac{F}{n t d}$$

όπου **μ** οι ανθιστάμενες διατομές, **n** το πλήθος των ήλων,

t το πάχος της άντυγας.

ΚΑΜΨΗ

$$\sigma_b = \frac{Mb}{W_b} \text{ [N/m}^2\text{]}, \quad W_b = \frac{I_z}{y_{\max}} \text{ [m}^3\text{]}, \quad \text{όπου } I_z \text{ η ροπή αδράνειας ως προς τον άξονα z [m}^4\text{].}$$

ΣΤΡΕΨΗ

$$\tau_t = \frac{Mt}{W_p} \text{ [N/m}^2\text{]}, \quad W_p = \frac{I_p}{y_{\max}} \text{ [m}^3\text{]}, \quad \text{όπου } M_t \text{ η ροπή στρέψης [Nm]}$$

$$I_p = I_z + I_y$$

W_p η πολική ροπή αντίστασης [m³]

I_p η πολική ροπή αδράνειας [m⁴]

φ η γωνία στρέψης στο άκρο της ατράκτου.

$$\varphi = M_t \ell / G I_p \text{ [rad]}$$

$$P = \frac{2\pi n M_t}{60}$$

όπου **P** η ισχύς [W]

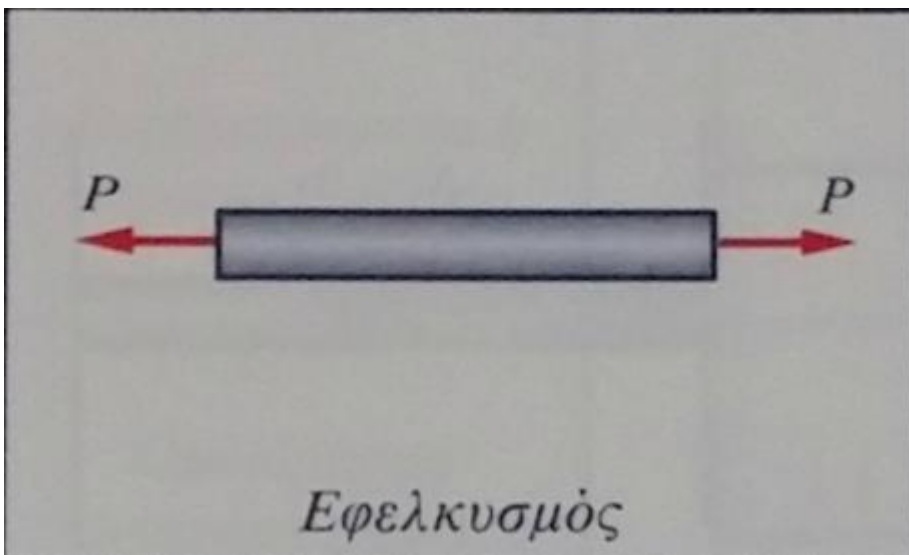
n οι στροφές [rpm]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΡΙ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ

2.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό μελετούμε τις καταπονήσεις του εφελκυσμού. Συγκεκριμένα, παραθέτουμε τους ορισμούς της καταπόνησης αυτής, παρουσιάζουμε παραδείγματα εφαρμογής της και επεξηγούμε τις αναπτυσσόμενες τάσεις και παραμορφώσεις. Επίσης, αναλύουμε την έννοια της επιτρεπόμενης τάσεως και του συντελεστή ασφαλείας για την καταπόνηση αυτήν και επεξηγούμε τις σχέσεις εφελκυσμού.



2.2 Εφελκυσμός και πειράματα εφελκυσμού

Εφελκυσμός: Ένα σώμα καταπονείται σε εφελκυσμό, όταν επενεργούν δύο ίσες και αντίθετες δυνάμεις οι οποίες τείνουν να το διασπάσουν.

Ας θεωρήσουμε το στερεό σώμα του σχήματος 1.3α, πάνω στον άξονα του οποίου ασκούνται δύο δυνάμεις ίσες και αντίθετες, οι οποίες τείνουν να αυξήσουν το μήκος του. Το σώμα του σχήματος 1.3α λέμε ότι υφίσταται εφελκυσμό ή αλλιώς ότι εφελκύεται. Το σώμα είναι στερεωμένο στο ένα άκρο του και δύναμη F ασκείται στο άλλο άκρο του. Η δεύτερη δύναμη F_A είναι η αντίδραση. Για τους υπολογισμούς μας λαμβάνομε μόνο τη μία από τις δύο δυνάμεις.

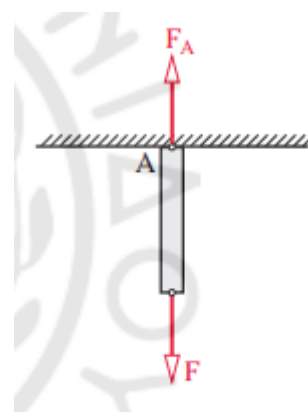
Η μελέτη του εφελκυσμού γίνεται με το πείραμα του εφελκυσμού, με το οποίο προσδιορίζουμε την αντοχή ενός υλικού όταν καταπονείται σε εφελκυσμό. Το πείραμα του εφελκυσμού λαμβάνει χώρα σε ειδική μηχανή που καλείται μηχανή εφελκυσμού και θεωρείται το πλέον ακριβές από τα πειράματα που γίνονται για τον προσδιορισμό της αντοχής των υλικών.

Στο πείραμα του εφελκυσμού χρησιμοποιούνται ράβδοι προκαθορισμένης μορφής και μεγέθους που καλούνται δοκίμια, τα οποία συγκρατούνται στη μηχανή εφελκυσμού με δύο σιαγόνες.

Συνήθως, τα δοκίμια έχουν κυλινδρική μορφή και το μήκος τους είναι πενταπλάσιο της διαμέτρου τους.

Με τη βοήθεια υδραυλικής πίεσεως τα δοκίμια καταπονούνται σε εφελκυσμό υφίστανται δηλαδή αύξηση του μήκους τους, παραμόρφωση που καλείται επιμήκυνση και ελάττωση της διατομής τους.

Η μηχανή εφελκυσμού διαθέτει όργανα για να μετρήσει κατά τη διάρκεια των πειραμάτων εφελκυσμού την εφελκυστική δύναμη και την επιμήκυνση που προκαλεί η δύναμη αυτή. Η εφελκυστική δύναμη που εφαρμόζεται στα δοκίμια μεταβάλλεται σταδιακά από μηδέν μέχρι την τιμή στην οποία θραύεται το δοκίμιο. Ταυτόχρονα, καταγράφεται διάγραμμα αναπτυσσομένων τάσεων ή δυνάμεων και επιμηκύνσεων ή ανηγμένων επιμηκύνσεων, το οποίο ονομάζεται διάγραμμα εφελκυσμού. Σημειώνεται ότι έχει επικρατήσει η δημιουργία του διαγράμματος τάσεων-ανηγμένων επιμηκύνσεων, γιατί τα συμπεράσματα που προκύπτουν από αυτό ισχύουν για κάθε δοκίμιο, από το ίδιο υλικό και όχι για το συγκεκριμένο δοκίμιο για το οποίο έγινε το πείραμα.



Σχ. 1.3α.
Στερεό σώμα που εφελκύεται.

Το διάγραμμα εφελκυσμού απεικονίζει τα αποτελέσματα του πειράματος εφελκυσμού και δίνει σημαντικές πληροφορίες για την αντοχή του υλικού, για το οποίο έγινε το πείραμα. Από το διάγραμμα εφελκυσμού μπορούμε να λάβουμε τα μηχανικά χαρακτηριστικά του υλικού που είναι απαραίτητα για τον υπολογισμό της αντοχής των κατασκευών.

Η διαδικασία του πειράματος εφελκυσμού και ο τρόπος επεξεργασίας των μετρήσεων περιγράφονται με κάθε λεπτομέρεια στο Γερμανικό Βιομηχανικό Πρότυπο DIN50145 και στα αντίστοιχα πρότυπα του Διεθνούς Οργανισμού Τυποποιήσεων (ISO).

Για να είναι δυνατή η σύγκριση των αποτελεσμάτων των πειραμάτων εφελκυσμού που πραγματοποιούνται σε διαφορετικά εργαστήρια, το Γερμανικό Βιομηχανικό Πρότυπο DIN50125 καθορίζει επακριβώς τις συνθήκες του πειράματος. Οι «συνθήκες πειράματος» περιλαμβάνουν κυρίως τον αυστηρό καθορισμό της μορφής, του μεγέθους διατομής, του μήκους και της ποιότητας επιφάνειας των δοκιμίων, καθώς και τη θερμοκρασία στην οποία λαμβάνει χώρα το πείραμα εφελκυσμού.

Οι τάσεις στον εφελκυσμό παρέχονται από τη σχέση (1.1) και οι ειδικές επιμηκύνσεις από τη σχέση (1.4). Έτσι, η τάση στον εφελκυσμό ισούται με το πηλίκον της δυνάμεως εφελκυσμού F προς το εμβαδόν της διατομής A του δοκιμίου.

2.3 Τάσεις εφελκυσμού

Η εφαρμογή της εξωτερικής δυνάμεως F στο συρματόσχοινο προκαλεί την εμφάνιση εσωτερικών δυνάμεων σ' αυτό, άρα την εμφάνιση τάσεων στο υλικό του. Οι τάσεις αυτές που εμφανίζονται στα σώματα που καταπονούνται σε εφελκυσμό ονομάζονται τάσεις εφελκυσμού. Αποδεικνύεται ότι στον εφελκυσμό, η εσωτερική δύναμη σε κάθε διατομή του σώματος είναι ίση με την εξωτερική F , άρα κάθετη στη διατομή του σώματος. Συνεπώς, οι τάσεις εφελκυσμού είναι ορθές τάσεις. Οι παραπάνω ιδιότητες των τάσεων εφελκυσμού μάς οδηγούν στη διατύπωση του ακόλουθου ορισμού για την τάση εφελκυσμού.

Ως τάση εφελκυσμού σεφ ορίζουμε το πηλίκον της δυνάμεως F που ενεργεί κατά τον άξονα στερεού σώματος και το καταπονεί σε εφελκυσμό προς το εμβαδόν A της διατομής του σώματος. Δηλαδή, έχουμε:

$$\sigma_{εφ} = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

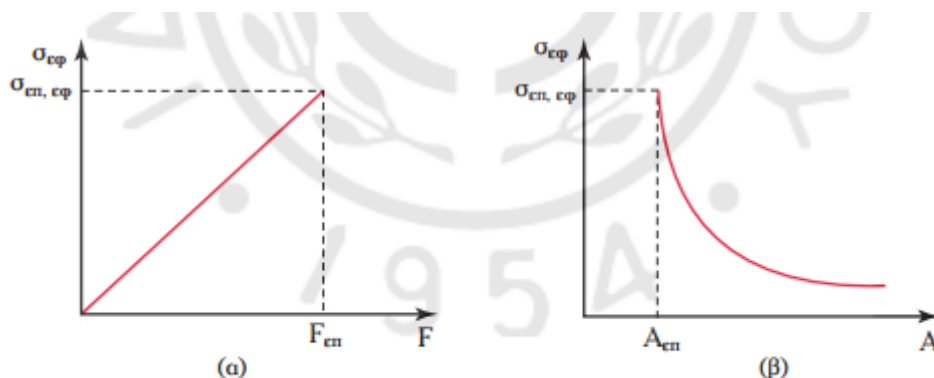
Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειώσουμε ότι στον υπολογισμό της τάσεως εφελκυσμού λαμβάνουμε υπόψη μόνο τη μία από τις δύο συγγραμμικές και αντίρροπες δυνάμεις που καταπονούν το στερεό σώμα σε εφελκυσμό.

Από τη σχέση (2.1) διαπιστώνουμε ότι για την τάση εφελκυσμού ισχύουν τα εξής:

α) Η τάση εφελκυσμού είναι ανάλογη της εφελκύουσας δυνάμεως. Στην ίδια διατομή, εάν εφαρμοστεί κάθετα διπλάσια εφελκύουσα δύναμη, η αναπτυσσόμενη τάση εφελκυσμού είναι διπλάσια, εάν εφαρμοστεί κάθετα τριπλάσια εφελκύουσα δύναμη, η αναπτυσσόμενη τάση εφελκυσμού είναι τριπλάσια κ.ο.κ.. Δηλαδή, η σχέση μεταξύ τάσεως εφελκυσμού και εφελκύουσας δυνάμεως για την ίδια διατομή είναι γραμμική [σχ. 2.2β(α)].

β) Η τάση εφελκυσμού είναι αντιστρόφως ανάλογη της διατομής του σώματος που εφελκύεται. Η ίδια εφελκύουσα δύναμη, εάν εφαρμοστεί κάθετα σε διατομή με διπλάσια επιφάνεια, η αναπτυσσόμενη τάση εφελκυσμού είναι η μισή, εάν εφαρμοστεί κάθετα σε διατομή με τριπλάσια επιφάνεια η αναπτυσσόμενη τάση εφελκυσμού είναι ίση με το ένα τρίτο κ.ο.κ.. Η σχέση μεταξύ τάσεως εφελκυσμού και εμβαδού διατομής απεικονίζεται στο σχήμα 2.2β(β).

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειώσουμε ότι η σχέση (2.1) δεν ισχύει για οποιεσδήποτε τιμές δυνάμεως και εμβαδού, αλλά μέχρι ορισμένες τιμές που αντιστοιχούν στο όριο θραύσεως του υλικού (βλ. παράγρ. 1.3). Επίσης σημειώνουμε ότι το σχήμα 2.2β απεικονίζει τις τάσεις εφελκυσμού μέχρι την επιτρεπόμενη τάση εφελκυσμού σεπ, εφ.



Σχ. 2.2β.

- (α) Σχέση τάσεως εφελκυσμού και εφελκύουσας δυνάμεως για σταθερή διατομή.
 (β) Σχέση τάσεως εφελκυσμού και εμβαδού διατομής για σταθερή εφελκύουσα δύναμη.

2.4 Επιτρεπόμενη τάση εφελκυσμού

Όταν σ' ένα εφελκυσμένο σώμα εφαρμόζεται μεγάλη εξωτερική δύναμη, μεγαλύτερη από αυτή που μπορεί να αντέξει, τότε το σώμα θραύεται. Για να αποφεύγεται η θραύση των σωμάτων κατά την καταπόνησή τους σε εφελκυσμό πρέπει οι τάσεις εφελκυσμού που αναπτύσσονται να είναι πολύ μικρότερες απ' την τάση στην οποία το υλικό θραύεται. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να οριστεί ένα όριο, πολύ μικρότερο απ' την τάση στην οποία το υλικό θραύεται, πάνω από το οποίο απαγορεύεται να λάβουν τιμές οι τάσεις εφελκυσμού. Δηλαδή, οι τάσεις που αναπτύσσονται κατά τον εφελκυσμό πρέπει να είναι μικρότερες ή το πολύ ίσες με το όριο αυτό. Η τάση αυτή ονομάζεται επιτρεπόμενη τάση εφελκυσμού. Δηλαδή:

Επιτρεπόμενη τάση εφελκυσμού μιας κατασκευής ονομάζεται η μέγιστη τάση που επιτρέπεται να αναπτυχθεί στην κατασκευή όταν καταπονείται σε εφελκυσμό, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος καταστροφής της.

Η επιτρεπόμενη τάση εφελκυσμού συμβολίζεται με $\sigma_{\text{επ}}$, εφ και προσδιορίζεται συνήθως με τη βοήθεια του συντελεστή ασφαλείας. Το φορτίο $F_{\text{επ}}$ που αντιστοιχεί στην επιτρεπόμενη τάση εφελκυσμού ονομάζεται επιτρεπόμενο φορτίο εφελκυσμού.

2.5 Συντελεστής ασφαλείας για τον εφελκυσμό

Συντελεστής ασφαλείας ν για τον εφελκυσμό ονομάζεται ο αριθμός που δείχνει πόσες φορές μικρότερη είναι η επιτρεπόμενη τάση εφελκυσμού $\sigma_{\text{επ}}$, εφ σε μία κατασκευή απ' την τάση $\sigma_{\text{θρ}}$, εφ, στην οποία το υλικό θραύεται όταν εφελκύεται.

Δηλαδή, ο συντελεστής ασφαλείας δίνεται από τη σχέση:

$$\nu = \frac{\sigma_{\text{θρ,εφ}}}{\sigma_{\text{επ,εφ}}} \quad (2.2)$$

Λύνοντας τη σχέση (2.2) ως προς την επιτρεπόμενη τάση εφελκυσμού, έχουμε:

$$\sigma_{\text{επ,εφ}} = \frac{\sigma_{\text{θρ,εφ}}}{\nu} \quad (2.3)$$

Ο καθορισμός του συντελεστή ασφαλείας μιας κατασκευής είναι πολύ σημαντικό στοιχείο για την κατασκευή και δεν αποτελεί εύκολη υπόθεση. Ο καθορισμός αυτός προϋποθέτει τόσο την καλή

γνώση της αντοχής υλικών και των παραγόντων που επιδρούν στην κατασκευή, όσο και την εμπειρία στα θέματα αυτά.

2.6 Σχέση εφελκυσμού

Η τάση εφελκυσμού σεφ πρέπει να είναι μικρότερη ή το πολύ ίση με την επιτρεπόμενη τάση εφελκυσμού σεπ, εφ, δηλαδή:

$$\sigma_{εφ} = \frac{F}{A} \leq \sigma_{επ,εφ} \quad (2.4)$$

Η σχέση (2.4) είναι γνωστή ως σχέση εφελκυσμού και εφαρμόζεται μόνον εφόσον ισχύουν όλες οι ακόλουθες προϋποθέσεις:

- α) Το εφελκυσμένο σώμα είναι ευθύγραμμο. Αν δεν ισχύει η προϋπόθεση αυτή, τότε έχουμε την εμφάνιση σύνθετης καταπόνησης.
- β) Ο εφελκυσμός είναι αξονικός. Δηλαδή, η δύναμη που εφελκύει το σώμα ενεργεί στον κεντρικό άξονά του.
- γ) Το υλικό του εφελκυσμένου σώματος είναι ομοιογενές. Δηλαδή, το υλικό έχει σε όλη την έκταση της μάζας του τις ίδιες ιδιότητες, με αποτέλεσμα οι εσωτερικές δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά την καταπόνηση σε εφελκυσμό να είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες.

2.7 Εφαρμογές της σχέσεως εφελκυσμού

Η σχέση εφελκυσμού εφαρμόζεται στα προβλήματα σωμάτων που καταπονούνται ή αναμένεται να καταπονηθούν σε εφελκυσμό. Τα προβλήματα αυτά διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με το ποια δεδομένα απ' αυτά που εμφανίζονται στη σχέση εφελκυσμού είναι γνωστά και ποιο είναι το ζητούμενο. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι ακόλουθες:

- 1) Κατηγορία Ι – Προβλήματα στα οποία ζητείται να υπολογιστεί η τάση λειτουργίας της κατασκευής.

Στα προβλήματα αυτά μας είναι γνωστά η εφελκυστική δύναμη (το φορτίο), το εμβαδόν της διατομής και η επιτρεπόμενη τάση εφελκυσμού και μας ζητούν να προσδιορίσουμε την τάση

εφελκυσμού που αναπτύσσεται στην κατασκευή και να ελέγξομε εάν η εν λόγω τάση είναι μικρότερη απ' την επιτρεπόμενη (πίν. 2.2.1).

Πίνακας 2.2.1.

<i>Δεδομένα</i>	<i>Ζητούμενα</i>
Εφελκύουσα δύναμη: F	Τάση εφελκυσμού: $\sigma_{εφ}$
Εμβαδόν διατομής: A	Είναι η τάση εφελκυσμού μικρότερη από την επιτρεπόμενη; $\sigma_{εν,εφ}$? $\sigma_{εφ}$
Επιτρεπόμενη τάση εφελκυσμού: $\sigma_{εν,εφ}$	

Τα βήματα που ακολουθούμε για την επίλυση των προβλημάτων αυτών είναι τα εξής:

α) Προσδιορίζομε την τάση εφελκυσμού από τη σχέση $\epsilon\phi F \sigma = A$.

β) Συγκρίνομε την τάση εφελκυσμού με την επιτρεπόμενη τάση εφελκυσμού: $\sigma_{εφ}$, $\epsilon\phi$? $\sigma_{εφ}$.

2) Κατηγορία II – Προβλήματα διαστασιολογήσεως (ή υπολογισμού απαιτούμενης διατομής).

Στα προβλήματα αυτά μας είναι γνωστά η εφελκύουσα δύναμη (το φορτίο) και η επιτρεπόμε-νη τάση εφελκυσμού και μας ζητούν να προσδιορίσομε το εμβαδόν της απαιτούμενης διατομής του εφελκυσμένου σώματος (πίν. 2.2.2).

Πίνακας 2.2.2.

<i>Δεδομένα</i>	<i>Ζητούμενα</i>
Εφελκύουσα δύναμη: F	Εμβαδόν διατομής: A
Επιτρεπόμενη τάση εφελκυσμού: $\sigma_{εν,εφ}$	

Τα προβλήματα διαστασιολογήσεως είναι ιδιαίτερα σημαντικά για την Αντοχή των Υλικών, καθώς αποτελούν τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι κατασκευαστές κατά το σχεδιασμό των κατασκευών.

Τα βήματα που ακολουθούμε για την επίλυση των προβλημάτων αυτών είναι τα εξής:

α) Προσδιορίζομε το εμβαδόν της απαιτούμενης διατομής, λύνοντας τη σχέση εφελκυσμού ως προς αυτό. Έτσι λαμβάνομε: $\epsilon\phi F A \sigma \geq$.

β) Επειδή δεν είναι απαραίτητο να υπάρχει πάντοτε διαθέσιμη διατομή με το μέγεθος επιφάνειας που προσδιορίσαμε στο βήμα (α), επιλέγομε ανάμεσα στις διαθέσιμες διατομές τη μικρότερη από αυτές που ικανοποιούν το αποτέλεσμα του βήματος (α).

γ) Επιβεβαιώνομε ότι για τη διατομή που επιλέγομε στο βήμα (β), η τάση εφελκυσμού που αναπτύσσεται είναι μικρότερη ή το πολύ ίση με την επιτρεπόμενη τάση εφελκυσμού.

3) Κατηγορία III – Προβλήματα υπολογισμού του φορτίου που αντέχει ένα εφελκυόμενο σώμα (ικανότητα φορτίσεως).

Στα προβλήματα αυτά μας είναι γνωστά η επιφάνεια της διατομής του σώματος και η επιτρεπόμενη τάση εφελκυσμού και μας ζητούν να προσδιορίσουμε το φορτίο που επιτρέπεται να ενεργεί στο σώμα όταν καταπονείται σε εφελκυσμό (πίν. 2.2.3).

Πίνακας 2.2.3.

<i>Δεδομένα</i>	<i>Ζητούμενα</i>
Εμβαδόν διατομής: A	Εφελκύουσα δύναμη: F
Επιτρεπόμενη τάση εφελκυσμού: $\sigma_{\text{επ, εφ}}$	

Για την επίλυση των προβλημάτων αυτών προσδιορίζουμε το φορτίο που μπορεί να αντέξει το σώμα, λύνοντας τη σχέση εφελκυσμού ως προς την εφελκύουσα δύναμη. Έτσι λαμβάνουμε: $F \leq \sigma_{\text{επ, εφ}} \cdot A$.

2.8 Παραμορφώσεις εφελκυσμού

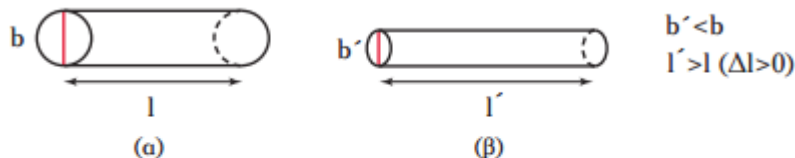
Οι παραμορφώσεις απ' την καταπόνηση σε εφελκυσμό που προκαλούνται σ' ένα σώμα είναι οι ακόλουθες:

α) Αύξηση του μήκους του στερεού σώματος, η οποία αφορά στην αύξηση του αρχικού μήκους l κατά Δl κατά τη διεύθυνση εφαρμογής της εξωτερικής δύναμης F .

β) Ελάττωση της διατομής του στερεού σώματος, που αφορά στη διατομή η οποία είναι κάθετη στη διεύθυνση εφαρμογής της δύναμης F . Εάν b είναι η αρχική διάσταση της διατομής πριν την εφαρμογή της δύναμης, τότε κατά τον εφελκυσμό, η διάσταση αυτή ελαττώνεται κατά $\Delta b = b' - b$ και γίνεται ίση με $b' < b$.

Οι παραμορφώσεις της αυξήσεως του μήκους και της ελαττώσεως της διατομής παρουσιάζονται στο σχήμα 2.2γ. Οι παραμορφώσεις αυτές δεν συμβαίνουν ανεξάρτητα η μία της άλλης, αλλά εμφανίζονται μαζί. Δηλαδή, η αύξηση του μήκους συνοδεύεται με ελάττωση της διατομής του στερεού σώματος. Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειώσουμε ότι συνήθως η αύξηση του μήκους είναι πολύ μικρή σε σχέση με το αρχικό μήκος. Ομοίως, η ελάττωση της διατομής είναι πολύ μικρή σε σχέση με το μέγεθος της αρχικής διατομής. Αυτό έχει ως συνέπεια πολλές φορές να μην γίνονται άμεσα αντιληπτές οι παραμορφώσεις αυτές, ωστόσο, συμβαίνουν πάντοτε κατά την

καταπόνηση σε εφελκυσμό ενός σώματος. Σημειώνουμε ότι το σχήμα 2.2γ(β) δεν παρουσιάζει τη ρεαλιστική εικόνα που έχει το καταπονούμενο σε εφελκυσμό σώμα, αλλά δείχνει μόνο την έννοια των δύο παραμορφώσεων που αναφέρομε. Στην πραγματικότητα το σώμα παρουσιάζει στένωση.



Σχ. 2.2γ.

Μήκος και διατομή στερεού σώματος: (α) Πριν την καταπόνησή του σε εφελκυσμό. (β) Κατά την καταπόνησή του σε εφελκυσμό.

Οι παραμορφώσεις αυτές στην αναλογική περιοχή υπολογίζονται με τη βοήθεια των ακόλουθων σχέσεων:

α) Του νόμου του Hooke (βλ. παράγρ. 1.2):

$$\Delta l = \frac{F \cdot l}{A \cdot E} \quad (2.5)$$

β) Της σχέσεως ορισμού της ανηγμένης επιμηκύνσεως (βλ. υποπαράγρ. 1.2.1):

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (2.6)$$

γ) Της σχέσεως ορισμού της εγκάρσιας ανηγμένης παραμορφώσεως (βλ. υποπαράγρ. 1.5):

$$\epsilon_g = \frac{\Delta b}{b} = \frac{b' - b}{b} \quad (2.7)$$

δ) Του λόγου Poisson (βλ. παράγρ. 1.5):

$$\mu = -\frac{\epsilon_g}{\epsilon} \quad (2.8)$$

Η αύξηση του μήκους υπολογίζεται από τη σχέση (2.5). Η ελάττωση της διαστάσεως της διατομής υπολογίζεται συνδυάζοντας τις ανωτέρω σχέσεις. Συγκεκριμένα, αντικαθιστώντας τις σχέσεις (2.5), (2.6) και (2.7) στη σχέση (2.8) λαμβάνομε:

$$\begin{aligned} \mu = -\frac{\epsilon_g}{\epsilon} &\Leftrightarrow \mu = -\frac{\frac{\Delta b}{b}}{\frac{\Delta l}{l}} \Leftrightarrow \mu = -\frac{\Delta b \cdot l}{b \cdot \Delta l} \Leftrightarrow \Delta b = -\frac{\mu \cdot b \cdot \Delta l}{l} \Leftrightarrow \Delta b = -\frac{\mu \cdot b}{l} \cdot \frac{F \cdot l}{A \cdot E} \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow \Delta b = -\frac{\mu \cdot b \cdot F}{A \cdot E} \end{aligned} \quad (2.9)$$

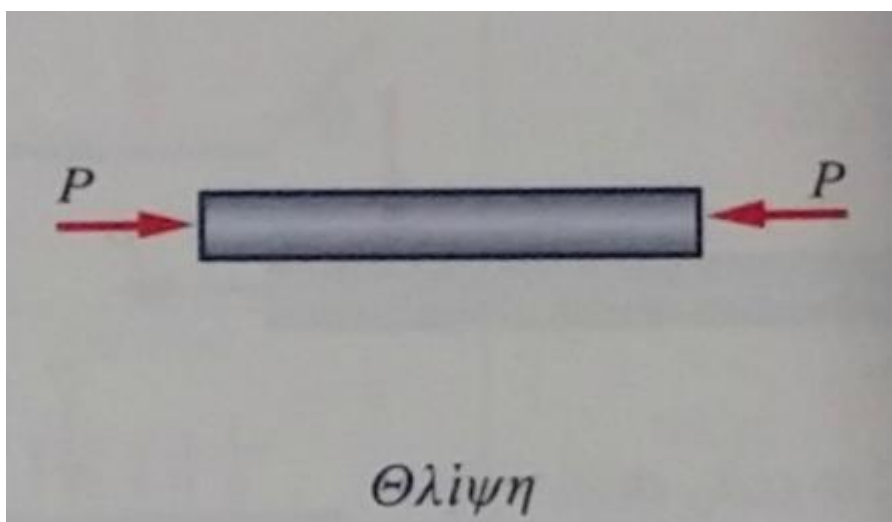
Το αρνητικό πρόσημο της μεταβολής $\Delta b = b' - b$ δηλώνει ότι έχουμε ελάττωση της διατομής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΡΙ ΘΛΙΨΗΣ

3.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό μελετούμε τις καταπονήσεις της θλίψης. Συγκεκριμένα, παραθέτουμε τους ορισμούς της καταπόνησης αυτής, παρουσιάζουμε παραδείγματα εφαρμογής της και επεξηγούμε της αναπτυσσόμενες τάσεις και παραμορφώσεις. Επίσης, αναλύουμε την έννοια της επιτρεπόμενης τάσεως και του συντελεστή ασφαλείας για την καταπόνηση αυτήν και επεξηγούμε τις σχέσεις θλίψης.



3.2 Θλίψη και πειράματα θλίψεως

Θλίψη: Ένα σώμα καταπονείται σε θλίψη, όταν επάνω του επενεργούν δύο ίσες και αντίθετες δυνάμεις οι οποίες τείνουν να το συνθλίψουν.

Ας θεωρήσουμε το στερεό σώμα του σχήματος 1.4α, πάνω στον άξονα του οποίου, ασκούνται δύο δυνάμεις ίσες και αντίθετες, οι οποίες τείνουν να ελαττώσουν το μήκος του. Λέμε τότε ότι το σώμα υφίσταται θλίψη ή θλίβεται.

Η μελέτη της θλίψεως γίνεται με το πείραμα της θλίψεως, με το οποίο προσδιορίζουμε την αντοχή ενός υλικού όταν καταπονείται σε θλίψη. Το πείραμα της θλίψεως λαμβάνει χώρα με τη χρήση δοκιμίων στην ίδια ειδική μηχανή που λαμβάνει χώρα και το πείραμα εφελκυσμού. Η διαφορά με τον εφελκυσμό είναι ότι οι δυνάμεις στη θλίψη δεν επιμηκύνουν το δοκίμιο, αλλά ελαττώνουν το μήκος του (επιβράχυνση). Στη θλίψη (όπως και στον εφελκυσμό) εμφανίζεται τάση που οφείλεται στη μοριακή δύναμη αντιστάσεως ανά μονάδα της διατομής. Η καταπόνηση σε θλίψη φανερώνεται με μία μικρή ελάττωση του μήκους και αύξηση της διατομής, αντίθετα δηλαδή από ό,τι συμβαίνει στον εφελκυσμό.

Κατά αναλογία με τα διαγράμματα εφελκυσμού λαμβάνουμε τα διαγράμματα θλίψεως. Και στην περίπτωση των διαγραμμάτων θλίψεως έχει επικρατήσει η δημιουργία του διαγράμματος τάσεων – ανηγμένων επιβραχύνσεων, γιατί τα συμπεράσματα που προκύπτουν απ' αυτό ισχύουν για κάθε δοκίμιο από το ίδιο υλικό και όχι για το συγκεκριμένο δοκίμιο, για το οποίο έγινε το πείραμα.

Για τους υπολογισμούς στη θλίψη χρησιμοποιούμε τους ίδιους τύπους, όπως και στον εφελκυσμό, με τη διαφορά ότι αφορούν στη θλίψη και όχι στον εφελκυσμό και άρα μιλάμε για επιβράχυνση και όχι για επιμήκυνση, καθώς και για ανηγμένη επιβράχυνση και όχι για ανηγμένη επιμήκυνση.

Έτσι, οι τάσεις στη θλίψη παρέχονται από τη σχέση (1.1), δηλαδή η τάση θλίψεως ισούται με το πηλίκον της δυνάμεως θλίψεως F προς το εμβαδόν της διατομής A του δοκιμίου:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1.7)$$

Επίσης, η ανηγμένη επιβράχυνση στη θλίψη δίνεται από τη σχέση:

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (1.8)$$

Η ανηγμένη επιβράχυνση είναι αδιάστατο μέγεθος (καθαρός αριθμός). Επειδή $\Delta l < 0$, η ανηγμένη επιβράχυνση είναι αρνητική.

Τέλος, στη θλίψη ισχύει ο νόμος του Hooke, όπως και στον εφελκυσμό. Έτσι, η επιβράχυνση στην αναλογική περιοχή δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta l = -\frac{F \cdot l}{A \cdot E} \quad (1.9)$$

Το αρνητικό πρόσημο της σχέσεως (1.9) δηλώνει ότι έχουμε επιβράχυνση ($\Delta l < 0$).

Επίσης, η ανηγμένη επιβράχυνση (κατ' αντιστοιχία της ανηγμένης επιμηκύνσεως) σε μία θλιβόμενη ράβδο είναι ανάλογη με την τάση που ενεργεί σ' αυτήν:

$$\epsilon = -\frac{\sigma}{E} \quad (1.10)$$

Το αρνητικό πρόσημο της σχέσεως (1.10) δηλώνει ότι έχουμε επιβράχυνση ($\epsilon < 0$).

Το μέτρο ελαστικότητας E είναι το ίδιο στη θλίψη και στον εφελκυσμό.

Πρέπει να σημειώσουμε ότι ο νόμος του Hooke ισχύει και στην περίπτωση της θλίψεως μέχρι κάποιο όριο. Επομένως, πριν την εφαρμογή του νόμου θα πρέπει να ελέγχουμε εάν ο νόμος εφαρμόζεται. Τα όρια εφαρμογής του νόμου του Hooke στη θλίψη αναπτύσσονται στην παράγραφο 1.4.2.

Το Κεφάλαιο 3 περιγράφει αναλυτικά τις τάσεις και τις παραμορφώσεις στη θλίψη.

3.3 Τάσεις στη θλίψη

Οι τάσεις που εμφανίζονται στα σώματα που καταπονούνται σε θλίψη ονομάζονται τάσεις θλίψεως. Αποδεικνύεται ότι στη θλίψη, η εσωτερική δύναμη σε κάθε διατομή του σώματος είναι ίση με την εξωτερική F και άρα κάθετη στη διατομή του σώματος. Συνεπώς, οι τάσεις θλίψεως είναι ορθές τάσεις και υπολογίζονται κατ' ανάλογο τρόπο με τις τάσεις εφελκυσμού.

Έτσι: Ως τάση θλίψεως $\sigma_{\theta\lambda}$ ορίζουμε το πηλίκον της δυνάμεως F που ενεργεί κατά τον άξονα στερεού σώματος και το καταπονεί σε θλίψη προς το εμβαδόν A της διατομής του σώματος.

Δηλαδή, έχουμε:

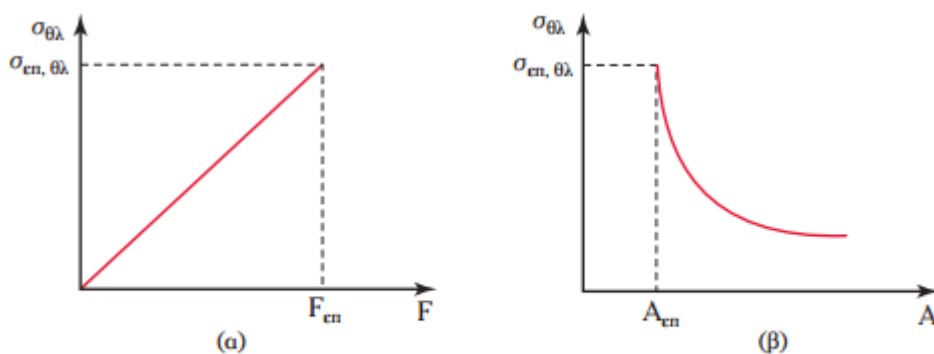
$$\sigma_{\theta\lambda} = \frac{F}{A} \quad (2.10)$$

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειώσουμε ότι, όπως και στην αντίστοιχη περίπτωση του εφελκυσμού, στον υπολογισμό της τάσεως θλίψεως λαμβάνομε υπόψη μόνο τη μία από τις δύο συγγραμμικές και αντίρροπες δυνάμεις που καταπονούν το στερεό σώμα σε θλίψη.

Από τη σχέση (2.10) προκύπτει ότι για την τάση θλίψεως ισχύουν τα εξής:

α) Η τάση θλίψεως είναι ανάλογη της θλίβουσας δυνάμεως. Η σχέση μεταξύ τάσεως θλίψεως και θλίβουσας δυνάμεως για την ίδια διατομή είναι γραμμική [σχ. 2.3β(α)].

β) Η τάση θλίψεως είναι αντιστρόφως ανάλογη της διατομής του σώματος που θλίβεται. Η σχέση μεταξύ τάσεως θλίψεως και εμβαδού διατομής απεικονίζεται στο σχήμα 2.3β(β). Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειώσουμε ότι η σχέση (2.10) δεν ισχύει για οποιεσδήποτε τιμές δυνάμεως και εμβαδού, αλλά μέχρι ορισμένες τιμές που αντιστοιχούν στο όριο θραύσεως του υλικού όπως αυτό ορίζεται για τη θλίψη (βλ. παράγρ. 1.4). Επίσης, σημειώνομε ότι το σχήμα 2.3β απεικονίζει τις τάσεις θλίψεως μέχρι την επιτρεπόμενη τάση θλίψεως $\sigma_{\text{επ, θλ}}$, την οποία αναπτύσσομε στην υποπαράγραφο 2.3.2



Σχ. 2.3β.

(α) Σχέση τάσεως θλίψεως και θλίβουσας δυνάμεως για σταθερή διατομή. (β) Σχέση τάσεως θλίψεως και εμβαδού διατομής για σταθερή θλίβουσα δύναμη.

3.4 Επιτρεπόμενη τάση θλίψεως

Όταν σε ένα θλιβόμενο σώμα εφαρμόζεται μεγάλη εξωτερική δύναμη, μεγαλύτερη απ' αυτή που μπορεί να αντέξει, τότε το σώμα αστοχεί/θραύεται. Για να αποφεύγεται η αστοχία/θραύση των σωμάτων κατά την καταπόνησή τους σε θλίψη πρέπει οι τάσεις θλίψεως που αναπτύσσονται να είναι πολύ μικρότερες από την τάση στην οποία το υλικό αστοχεί/θραύεται. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να οριστεί ένα όριο, πολύ μικρότερο απ' την τάση, στην οποία το υλικό αστοχεί/θραύεται, πάνω από το οποίο απαγορεύεται να λάβουν τιμές οι τάσεις θλίψεως. Δηλαδή, οι τάσεις που

αναπτύσσονται κατά τη θλίψη πρέπει να είναι μικρότερες ή το πολύ ίσες με το όριο αυτό. Η τάση αυτή ονομάζεται επιτρεπόμενη τάση θλίψεως.

Δηλαδή: Επιτρεπόμενη τάση θλίψεως μίας κατασκευής ονομάζεται η μέγιστη τάση που επιτρέπεται να αναπτυχθεί στην κατασκευή όταν καταπονείται σε θλίψη, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος καταστροφής της.

Η επιτρεπόμενη τάση θλίψεως συμβολίζεται με $\sigma_{\text{επ,θλ}}$ και προσδιορίζεται συνήθως με τη βοήθεια του συντελεστή ασφαλείας για τη θλίψη. Το φορτίο $F_{\text{επ}}$, που αντιστοιχεί στην επιτρεπόμενη τάση θλίψεως ονομάζεται επιτρεπόμενο φορτίο θλίψεως.

3.5 Συντελεστής ασφαλείας για τη θλίψη

Συντελεστής ασφαλείας ν για τη θλίψη ονομάζεται ο αριθμός που δείχνει πόσες φορές μικρότερη είναι η επιτρεπόμενη τάση θλίψεως $\sigma_{\text{επ,θλ}}$ σε μια κατασκευή από την τάση $\sigma_{\text{θρ,θλ}}$ στην οποία το υλικό αποχθεί/θραύεται όταν θλίβεται.

Δηλαδή, ο συντελεστής ασφαλείας δίνεται από τη σχέση:

$$\nu = \frac{\sigma_{\text{θρ,θλ}}}{\sigma_{\text{επ,θλ}}} \quad (2.11)$$

Λύνοντας τη σχέση (2.11) ως προς την επιτρεπόμενη τάση θλίψεως, έχουμε:

$$\sigma_{\text{επ,θλ}} = \frac{\sigma_{\text{θρ,θλ}}}{\nu} \quad (2.12)$$

ο καθορισμός του συντελεστή ασφαλείας μιας κατασκευής είναι πολύ σημαντικό στοιχείο για την κατασκευή και δεν αποτελεί εύκολη υπόθεση. Ο καθορισμός αυτός προϋποθέτει τόσο την καλή γνώση της αντοχής υλικών και των παραγόντων που επιδρούν στην κατασκευή, όσο και την εμπειρία στα θέματα αυτά.

3.6 Σχέση θλίψεως

Κατ' αναλογία της περιπτώσεως του εφελκυσμού, η τάση θλίψεως $\sigma_{\text{θλ}}$ πρέπει να είναι μικρότερη ή το πολύ ίση με την επιτρεπόμενη τάση θλίψεως $\sigma_{\text{επ,θλ}}$, δηλαδή:

$$\sigma_{\theta\lambda} = \frac{F}{A} \leq \sigma_{\text{επ},\theta\lambda} \quad (2.13)$$

Η σχέση (2.13) είναι γνωστή ως σχέση θλίψεως.

Κατ' αναλογία με τη σχέση εφελκυσμού, η σχέση θλίψεως εφαρμόζεται μόνον εφόσον ισχύουν όλες οι ακόλουθες προϋποθέσεις:

α) Το θλιβόμενο σώμα είναι ευθύγραμμο. Αν δεν ισχύει η προϋπόθεση αυτή τότε έχουμε την εμφάνιση σύνθετης καταπόνησεως.

β) Η θλίψη είναι αξονική. Δηλαδή, η δύναμη που θλίβει το σώμα ενεργεί στον κεντρικό άξονά του.

γ) Το υλικό του θλιβόμενου σώματος είναι ομοιογενές. Δηλαδή, το υλικό έχει σε όλη την έκταση της μάζας του τις ίδιες ιδιότητες, με αποτέλεσμα οι εσωτερικές δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά την καταπόνηση σε θλίψη να είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες.

3.7 Εφαρμογές της σχέσεως θλίψεως

Η σχέση θλίψεως εφαρμόζεται στα προβλήματα σωμάτων που καταπονούνται ή αναμένεται να καταπονηθούν σε θλίψη. Όπως και στην περίπτωση του εφελκυσμού, τα προβλήματα της θλίψεως διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το ποια δεδομένα από αυτά που εμφανίζονται στη σχέση θλίψεως είναι γνωστά και ποιο είναι το ζητούμενο. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι ακόλουθες:

1) Κατηγορία Ι – Προβλήματα στα οποία ζητείται να υπολογιστεί η τάση λειτουργίας της κατασκευής.

Στα προβλήματα αυτά μας είναι γνωστά η θλίβουσα δύναμη (το φορτίο), το εμβαδόν της διατομής και η επιτρεπόμενη τάση θλίψεως και μας ζητούν να προσδιορίσουμε την τάση θλίψεως που αναπτύσσεται στην κατασκευή και να ελέγξουμε εάν η εν λόγω τάση είναι μικρότερη απ' την επιτρεπόμενη (πίν. 2.3.1).

Πίνακας 2.3.1.

Δεδομένα	Ζητούμενα
Θλίβουσα δύναμη: F	Τάση θλίψεως: $\sigma_{\theta\lambda}$
Εμβαδόν διατομής: A	Είναι η τάση θλίψεως μικρότερη από την επιτρεπόμενη; $\sigma_{\text{επ.}\theta\lambda}$? $\sigma_{\theta\lambda}$
Επιτρεπόμενη τάση θλίψεως: $\sigma_{\text{επ.}\theta\lambda}$	

Τα βήματα που ακολουθούμε για την επίλυση των προβλημάτων αυτών είναι τα εξής:

α) Προσδιορίζουμε την τάση θλίψεως από τη σχέση: $\theta\lambda F \sigma = A$.

β) Συγκρίνουμε την τάση θλίψεως με την επιτρεπόμενη τάση θλίψεως: $\sigma_{\text{επ.}\theta\lambda}$? $\sigma_{\theta\lambda}$

2) Κατηγορία II – Προβλήματα διαστασιολογήσεως (ή υπολογισμού απαιτούμενης διατομής).

Στα προβλήματα αυτά μας είναι γνωστά η θλίβουσα δύναμη (το φορτίο) και η επιτρεπόμενη τάση θλίψεως και μας ζητούν να προσδιορίσουμε το εμβαδόν της απαιτούμενης διατομής του θλιβόμενου σώματος (πίν. 2.3.2).

Πίνακας 2.3.2.

Δεδομένα	Ζητούμενα
Θλίβουσα δύναμη: F	Εμβαδόν διατομής: A
Επιτρεπόμενη τάση θλίψεως: $\sigma_{\text{επ.}\theta\lambda}$	

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, τα προβλήματα διαστασιολογήσεως είναι ιδιαίτερα σημαντικά για την Αντοχή των Υλικών, καθώς αποτελούν τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι κατασκευαστές κατά το σχεδιασμό των κατασκευών.

Τα βήματα που ακολουθούμε για την επίλυση των προβλημάτων αυτών είναι τα εξής:

α) Προσδιορίζουμε το εμβαδόν της απαιτούμενης διατομής, λύνοντας τη σχέση θλίψεως ως προς αυτό. Έτσι λαμβάνουμε:

$$A \geq \frac{F}{\sigma_{\text{επ.}\theta\lambda}}$$

β) Επειδή δεν είναι απαραίτητο να υπάρχει πάντοτε διαθέσιμη διατομή με το μέγεθος επιφάνειας που προσδιορίσαμε στο βήμα (α), επιλέγουμε ανάμεσα στις διαθέσιμες διατομές τη μικρότερη απ' αυτές που ικανοποιούν το αποτέλεσμα του βήματος (α).

γ) Επιβεβαιώνουμε ότι για τη διατομή που επιλέγουμε στο βήμα (β), η τάση θλίψεως που αναπτύσσεται είναι μικρότερη ή το πολύ ίση με την επιτρεπόμενη τάση θλίψεως.

3) Κατηγορία III – Προβλήματα υπολογισμού του φορτίου που αντέχει ένα θλιβόμενο σώμα (ικανότητα φορτίσεως).

Στα προβλήματα αυτά μας είναι γνωστά η επιφάνεια της διατομής του σώματος και η επιτρεπόμενη τάση θλίψεως και μας ζητούν να προσδιορίσουμε το φορτίο που επιτρέπεται να ενεργεί στο σώμα όταν καταπονείται σε θλίψη (πίν. 2.3.3).

Πίνακας 2.3.3.

<i>Δεδομένα</i>	<i>Ζητούμενα</i>
Εμβαδόν διατομής: A	Θλίβουσα δύναμη: F
Επιτρεπόμενη τάση θλίψεως: $\sigma_{\text{cm, θλ}}$	

Για την επίλυση των προβλημάτων αυτών προσδιορίζουμε το φορτίο που μπορεί να αντέξει το σώμα, λύνοντας τη σχέση θλίψεως ως προς τη θλίβουσα δύναμη. Έτσι λαμβάνουμε:

$$F \leq \sigma_{\text{cm, θλ}} \cdot A.$$

3.8 Παραμορφώσεις στη θλίψη

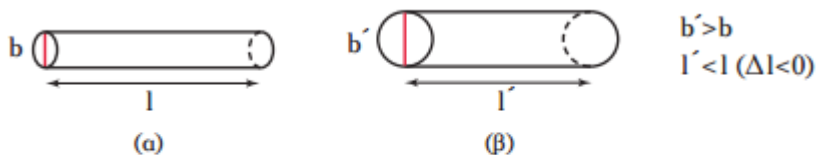
Οι παραμορφώσεις από την καταπόνηση σε θλίψη που προκαλούνται σ' ένα σώμα είναι οι ακόλουθες:

α) Ελάττωση του μήκους του στερεού σώματος που αφορά στην ελάττωση του αρχικού μήκους l κατά Δl κατά τη διεύθυνση εφαρμογής της εξωτερικής δύναμης F . Επειδή μιλούμε για ελάττωση, ισχύει $\Delta l < 0$.

β) Αύξηση της διατομής του στερεού σώματος. Η αύξηση αυτή αφορά στη διατομή που είναι κάθετη στη διεύθυνση εφαρμογής της δύναμης F . Εάν b είναι η αρχική διάσταση της διατομής πριν την εφαρμογή της δύναμης, τότε κατά τη θλίψη η διάσταση αυτή αυξάνει κατά $\Delta b = b' - b$ και γίνεται ίση με $b' > b$.

Οι παραμορφώσεις της ελαττώσεως του μήκους και της αύξησεως της διατομής παρουσιάζονται στο σχήμα 2.3δ. Οι παραμορφώσεις αυτές δεν συμβαίνουν ανεξάρτητα η μία της άλλης, αλλά εμφανίζονται μαζί. Δηλαδή, η ελάττωση του μήκους συνοδεύεται με αύξηση της διατομής του στερεού σώματος. Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειώσουμε ότι συνήθως η ελάττωση του μήκους είναι πολύ μικρή σε σχέση με το αρχικό μήκος. Ομοίως, η αύξηση της διατομής είναι πολύ μικρή σε σχέση με το μέγεθος της αρχικής διατομής. Αυτό έχει ως συνέπεια πολλές φορές να μην γίνονται άμεσα αντιληπτές οι παραμορφώσεις αυτές. Ωστόσο, συμβαίνουν πάντοτε κατά την καταπόνηση σε θλίψη ενός σώματος. Σημειώνουμε ότι το σχήμα 2.3δ(β) δεν παρουσιάζει τη

ρεαλιστική εικόνα που έχει το καταπονούμενο σε θλίψη σώμα, αλλά δείχνει μόνο την έννοια των δύο παραμορφώσεων που αναφέρομε. Στην πραγματικότητα το σώμα παίρνει τη μορφή βαρελιού.



Σχ. 2.36.

Μήκος και διατομή στερεού σώματος: (α) Πριν την καταπόνησή του σε θλίψη.

(β) Κατά την καταπόνησή του σε θλίψη.

Οι παραμορφώσεις αυτές στην αναλογική περιοχή υπολογίζονται με τη βοήθεια των ακόλουθων σχέσεων:

α) Του νόμου του Hooke (βλ. παράγρ. 1.2):

$$\Delta l = -\frac{F \cdot l}{A \cdot E} \quad (2.14)$$

όπου το αρνητικό πρόσημο δηλώνει την ελάττωση του μήκους ($\Delta l < 0$).

β) Της σχέσεως ορισμού της ανηγμένης επιβραχύνσεως (βλ. υποπαράγρ. 1.2.1):

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (2.15)$$

γ) Της σχέσεως ορισμού της εγκάρσιας ανηγμένης παραμορφώσεως (βλ. παράγρ. 1.5):

$$\epsilon_g = \frac{\Delta b}{b} = \frac{b' - b}{b} \quad (2.16)$$

δ) Του λόγου Poisson (βλ. παράγρ. 1.5):

$$\mu = -\frac{\epsilon_g}{\epsilon} \quad (2.17)$$

Η ελάττωση του μήκους υπολογίζεται από τη σχέση (2.14). Η αύξηση της διαστάσεως της διατομής υπολογίζεται συνδυάζοντας τις ανωτέρω σχέσεις. Συγκεκριμένα, αντικαθιστώντας τις σχέσεις (2.14), (2.15) και (2.16) στη σχέση (2.17) λαμβάνομε:

$$\begin{aligned} \mu = -\frac{\epsilon_g}{\epsilon} &\Leftrightarrow \mu = -\frac{\frac{\Delta b}{b}}{\frac{\Delta l}{l}} \Leftrightarrow \mu = -\frac{\Delta b \cdot l}{b \cdot \Delta l} \Leftrightarrow \Delta b = -\frac{\mu \cdot b \cdot \Delta l}{l} \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow \Delta b = \frac{\mu \cdot b}{l} \cdot \frac{F \cdot l}{A \cdot E} \Leftrightarrow \Delta b = \frac{\mu \cdot b \cdot F}{A \cdot E} \end{aligned} \quad (2.18)$$

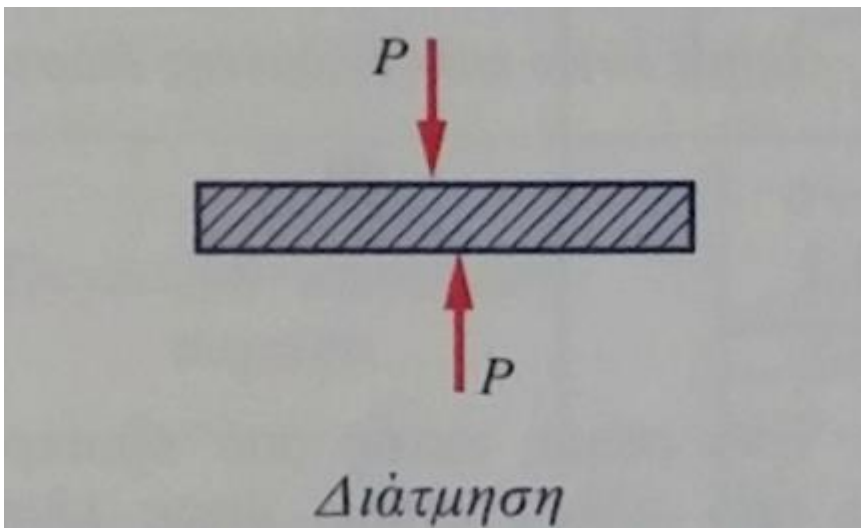
Το θετικό πρόσημο της μεταβολής $\Delta b = b' - b$ δηλώνει ότι έχουμε αύξηση της διατομής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΡΙ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό μελετούμε τις καταπονήσεις της διάτμησης. Συγκεκριμένα, παραθέτουμε τους ορισμούς της καταπόνησης αυτής, παρουσιάζουμε παραδείγματα εφαρμογής της και επεξηγούμε της αναπτυσσόμενες τάσεις και παραμορφώσεις. Επίσης, αναλύουμε την έννοια της επιτρεπόμενης τάσεως και του συντελεστή ασφαλείας για την καταπόνηση αυτήν και επεξηγούμε τις σχέσεις διάτμησης.



4.2 Τμήση και διάτμηση

Διάτμηση: Ένα σώμα καταπονείται σε διάτμηση, όταν δύο ίσες και αντίθετες δυνάμεις επενεργούν κάθετα στον άξονά του.

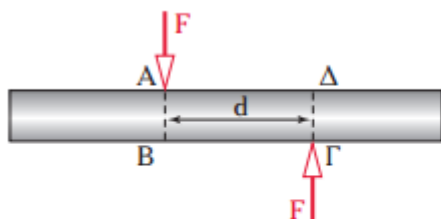
Στην ειδική περίπτωση που η απόσταση μεταξύ των δύο ίσων και παραλλήλων δυνάμεων μέτρου F αλλά αντίθετης φοράς, οι οποίες καταπονούν ένα σώμα σε διάτμηση (σχ. 2.8β), είναι μικρή, τότε λέμε ότι έχουμε καταπόνηση σε τμήση ή καθαρή διάτμηση ή ψαλιδισμό.

Στην καταπόνηση της τμήσεως δεν αναπτύσσεται ροπή κάμψεως, άρα δεν υπάρχει κάμψη.

Αντίθετα, στην καταπόνηση της διατμήσεως, λόγω της αποστάσεως μεταξύ των δυνάμεων αναπτύσσεται ροπή κάμψεως. Ωστόσο, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων είναι πολύ μικρή.

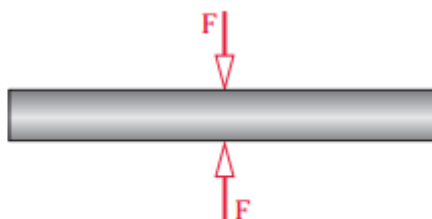
Επίσης, στην πράξη δεν έχουμε τμήση, αλλά μόνο διάτμηση, καθώς στην πραγματικότητα υπάρχει, έστω και πολύ μικρή απόσταση μεταξύ των δύο ίσων και παραλλήλων αλλά αντίθετης φοράς δυνάμεων που καταπονούν ένα σώμα. Έτσι, πρακτικά οι όροι τμήση και διάτμηση έχουν την ίδια έννοια και θεωρούμε για τους υπολογισμούς μας ότι είναι ταυτόσημοι.

Η καταπόνηση της διατμήσεως παρατηρείται σε πάρα πολλές περιπτώσεις στην καθημερινή μας ζωή. Χαρακτηριστικά παραδείγματα στερεών σωμάτων που καταπονούνται σε διάτμηση είναι οι ήλοι (καρφιά) και οι κοχλίες (μπουλόνια) που συνδέουν ελάσματα, οι άξονες που κόβονται από ψαλίδι κ.λπ..



Σχ. 2.8α.

Ράβδος που καταπονείται σε διάτμηση.



Σχ. 2.8β.

Ράβδος που καταπονείται σε καθαρή διάτμηση.

4.3 Τάσεις στη διάτμηση

Η εφαρμογή των εξωτερικών δυνάμεων μέτρου F που καταπονούν ένα σώμα σε διάτμηση προκαλεί την εμφάνιση εσωτερικών δυνάμεων στο σώμα και άρα την εμφάνιση τάσεων στο

υλικό του. Οι τάσεις αυτές που εμφανίζονται στα σώματα που καταπονούνται σε διάτμηση ονομάζονται διατμητικές τάσεις. Αποδεινύεται ότι στη διάτμηση, η εσωτερική δύναμη σε κάθε διατομή του σώματος είναι ίση με την εξωτερική δύναμη F και άρα εφαπτομενική στη διατομή του σώματος. Οι ανωτέρω ιδιότητες των διατμητικών τάσεων μας οδηγούν στη διατύπωση του ακόλουθου ορισμού για τη διατμητική τάση.

Ως διατμητική τάση $\tau_{\text{δι}}$ ορίζομε το πηλίκον της δυνάμεως F που ενεργεί εφαπτομενικά στη διατομή στερεού σώματος και το καταπονεί σε διάτμηση προς το εμβαδόν A της διατομής του σώματος.

Δηλαδή, έχουμε:

$$\tau_{\text{δι}} = \frac{F}{A} \quad (2.44)$$

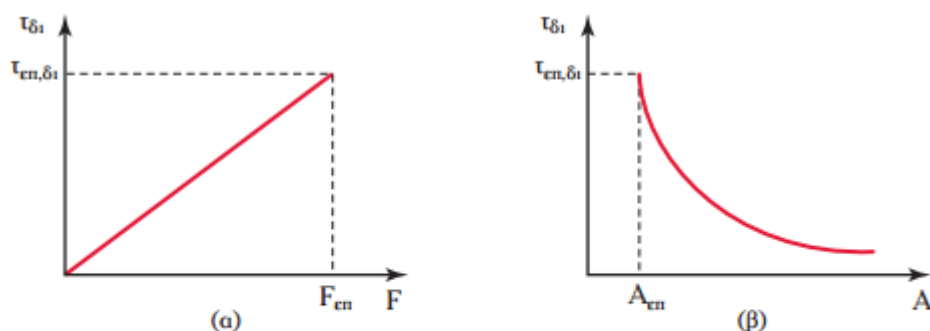
Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειώσομε ότι η σχέση (2.44) ισχύει υπό την προϋπόθεση ότι οι διατμητικές τάσεις δεν συνδέονται με καμπτικές παραμορφώσεις. Επίσης σημειώνομε ότι στον υπολογισμό της διατμητικής τάσεως λαμβάνομε υπόψη μόνο τη μία από τις δύο συγγραμμικές και αντίρροπες δυνάμεις που καταπονούν το στερεό σώμα σε διάτμηση.

Από τη σχέση (2.44) βλέπομε ότι για τη διατμητική τάση ισχύουν τα εξής:

α) Η διατμητική τάση είναι ανάλογη της διατμητικής δυνάμεως [σχ. 2.8γ(α)].

β) Η διατμητική τάση είναι αντιστρόφως ανάλογη της διατομής του σώματος που καταπονείται σε διάτμηση [σχ. 2.8γ(β)].

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειώσομε ότι η σχέση (2.44) δεν ισχύει για οποιεσδήποτε τιμές δυνάμεως και εμβαδού, αλλά μέχρι ορισμένες τιμές που αντιστοιχούν στο όριο θραύσεως του υλικού για την καταπόνησή του σε διάτμηση. Επίσης, σημειώνομε ότι το σχήμα 2.8γ απεικονίζει τις τάσεις διατμήσεως μέχρι την επιτρεπόμενη τάση διατμήσεως $\tau_{\text{επ, δι}}$ (βλ. υποπαράγρ. 2.8.3).



Σχ. 2.8γ.

(α) Σχέση διατμητικής τάσεως και διατμητικής δυνάμεως για σταθερή διατομή. (β) Σχέση διατμητικής τάσεως και εμβαδού διατομής για σταθερή διατμητική δύναμη.

4.4 Επιτρεπόμενη τάση διατμήσεως

Κατ' αναλογία των περιπτώσεων του εφελκυσμού και της θλίψεως, όταν σε ένα σώμα που καταπονείται σε διάτμηση εφαρμόζεται μεγάλη εξωτερική διατμητική δύναμη, μεγαλύτερη απ' αυτήν που μπορεί να αντέξει, τότε το σώμα θραύεται. Για να αποφεύγεται η θραύση των σωμάτων κατά την καταπόνησή τους σε διάτμηση πρέπει οι διατμητικές τάσεις που αναπτύσσονται να είναι πολύ μικρότερες απ' την τάση, στην οποία το υλικό θραύεται. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να οριστεί ένα όριο, πολύ μικρότερο απ' την τάση στην οποία το υλικό θραύεται, πάνω από το οποίο απαγορεύεται να λάβουν τιμές οι διατμητικές τάσεις. Δηλαδή, οι τάσεις που αναπτύσσονται κατά τη διάτμηση πρέπει να είναι μικρότερες ή το πολύ ίσες με το όριο αυτό. Η τάση αυτή ονομάζεται επιτρεπόμενη τάση διατμήσεως. Δηλαδή:

Επιτρεπόμενη τάση διατμήσεως μίας κατασκευής ονομάζεται η μέγιστη τάση που επιτρέπεται να αναπτυχθεί στην κατασκευή όταν καταπονείται σε διάτμηση, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος καταστροφής της.

Η επιτρεπόμενη τάση διατμήσεως συμβολίζεται με $\tau_{\text{επ, δι}}$ και προσδιορίζεται συνήθως με τη βοήθεια του συντελεστή ασφαλείας ή της επιτρεπόμενης τάσεως εφελκυσμού.

Η έννοια του συντελεστή ασφαλείας είναι ίδια με την αντίστοιχη για τις καταπονήσεις του εφελκυσμού και της θλίψεως. Πολλές φορές, η επιτρεπόμενη τάση διατμήσεως υπολογίζεται ως ένα ποσοστό της επιτρεπόμενης τάσεως εφελκυσμού. Συνήθως, λαμβάνομε ως επιτρεπόμενη τάση διατμήσεως το 60% της επιτρεπόμενης τάσεως εφελκυσμού, δηλαδή:

$$\tau_{\text{επ, δι}} = 0,6 \cdot \sigma_{\text{επ, εφ}} \quad (2.45)$$

Το φορτίο $F_{\text{επ}}$ που αντιστοιχεί στην επιτρεπόμενη τάση διατμήσεως ονομάζεται επιτρεπόμενο φορτίο διατμήσεως.

4.5 Συντελεστής ασφαλείας για τη διάτμηση

Συντελεστής ασφαλείας ν για τη διάτμηση ονομάζεται ο αριθμός που δείχνει πόσες φορές μικρότερη είναι η επιτρεπόμενη τάση διατμήσεως $\tau_{\text{επ,δι}}$ σε μία κατασκευή από την τάση $\tau_{\text{θρ,δι}}$ στην οποία το υλικό θραύεται όταν καταπονείται σε διάτμηση.

Δηλαδή, ο συντελεστής ασφαλείας δίνεται από τη σχέση:

$$\nu = \frac{\tau_{\text{θρ,δι}}}{\tau_{\text{επ,δι}}} \quad (2.46)$$

Λύνοντας τη σχέση (2.46) ως προς την επιτρεπόμενη τάση διατμήσεως, έχουμε:

$$\tau_{\text{επ,δι}} = \frac{\tau_{\text{θρ,δι}}}{\nu} \quad (2.47)$$

Ο καθορισμός του συντελεστή ασφαλείας μίας κατασκευής είναι πολύ σημαντικό στοιχείο για την κατασκευή και δεν αποτελεί εύκολη υπόθεση. Ο καθορισμός αυτός προϋποθέτει τόσο την καλή γνώση της αντοχής υλικών και των παραγόντων που επιδρούν στην κατασκευή, όσο και την εμπειρία στα θέματα αυτά.

4.6 Σχέση διατμήσεως

Όπως προαναφέραμε, η τάση διατμήσεως $\tau_{\text{δι}}$ πρέπει να είναι μικρότερη ή το πολύ ίση με την επιτρεπόμενη τάση διατμήσεως $\tau_{\text{επ,δι}}$, δηλαδή:

$$\tau_{\text{δι}} = \frac{F}{A} \leq \tau_{\text{επ,δι}} \quad (2.48)$$

Η σχέση (2.48) είναι γνωστή ως σχέση διατμήσεως.

Η σχέση διατμήσεως εφαρμόζεται υπό την προϋπόθεση ότι το υλικό του καταπονούμενου σώματος είναι ομογενές. Δηλαδή, το υλικό έχει σε όλη την έκταση της μάζας του τις ίδιες ιδιότητες, με αποτέλεσμα οι εσωτερικές δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά την καταπόνηση σε διάτμηση να είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες.

4.7 Εφαρμογές της σχέσης διατμήσεως

Κατ' αναλογία των καταπονήσεων του εφελκυσμού και της θλίψεως, η σχέση διατμήσεως εφαρμόζεται στα προβλήματα σωμάτων που καταπονούνται ή αναμένεται να καταπονηθούν σε διάτμηση. Τα προβλήματα αυτά διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με το ποια δεδομένα από αυτά που εμφανίζονται στη σχέση διατμήσεως είναι γνωστά και ποιο είναι το ζητούμενο. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι εξής:

1) Κατηγορία I – Προβλήματα στα οποία ζητείται να υπολογιστεί η τάση λειτουργίας της κατασκευής.

Όπως και στις αντίστοιχες περιπτώσεις του εφελκυσμού και της θλίψεως, τα δεδομένα και ζητούμενα στοιχεία των προβλημάτων της κατηγορίας αυτής για τη διάτμηση παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα 2.8.1.

Πίνακας 2.8.1.

<i>Δεδομένα</i>	<i>Ζητούμενα</i>
Διατμητική δύναμη: F	Τάση διατμήσεως: τ_{δ}
Εμβαδόν διατομής: A	Είναι η τάση διατμήσεως μικρότερη από την επιτρεπόμενη;
Επιτρεπόμενη τάση διατμήσεως: $\tau_{\text{εν, } \delta\iota}$	$\tau_{\text{εν, } \delta\iota} ? \tau_{\delta}$

Τα βήματα που ακολουθούμε για την επίλυση των προβλημάτων αυτών είναι τα εξής:

α) Προσδιορίζουμε την τάση διατμήσεως από τη σχέση: $\delta\iota F \tau = A$.

β) Συγκρίνουμε την τάση διατμήσεως με την επιτρεπόμενη τάση διατμήσεως: $\tau_{\text{επ, } \delta\iota} ? \tau_{\delta}$.

2) Κατηγορία II – Προβλήματα διαστασιολογήσεως (ή υπολογισμού απαιτούμενης διατομής).

Όπως και στις αντίστοιχες περιπτώσεις του εφελκυσμού και της θλίψεως, τα δεδομένα και ζητούμενα στοιχεία των προβλημάτων της κατηγορίας αυτής για τη διάτμηση παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα 2.8.2.

Πίνακας 2.8.2.

<i>Δεδομένα</i>	<i>Ζητούμενα</i>
Διατμητική δύναμη: F	Εμβαδόν διατομής: A
Επιτρεπόμενη τάση διατμήσεως: $\tau_{\text{εν, } \delta\iota}$	

Τα βήματα που ακολουθούμε για την επίλυση των προβλημάτων αυτών είναι τα εξής:

α) Προσδιορίζουμε το εμβαδόν της απαιτούμενης διατομής, λύνοντας τη σχέση διατμήσεως ως προς αυτό. Έτσι λαμβάνουμε:

$$A \geq \frac{F}{\tau_{\text{εν, } \delta\iota}}$$

β) Επειδή δεν είναι απαραίτητο να υπάρχει πάντοτε διαθέσιμη διατομή με το μέγεθος επιφάνειας που προσδιορίσαμε στο βήμα (α), επιλέγουμε ανάμεσα στις διαθέσιμες διατομές τη μικρότερη απ' αυτές που ικανοποιούν το αποτέλεσμα του βήματος (α).

γ) Επιβεβαιώνουμε ότι για τη διατομή που επιλέγουμε στο βήμα (β), η διατμητική τάση που αναπτύσσεται είναι μικρότερη ή το πολύ ίση με την επιτρεπόμενη τάση διατμήσεως.

3) Κατηγορία III – Προβλήματα υπολογισμού του φορτίου που αντέχει ένα σώμα καταπονούμενο σε διάτμηση (ικανότητα φορτίσεως).

Όπως και στις αντίστοιχες περιπτώσεις του εφελκυσμού και της θλίψεως, τα δεδομένα και ζητούμενα στοιχεία των προβλημάτων της κατηγορίας αυτής για τη διάτμηση παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα 2.8.3.

Πίνακας 2.8.3.

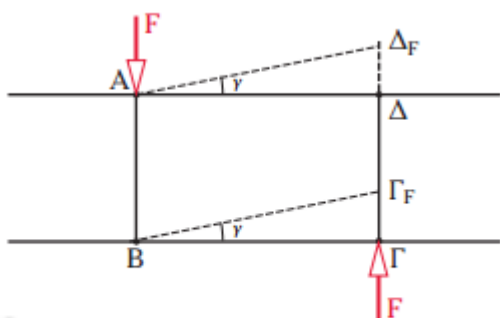
<i>Δεδομένα</i>	<i>Ζητούμενα</i>
Εμβαδόν διατομής: A	Διατμητική δύναμη: F
Επιτρεπόμενη τάση διατμήσεως: $\tau_{\text{επ, δτ}}$	

Για την επίλυση των προβλημάτων αυτών προσδιορίζουμε το φορτίο που μπορεί να αντέξει το σώμα, λύνοντας τη σχέση διατμήσεως ως προς τη διατμητική δύναμη. Έτσι λαμβάνουμε: $F \leq \tau_{\text{επ, δτ}} \cdot A$.

4.8 Παραμορφώσεις στη διάτμηση

Προκειμένου να μελετήσουμε τις παραμορφώσεις στη διάτμηση ας δούμε με λεπτομέρεια τις διατομές μιας περιοχής της ράβδου του σχήματος 2.8στ που καταπονείται σε διάτμηση. Η περιοχή αυτή οριοθετείται από τα σημεία Α, Β, Γ και Δ. Ας υποθέσουμε, για λόγους απλότητας, ότι κρατούμε σταθερή τη διατομή ΑΒ. Λόγω της εφαρμογής των δύο δυνάμεων F, οι διατομές της ράβδου από τη διατομή ΑΒ μέχρι τη διατομή ΓΔ ολισθαίνουν η μία πάνω στην άλλη, χωρίς να αλλάζουν οι διαστάσεις τους, με αποτέλεσμα το σώμα να παραμορφώνεται κατά γωνία γ . Συνεπώς, στην καταπόνηση της διατμήσεως έχουμε ολίσθηση του σώματος κατά γωνία γ . Η γωνία ολισθήσεως γ μετρείται σε ακτίνια (rad) ή μοίρες (ο). Ισχύει ότι $\pi \text{rad} = 180\text{o}$. Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειώσουμε ότι συνήθως η ολίσθηση είναι πολύ μικρή. Αυτό έχει ως συνέπεια πολλές

φορές να μην γίνεται άμεσα αντιληπτή η παραμόρφωση αυτή. Ωστόσο, η παραμόρφωση αυτή συμβαίνει πάντοτε κατά την καταπόνηση σε διάτμηση ενός σώματος.



Σχ. 2.8στ.

Παραμορφώσεις στη διάτμηση.

Η παραμόρφωση της ολισθήσεως υπολογίζεται από την τάση διατμήσεως τ_{di} με τη βοήθεια του ακόλουθου νόμου του Hooke που ισχύει για τη γωνία ολισθήσεως στην αναλογική περιοχή:

$$\gamma = \frac{1}{G} \tau_{di} \quad (2.49)$$

όπου η γωνία ολισθήσεως γ μετρείται σε ακτίνια (rad).

Από τη σχέση (2.49) προκύπτει ότι η γωνία ολισθήσεως είναι ανάλογη της τάσεως διατμήσεως και εξαρτάται από το υλικό.

Η σταθερά G ονομάζεται μέτρο ολισθήσεως του υλικού, εκφράζει τη σχέση υλικού και ολισθήσεως και είναι χαρακτηριστική σταθερά για κάθε υλικό. Το μέτρο ολισθήσεως του υλικού είναι το αντίστοιχο του μέτρου ελαστικότητας που συναντήσαμε στο νόμο του Hooke για τον εφελκυσμό και τη θλίψη και για το λόγο αυτό ονομάζεται και μέτρο ελαστικότητας σε διάτμηση. Οι μονάδες μετρήσεως του μέτρου ολισθήσεως ενός υλικού είναι ίδιες με τις μονάδες μετρήσεως του μέτρου ελαστικότητάς του.

Το μέτρο ελαστικότητας E και το μέτρο ολισθήσεως G συνδέονται με το λόγο Poisson μ, μέσω της ακόλουθης σχέσεως:

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \mu)} \quad (2.50)$$

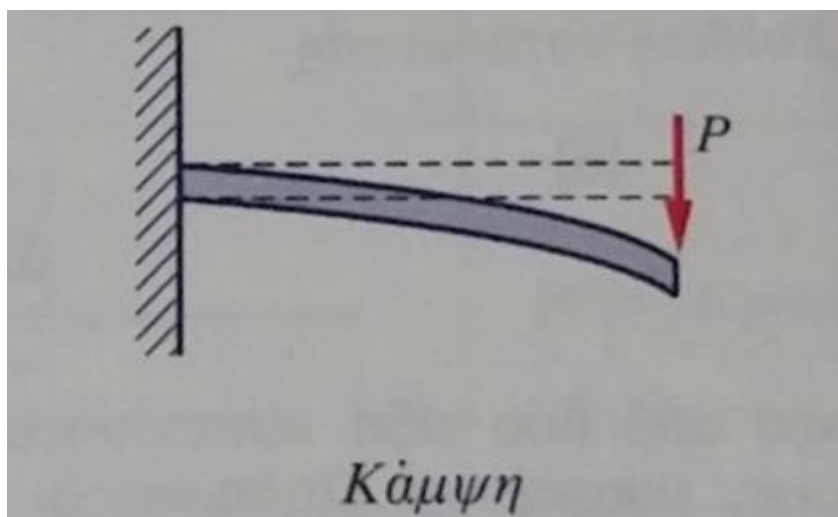
Σημειώνουμε ότι γενικά για τη γωνία ολισθήσεως ισχύουν αντίστοιχα όσα ισχύουν για την ανηγμένη παραμόρφωση (επιμήκυνση/επιβράχυνση) στον εφελκυσμό και τη θλίψη (αναλογική περιοχή, ελαστική περιοχή, πλαστική περιοχή, όριο θραύσεως κ.λπ.).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΡΙ ΚΑΜΨΗΣ

5.1 Εισαγωγή

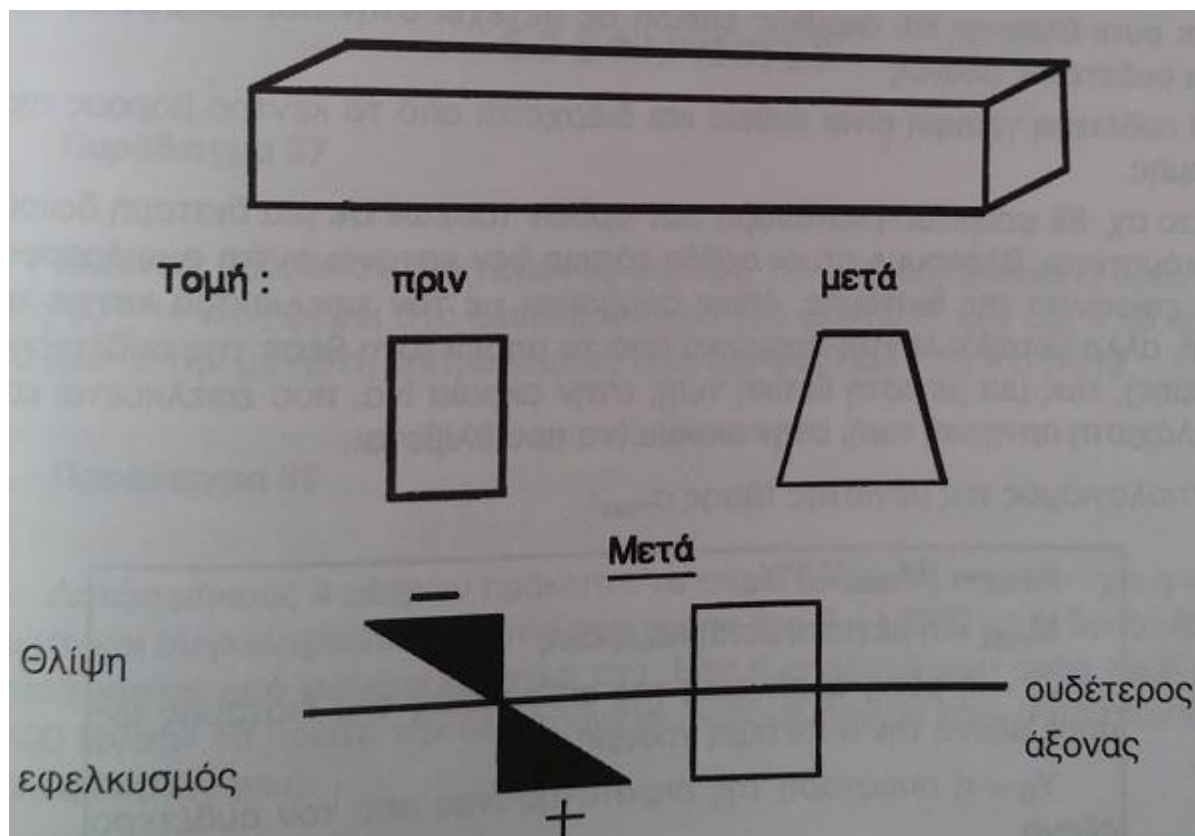
Στο κεφάλαιο αυτό μελετούμε τις καταπονήσεις της κάμψης. Συγκεκριμένα, παραθέτουμε τους ορισμούς της καταπόνησης αυτής, παρουσιάζουμε παραδείγματα εφαρμογής της και επεξηγούμε της αναπτυσσόμενες τάσεις και παραμορφώσεις.



5.1 Τάσεις που προκύπτουν από καθαρή κάμψη

Όπως έχουμε αναφέρει κάμψη δημιουργείται όταν ενεργούν δυνάμεις κάθετα στον άξονα της δοκού με αποτέλεσμα να προκαλούν καμπτικές ροπές.

Έστω κομμάτι δοκού πριν και μετά την κάμψη.



Αναλυτικότερα:

Ας υποθέσουμε ότι η δοκός αποτελείται από ίνες παράλληλες προς τον άξονά της. Όταν η δοκός φορτιστεί ο ευθύγραμμος άξονάς της θα καμπυλώσει. Οι ίνες που βρίσκονται κάτω από τον άξονα επιμηκύνονται, ενώ οι ίνες που βρίσκονται πάνω από τον άξονα βραχύνονται. Η επιμήκυνση στις κάτω ίνες οφείλεται στις εφελκυστικές τάσεις που αναπτύσσονται στο κάτω μέρος της δοκού ενώ η βράχυνση στις πάνω ίνες οφείλεται στις θλιπτικές τάσεις που αναπτύσσονται στο πάνω μέρος της δοκού.

Μεταξύ των δύο περιοχών υπάρχει μία στρώση ινών, η οποία ούτε εφελκύεται ούτε θλίβεται και ακριβώς επειδή δε μετέχει στην παραμόρφωση καλείται ουδέτερος άξονας.

Η ουδέτερη γραμμή είναι ευθεία και διέρχεται από το κέντρο βάρους της διατομής.

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται η κατανομή των ορθών τάσεων σε μια διατομή δοκού που κάμπτεται. Βλέπουμε ότι οι ορθές τάσεις δεν κατανέμονται ομοιόμορφα στην επιφάνεια της διατομής, όπως συμβαίνει με τον εφελκυσμό και με τη θλίψη, αλλά μεταβάλλονται γραμμικά από το μηδέν (στη θέση της ουδέτερης γραμμής), έως μια μέγιστη θετική τιμή, στην ακραία ίνα, που εφελκύεται και μια ελάχιστη αρνητική τιμή, στην ακραία ίνα που θλίβεται.

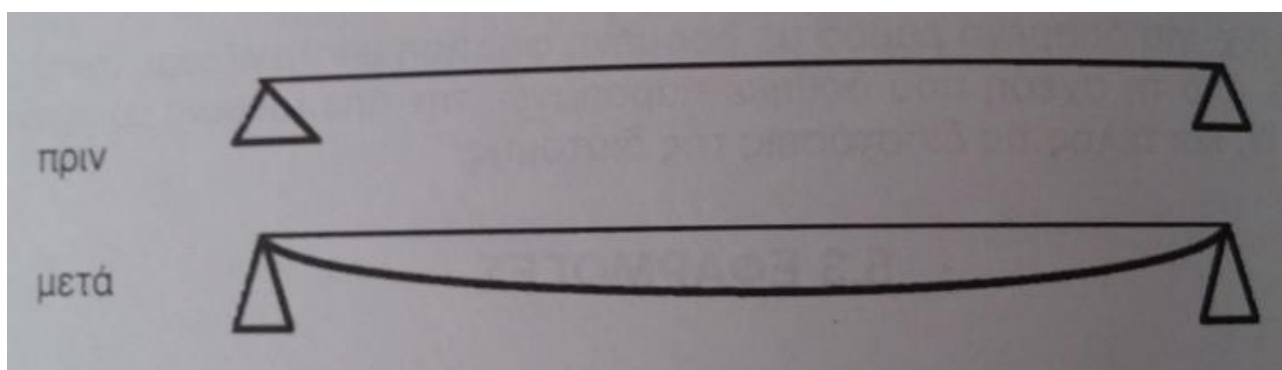
5.2 Παραμορφώσεις λόγω κάμψης

Γενικά, για να κατασκευάσουμε μία δοκό, δεν είναι πάντοτε αρκετό να ελέγχουμε τις τάσεις και να τις περιορίζουμε στα επιτρεπόμενα όρια. Σε πολλές περιπτώσεις, είναι ανάγκη να γνωρίζουμε τις παραμορφώσεις που γίνονται στη δοκό από την κάμψη και να ελέγχουμε μήπως είναι υπερβολικά μεγάλες και μπορούν να προκαλέσουν ζημιές στις κατασκευές που στηρίζονται επάνω στη δοκό. Είναι επομένως απαραίτητο να γνωρίζουμε τους νόμους παραμορφώσεως των δοκών.

Για αυτό στα παρακάτω κεφάλαια ορίσουμε την ελαστική γραμμή, το βέλος κάμψης και θα περιγράψουμε τη μέθοδο Mohr που υπολογίζει πρακτικά την ελαστική γραμμή καθώς και το μέγιστο βέλος κάμψης. Επίσης θα αναφερθούμε στη γωνία κλίσης στις στηρίξεις.

5.3 Ελαστική γραμμή

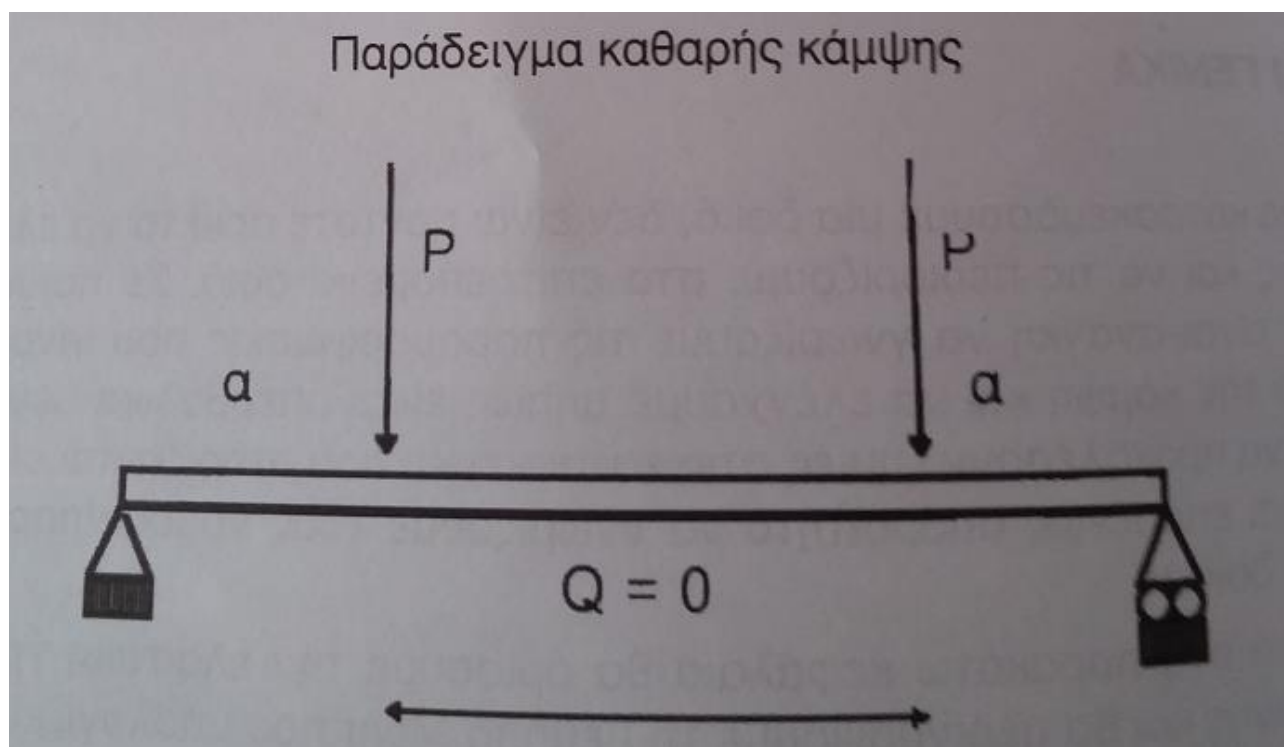
Ελαστική γραμμή μίας δοκού που κάμπτεται ονομάζουμε την καμπύλη γραμμή στη οποία παραμορφώνεται ο αρχικά ευθύγραμμος άξονάς της.



5.4 Βέλος κάμψης

Παραδοχές:

- 1) Δεχόμαστε ότι τα φορτία που δημιουργούν την κάμψη βρίσκονται πάνω στο ίδιο κατακόρυφο επίπεδο που περνάει από τον άξονα της δοκού και που ονομάζεται επίπεδο φόρτισης της δοκού. Αν η κάμψη γίνεται μέσα σε αυτό τότε λέγεται καμπτικό επίπεδο.
- 2) Δεχόμαστε ότι κατά την κάμψη δεν επιδρά τέμνουσα δύναμη στη δοκό δηλαδή $Q = 0$. Όταν κατά την κάμψη $Q = 0$ τότε η κάμψη ονομάζεται απλή η καθαρή κάμψη.
- 3) Επίσης δεχόμαστε ότι κάθε επίπεδη διατομή κάθετη στον άξονά της δοκού πριν την παραμόρφωση εξακολουθεί να παραμένει επίπεδη και κάθετη στον άξονα της δοκού και μετά την καμπτική παραμόρφωση. Η ουδέτερη γραμμή παραμένει ευθεία.



Ξέρουμε ότι η καμπτική τάση σ ισούται με:

$$\sigma = (M/Jx) \cdot y(1) \quad (\sigma/y) = (E/R) = k(2)$$

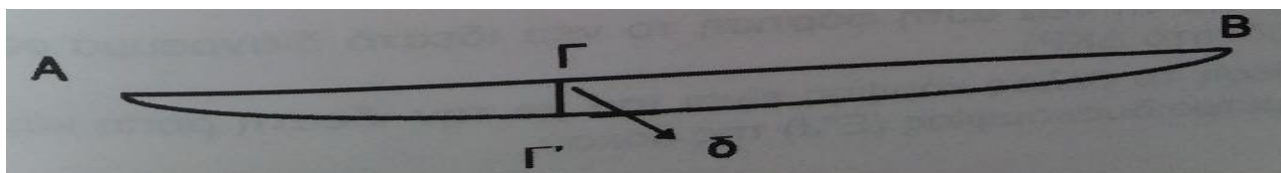
Ο τύπος 2 ακολουθεί το νόμο του Hooke ο οποίος λέει ότι οι τάσεις είναι ανάλογες με τις παραμορφώσεις, που σημαίνει ότι και οι τάσεις αυξάνονται όσο μεγαλώνει η απόσταση y από την ουδέτερη γραμμή. Το E είναι το μέτρο ελαστικότητας, το R ακτίνα καμπυλότητας της ελαστικής γραμμής ενώ το k είναι λόγος σταθερός που ισχύει για τη συγκεκριμένη διατομή που εξετάζουμε. Από τους δύο παραπάνω τύπους προκύπτει η σχέση:

$$(1/R) = (M/Jx \cdot E)$$

Εάν τώρα η κάμψη είναι πιο περίπλοκη δηλαδή η ροπή κάμψεως M δεν είναι σταθερή τότε η παραπάνω εξίσωση ισχύει σε κάθε διατομή και σε κάθε στοιχειώδες μήκος υπάρχει διαφορετική ακτίνα καμπυλότητας.

Βέλος κάμψης της δοκού στη θέση Γ ονομάζουμε τη μετατόπιση $\delta = \Gamma\Gamma'$ ενός τυχαίου σημείου Γ του άξονα λόγω της κάμψεως.

Εκεί που η ροπή κάμψεως είναι μέγιστη (M_{max}) εκεί το βέλος κάμψης δ γίνεται μέγιστο.



5.5 Μέθοδος Mohr

Για τη χρησιμοποίηση αυτής της μεθόδου θέτουμε δύο προϋποθέσεις:

- 1) Ότι η δοκός είναι αμφιέρειστη
- 2) Ότι η διατομή της δοκού είναι σταθερή σε όλο το μήκος της (άρα και η ροπή αδράνειας)

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιούμε για τον προσδιορισμό της ελαστικής γραμμής με τη μέθοδο Mohr είναι η εξής:

- 1) Βρίσκουμε το διάγραμμα καμπτικών ροπών της δοκού ΔΚΡ.
- 2) Θεωρούμε ότι η δοκός φορτίζεται με ιδεατό φορτίο που δίνεται από το διάγραμμα αυτό.
- 3) Βρίσκουμε για τη νέα αυτή φόρτιση το νέο ιδεατό διάγραμμα ροπών κάμψης (ιδεατό ΔΚΡ).
- 4) Σε κάθε θέση το βέλος κάμψης είναι ίσο με την ιδεατή ροπή κάμψης προς το μέτρο δυσκαμψίας ($E \cdot J$) της δοκού.

Μονάδες μέτρησης των διαφόρων μεγέθων:

- 1) Οι δυνάμεις kP
- 2) Οι καμπτικές ροπές σε $kP \cdot cm$
- 3) Το κατανεμημένο ιδεατό φορτίο $kP \cdot cm$
- 4) Το ιδεατό φορτίο σε $kP \cdot cm^2$

- 5) Η ιδεατή ροπή κάμψης σε $\text{kp}\cdot\text{cm}^3$
- 6) Το μέτρο δυσκαμψίας ($E\cdot J$) σε $\text{kp}\cdot\text{cm}^2$
- 7) Το βέλος κάμψης επειδή είναι το πηλίκο της ιδεατής ροπής κάμψης προς το μέτρο δυσκαμψίας μετριέται σε cm :

Βέλος κάμψης = Ιδεατή ροπή κάμψης/Μέτρο δυσκαμψίας

Μονάδες: $(\text{kp}\cdot\text{cm}^3)/(\text{kp}\cdot\text{cm}^2) = \text{cm}$

5.6 Γωνία κλίσης της δοκού

Η γωνία κλίσης μίας δοκού που παραμορφώνεται από καμπτική τάση δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

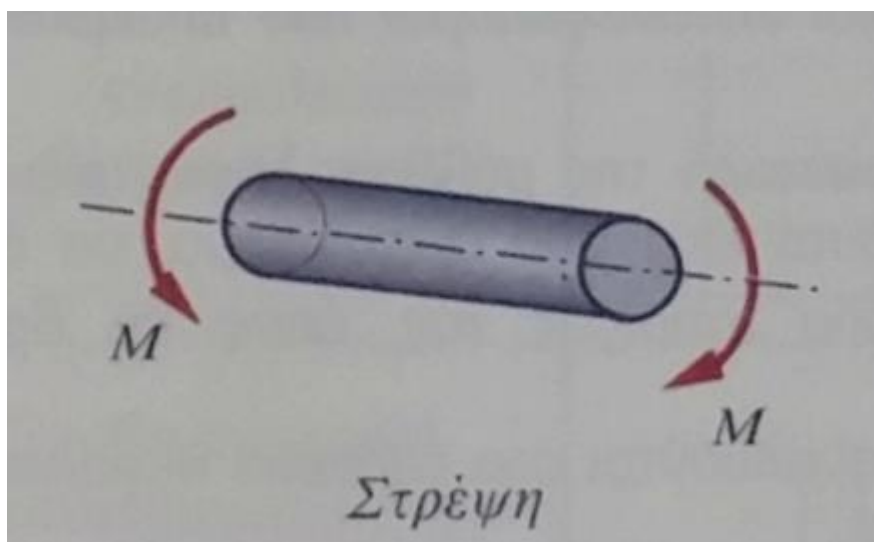
$\epsilon\theta = \theta = \text{τέμνουσα δύναμη της ιδεατού δοκού}/\text{μέτρο δυσκαμψίας } E\cdot J$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΡΙ ΣΤΡΕΨΗΣ

6.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό μελετούμε τις καταπονήσεις της στρέψης. Συγκεκριμένα, παραθέτουμε τους ορισμούς της καταπόνησης αυτής, παρουσιάζουμε παραδείγματα εφαρμογής της και επεξηγούμε της αναπτυσσόμενες τάσεις και παραμορφώσεις.



6.2 Γενικά

Ράβδος με ευθύγραμμο άξονα λέμε ότι καταπονείται σε στρέψη, όταν ενεργεί πάνω σε αυτή ροπή, της οποίας το επίπεδο είναι κάθετο στον άξονά της. Η ροπή αυτή που ονομάζεται ροπή στρέψης και συμβολίζεται ως M_t ισούται με:

$$M_t = P \cdot d$$

P = δύναμη

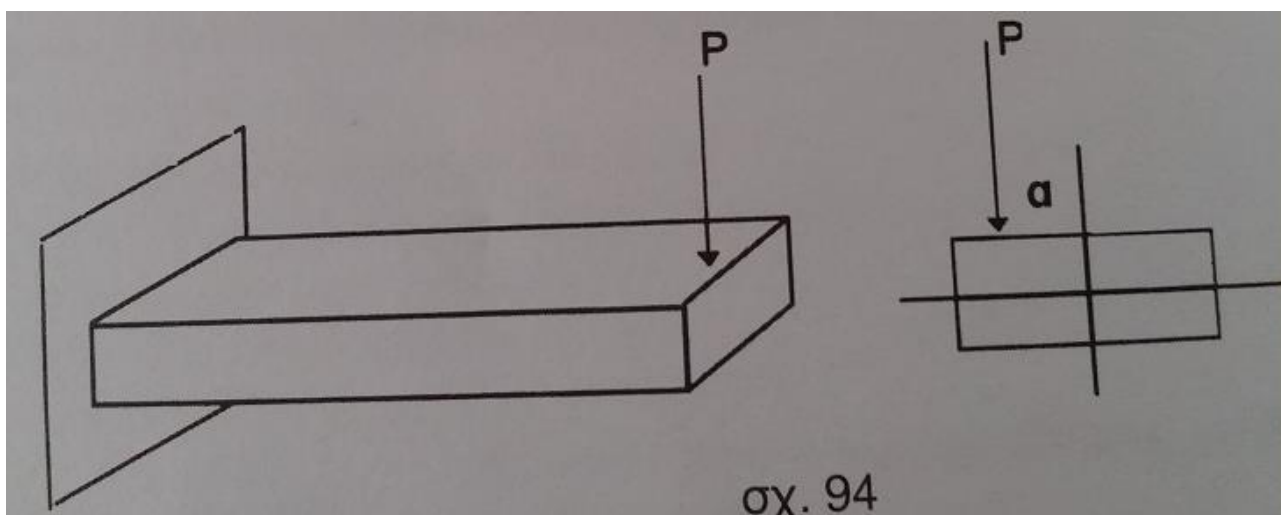
d = διάμετρος της δοκού.

Η δράση της ροπής στρέψης προκαλεί τα εξής:

- Διατμητικές τάσεις όπως στη βίδα όπου ονομάζονται τάσεις στρέψης.
- Παραμορφώσεις.
- Στροφή των διατομών της ράβδου γύρω από τον κεντροβαρικό άξονά της.

Το σημείο τομής της διατομής με τον κεντροβαρικό άξονα είναι με το μόνο σημείο που δε μετακινείται και ονομάζεται κέντρο στροφής ή μηδενικό σημείο. Στο μηδενικό σημείο οι διατμητικές τάσεις είναι μηδέν.

Έστω πρόβολος με ορθογωνική διατομή που φορτίζεται με τη δύναμη P που δε διέρχεται από το κέντρο βάρους της διατομής.



Η δύναμη αυτή μπορεί να αντικατασταθεί όπως γνωρίζουμε από τη στατική από:

- Μία δύναμη P που διέρχεται από το κέντρο βάρους της διατομής.
- Και από μία ροπή $M_t = P \cdot a$ όπου ονομάζεται ροπή στρέψης.

Έτσι στην πρώτη περίπτωση έχουμε κάμψη, ενώ στη δεύτερη έχουμε στρέψη και λόγω των διατμητικών τάσεων ισχύει η σχέση:

$$\gamma = \tau/G$$

γ = γωνιακή παραμόρφωση

G = 2^ο μέτρο ελαστικότητας

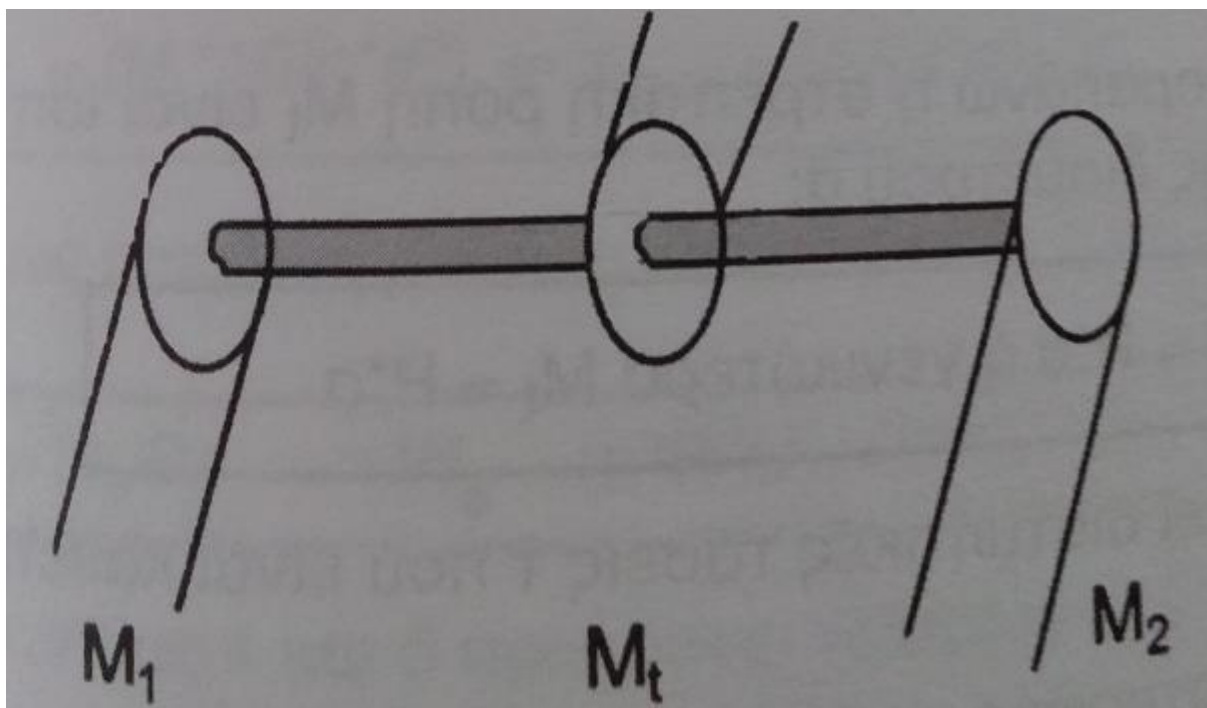
τ = τάσεις στρέψης (διατμητικές)

Έτσι η ράβδος πρέπει να ελεγχθεί για δύο καταπονήσεις:

- 1) Σε κάμψη ως πρόβολος με ένα συγκεντρωμένο φορτίο στο άκρο της.
- 2) Σε στρέψη όπου σε όλο το μήκος της ράβδου επιβάλλεται η ίδια ροπή στρέψης $M_t = P \cdot a$, και να υπολογίσουμε α) τάσεις, β) γωνία στροφής.

Γωνία στροφής ονομάζεται η γωνία που προκαλείται από τις τάσεις στρέψης μεταξύ των διατόμων της ράβδου.

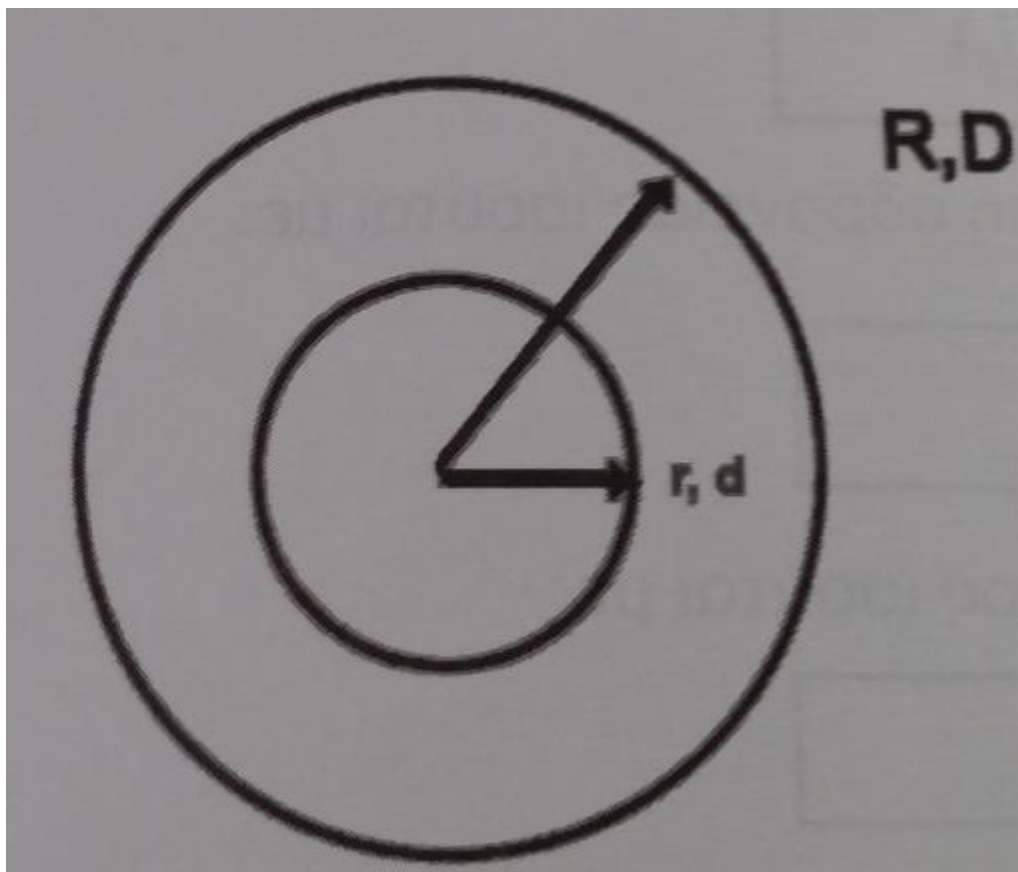
Εξάρτημα της μηχανής που καταπονείται σε στρέψη είναι ο άξονας ο οποίος παραλαμβάνει ροπή στρέψης από τη μηχανή και τη μεταδίδει σε άλλα σημεία.



Επειδή στη στρέψη οι μαθηματικοί τύποι που καθορίζουν τις τάσεις και τις παραμορφώσεις εξαρτώνται από τη μορφή της διατομής θα μελετήσουμε τη στρέψη χωριστά για ένα-δύο είδη διατομής όπως στρέψη ράβδου με δακτυλιοειδή διατομή και στρέψη περιστρεφόμενου άξονα(ατράκτου).

6.3 Στρέψη ράβδου με δακτυλιοειδή διατομή

Οι παραδοχές που κάναμε στη στρέψη με κυκλική διατομή ισχύουν και στη στρέψη με δακτυλιοειδή διατομή. Υποθέτουμε ότι έχουμε ράβδο με δακτυλιοειδή διατομή με εξωτερική ακτίνα R και εσωτερική ακτίνα r της οποίας η διατομή φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Η μέγιστη διατμητική τάση δίνεται και τώρα από τη γενική σχέση:

$$T_{\max} = Mt/W_p \quad \text{τύπος 1}$$

Επίσης η πολική ροπή αντίστασης της διατομής δίνεται από τη σχέση:

$$W_p = J_p/R \quad \text{τύπος 2}$$

Η πολική ροπή αδράνειας δακτυλιοειδούς διατομής δίνεται από τη σχέση:

$$J_p = (R^4 - r^4) \cdot \pi/2 = (1 - d^4/D^4) \cdot \pi \cdot D^4/32 \quad \text{τύπος 3}$$

Από τους τύπους 1, 2, 3 παίρνουμε τον τελικό τύπο της μέγιστης διατμητικής τάσης T_{\max} :

Γενικότερα

Η διατμητική τάση τ που ισούται με:

$$\tau = Mt \cdot \rho/J_p$$

ρ = απόσταση τυχόντος σημείου της διατομής από τον άξονα της ράβδου

γίνεται μέγιστη όταν $\rho = R$ και ελάχιστη όταν $\rho = r$.

$$\tau_{\max} = M_t * R/J\rho \quad \tau_{\min} = M_t * r/J\rho$$

Από τα παραπάνω καταλαβαίνουμε ότι οι διατμητικές τάσεις γίνονται μέγιστες στην εξωτερική περιφέρεια του δακτυλίου και ελάχιστες στην εσωτερική περιφέρεια του δακτυλίου.

Όσον αφορά στην συστροφή θα ισχύουν και εδώ οι τύποι:

$$\theta = M_t/(G*J\rho)$$

$$\text{και } \phi = \theta * l$$

6.4 Στρέψη περιστρεφόμενου άξονα (ΑΤΡΑΚΤΟΥ)

Για άξονα που περιστρέφεται με n στροφές ανά λεπτό (RPM) και μεταφέρει ισχύ σε (PS) ισχύει ο παρακάτω τύπος:

$$N = (2*\pi*n*R*P/75*60)$$

R = η ακτίνα της διατομής σε m

P = η δύναμη που περιστρέφει τον άξονα σε kP

Επειδή όμως το γινόμενο της ακτίνας R και της δύναμης P μας δίνει τη ροπή στρέψης M_1 ο τύπος 1 γίνεται:

$$M_t = R*P$$

$$N = (2*\pi*n*R*P/75*60) = (M_t*\pi*n/2250)$$

Η ροπή στρέψης δίνεται σε kP*m

Αν αντικαταστήσουμε στην παραπάνω σχέση το $\pi = 3,14$ και αν μετατρέψουμε τα m σε cm, λύνοντας ως προς M_t ο τύπος 2 γίνεται:

$$M_t = 71620*N/n$$

M_t σε kP*cm

N σε PS n σε RPM

Η μέγιστη διατμητική τάση τ_{\max} δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\tau_{\max} = M_t/W\rho$$

Μονάδες:

$$1 \text{ KW} = 1,36 \text{ PS}$$

$$75 \text{ kP*m/sec} = 1 \text{ PS}$$

6.5 Διαστασιολόγηση

a) Περιορισμός της τάσης

Για να εργάζεται μία δοκός ή ράβδος σε στρέψη και με την ασφάλεια που απαιτείται δεν πρέπει η μέγιστη τάση στρέψης να υπερβαίνει την επιτρεπόμενη τεπ για το χρησιμοποιούμενο υλικό. Άρα θα πρέπει να υπάρχει ο παρακάτω περιορισμός:

$$\tau_{\max} \leq \tau_{\text{επ}}$$

επειδή όμως $\tau_{\max} = Mt/W\rho$

$$\text{άρα } (Mt/W\rho) \leq \tau_{\text{επ}} \rightarrow W\rho \geq (Mt/\tau_{\text{επ}})$$

Από την τελευταία σχέση υπολογίζουμε τη διάμετρο.

b) Περιορισμός της συστροφής θ (ειδικά στους άξονες)

Όταν οι άξονες έχουν αρκετό μήκος υποφέρουν συνήθως από ταλαντώσεις, κινήσεις οι οποίες, εκτός από το ότι είναι ενοχλητικές μπορεί να έλθουν σε συντονισμό με τις περιοδικές εξωτερικές επιδράσεις (π.χ ωθήσεις διωστήρα, αντιδράσεις εκκέντρων κ.α. και να εκθέσουν σε μεγάλο κίνδυνο την ασφάλεια της εγκατάστασης. Για το λόγο αυτό πρέπει οπωσδήποτε στους άξονες να δίνουμε αρκετή δυσκαμψία και δυσστρεψία για να αποφεύγουμε τις μεγάλες παραμορφώσεις. Σαν ανώτερο όριο για τη συστροφή θ βάζουμε την τιμή $\theta_{\text{επ}} = 0,00436 \text{ rad/m}$ ή $4.36 \cdot 10^{-5} \text{ rad/cm}$ ($180 \sim \pi(3,14) \text{ rad}$).

$\theta \leq \theta_{\text{επ}}$ αλλά επειδή όμως $\theta = (Mt/G \cdot J\rho)$ άρα

$$(Mt/G \cdot J\rho) \leq \theta_{\text{επ}} \rightarrow J_{\rho \text{απ}} \geq (Mt/G \cdot \theta_{\text{επ}})$$

Η γωνία στροφής ϕ μετριέται σε rad ενώ η συστροφή θ σε rad/cm.

Για άξονες που καταπονούνται σε κάμψη και στρέψη αρχικά ελέγχουμε μόνο σε στρέψη και παίρνουμε για ασφάλεια τον παρακάτω τύπο:

$$\tau_{\text{επ}} = \tau_{\text{επ υλικού}}/2$$

Έπειτα ελέγχουμε τη διάμετρο d που βρήκαμε σε σύνθετη καταπόνηση, κάμψη και στρέψη. Τέλος υπολογίζουμε τη διάμετρο d με περιορισμό της συστροφής και επιλέγουμε τη μεγαλύτερη διάμετρο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο

ΕΡΩΤΟΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΜΕ ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ ΘΕΜΑΤΩΝ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

7.1 Ερωτήσεις με θέμα Αντοχής των Υλικών και των Εφαρμογών

- 1) Τι εξετάζει η Θεωρία Ελαστικότητας.
- 2) Ποια είναι η έννοια των παραμορφώσεων.
- 3) Από ποιους παράγοντες εξαρτάται ο βαθμός παραμορφώσεως ενός σώματος.
- 4) Ποια είναι η έννοια των φορτίων.
- 5) Ο ορισμός της τάσης.
- 6) Τι ονομάζεται ορθή τάση.
- 7) Τι ονομάζεται διατμητική ή πλάγια ή εγκάρσια τάση.
- 8) Μονάδες μετρήσεως της τάσεως.
- 9) Τι ονομάζεται νόμος του Hooke.
- 10) Τι ορίζεται ανηγμένη επιμήκυνση.
- 11) Πότε λέμε ότι ένα σώμα υφίσταται θλίψη.
- 12) Πότε λέμε ότι ένα σώμα υφίσταται εφελκυσμό.
- 13) Ποια συμπεράσματα καταλήγουν μετά από σύγκριση διαγραμμάτων θλίψεως και εφελκυσμού του χάλυβα St 37.
- 14) Πότε έχουμε εγκάρσια συστολή και διαστολή.
- 15) Προσδιορισμός για όλκιμα και ψαθυρά υλικά.
- 16) Τι ονομάζεται σκληρότητα υλικού.
- 17) Ποιοι μέθοδοι σκληρομετρήσεως υπάρχουν.
- 18) Ποια είναι η επίδραση θερμοκρασίας και χρόνου στην αντοχή υλικών.
- 19) Τι ονομάζεται ερπυσμός.
- 20) Από τι εξαρτάται το φαινόμενο του ερπυσμού.
- 21) Ποιοι παράγοντες καθορίζουν την αντοχή υλικών σε κόπωση.
- 22) Τι ονομάζεται συγκέντρωση τάσεων.
- 23) Τι ονομάζονται εξωτερικές και εσωτερικές δυνάμεις.

- 24) Ποια είναι τα είδη καταπονήσεων.
- 25) Πότε έχουμε σύνθετη καταπόνηση.
- 26) Τι εννοούμε με τον όρο αστοχία υλικού.
- 27) Τι ονομάζεται επιτρεπόμενη τάση.
- 28) Τι ονομάζεται συντελεστής ασφαλείας.
- 29) Τι λέγεται φορέας και ποια είδη υπάρχουν.
- 30) Ποια είναι τα είδη φορτίων.

7.2 Απαντήσεις με θέμα Αντοχής των Υλικών και των Εφαρμογών

1) Η θεωρία της Ελαστικότητας εξετάζει τα στερεά σώματα σαν απόλυτα ελαστικά. Δέχεται ότι, υπό την επίδραση συστήματος δυνάμεων, τα υλικά σώματα παραμορφώνονται ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους, όπως η δομή των κρυστάλλων τους, η συνάφεια των μορίων τους, κλπ.

2) Όταν σ' ένα σώμα εφαρμόζεται μία δύναμη, τότε αλλάζει η μορφή του και λέμε ότι παραμορφώνεται. Αλλαγή της μορφής του σώματος σημαίνει να αυξηθεί ή να ελαττωθεί το μήκος του, να στραφεί, να καμπυλωθεί κ.ο.κ..

Η αλλαγή της μορφής ενός σώματος όταν σε αυτό εφαρμόζεται δύναμη ονομάζεται παραμόρφωση.

Παραμόρφωση παθαίνουν όλα τα στερεά σώματα, όσο μικρή και αν είναι η δύναμη που εφαρμόζεται σ' αυτά. Στερεό σώμα που να μην παραμορφώνεται δεν υπάρχει. Σε κάποια υλικά η παραμόρφωση δεν διακρίνεται διά γυμνού οφθαλμού και δεν μπορεί να μετρηθεί με τα συνηθισμένα μέσα. Ωστόσο, η αδυναμία παρατηρήσεως της παραμορφώσεως δεν σημαίνει ότι αυτή δεν υπάρχει.

3) Ο βαθμός παραμορφώσεως ενός σώματος εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

α) Το είδος του υλικού του σώματος. Όλα τα υλικά δεν παραμορφώνονται το ίδιο. Δύο σώματα ιδίων διαστάσεων, στα οποία ασκούνται οι ίδιες ακριβώς δυνάμεις και με τον ίδιο ακριβώς τρόπο, παραμορφώνονται διαφορετικά ανάλογα με το υλικό απ' το οποίο είναι κατασκευασμένα (π.χ. μεγαλύτερη παραμόρφωση παρουσιάζει μία ράβδος αλουμινίου από μία ράβδο χάλυβα).

β) Τις διαστάσεις του σώματος. Δύο σώματα από το ίδιο υλικό, στα οποία ασκούνται οι ίδιες ακριβώς δυνάμεις και με τον ίδιο ακριβώς τρόπο, παραμορφώνονται διαφορετικά ανάλογα με τις διαστάσεις τους (π.χ. μία πιο χονδρή ράβδος αλουμινίου παραμορφώνεται λιγότερο από μία πιο λεπτή).

γ) Το μέγεθος των εφαρμοζομένων δυνάμεων (φορτίων). Δύο σώματα ιδίων διαστάσεων, από το ίδιο υλικό, στα οποία ασκούνται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο διαφορετικές δυνάμεις, παραμορφώνονται διαφορετικά.

δ) Τη μορφή της διατομής. Δύο σώματα από το ίδιο υλικό, στα οποία ασκούνται οι ίδιες ακριβώς δυνάμεις και με τον ίδιο ακριβώς τρόπο, αλλά έχουν διαφορετική μορφή διατομής, παρουσιάζουν διαφορετική παραμόρφωση.

ε) Τον προσανατολισμό της διατομής σε σχέση με τη διεύθυνση του φορτίου. Δύο σώματα με την ίδια διατομή, από το ίδιο υλικό, στα οποία ασκούνται οι ίδιες ακριβώς δυνάμεις, αλλά με διαφορετικό προσανατολισμό ως προς τη διατομή, παρουσιάζουν διαφορετική παραμόρφωση ανάλογα με τον τρόπο τοποθέτησής της διατομής σε σχέση με τη διεύθυνση της δυνάμεως. Για παράδειγμα, εάν έχουμε δυνάμεις που εφαρμόζονται κάθετα στη διατομή μιας ράβδου, τότε προκαλείται μεταβολή του μήκους της ράβδου, ενώ αν εφαρμόζονται παράλληλα στη διατομή της ράβδου, τότε οι δυνάμεις αυτές τείνουν να κόψουν τη ράβδο. στ) Τον τρόπο στηρίξεως. Δύο σώματα ιδίων διαστάσεων, από το ίδιο υλικό, στα οποία ασκούνται οι ίδιες ακριβώς δυνάμεις και με τον ίδιο ακριβώς τρόπο, αλλά στερεώνονται διαφορετικά, παρουσιάζουν διαφορετική παραμόρφωση.

ζ) Το μέγεθος της θερμοκρασιακής μεταβολής. Δύο σώματα ιδίων διαστάσεων, από το ίδιο υλικό, στα οποία ασκούνται οι ίδιες ακριβώς δυνάμεις και με τον ίδιο ακριβώς τρόπο, αλλά βρίσκονται σε διαφορετική κατάσταση θερμοκρασίας, παρουσιάζουν διαφορετική παραμόρφωση.

4) Οι δυνάμεις που προκαλούν τις παραμορφώσεις στις κατασκευές αντιπροσωπεύουν τα φορτία που ενεργούν σ' αυτές. Τα φορτία διακρίνονται με βάση κάποια κριτήρια σε κατηγορίες.

α) Με κριτήριο το αν τα φορτία ασκούνται κατά μόνιμο τρόπο ή όχι, διακρίνονται σε σταθερά και μεταβλητά. Τα σταθερά ασκούνται κατά μόνιμο τρόπο. Αντίθετα τα μεταβλητά χαρακτηρίζονται από τη μεταβολή του μεγέθους τους με το χρόνο.

β) Με κριτήριο το χρόνο εντός του οποίου τα φορτία ενεργούν, διακρίνονται σε στατικά, δυναμικά και κρουστικά. Τα στατικά φορτία εξασκούνται ήπια (όχι απότομα), δηλαδή σταδιακά από τη μηδενική μέχρι τη τελική τιμή τους μέσα σε ικανό χρονικό διάστημα. Τα δυναμικά ασκούνται μέσα σε βραχύ χρονικό διάστημα, ενώ τα κρουστικά ενεργούν σε πάρα πολύ μικρό χρόνο.

γ) Με κριτήριο τη μεταβολή της θέσεώς τους, τα φορτία διακρίνονται σε ακίνητα και κινητά. Ακίνητα ονομάζονται τα φορτία των οποίων η θέση παραμένει σταθερή με το χρόνο. Αντίθετα, κινητά ονομάζονται τα φορτία των οποίων η θέση μεταβάλλεται με το χρόνο.

δ) Με κριτήριο την έκταση στην οποία ενεργούν, τα φορτία διακρίνονται σε συγκεντρωμένα και κατανεμημένα. Τα συγκεντρωμένα φορτία ενεργούν σε ένα πολύ μικρό τμήμα της κατασκευής, τόσο μικρό που θεωρείται σημείο. Τα κατανεμημένα φορτία ενεργούν σ' ένα χώρο, σε μία επιφάνεια ή σε μια γραμμή. Η κατανομή των φορτίων μπορεί να είναι ομοιόμορφη ή όχι.

5) Τάση ονομάζεται η συνισταμένη των εσωτερικών δυνάμεων που αναπτύσσουν τα μόρια ενός σώματος ανά μονάδα επιφάνειάς του, όταν στο σώμα ενεργούν εξωτερικές δυνάμεις.

- 6) Όταν η εσωτερική δύναμη είναι κάθετη στη διατομή ενός σώματος, τότε οι τάσεις που αναπτύσσονται ονομάζονται ορθές και συμβολίζονται με σ .
- 7) Όταν η εσωτερική δύναμη δρα μέσα στο επίπεδο της διατομής ενός σώματος, τότε οι τάσεις που αναπτύσσονται ονομάζονται διατμητικές ή πλάγιες ή εγκάρσιες και συμβολίζονται με τ .
- 8) Η τάση έχει μονάδες μετρήσεως το 1 N/cm^2 , το 1 N/mm^2 , το 1 kp/cm^2 και το 1 kp/mm^2 . Η μονάδα kp/cm^2 ονομάζεται και τεχνική ατμό σφαιρα. Άλλες μονάδες μετρήσεως της τάσεως που χρησιμοποιούνται είναι η 1 lb/ft^2 , η 1 lb/m^2 και η 1 lb/in^2 . Η μονάδα lb/in^2 αναφέρεται και ως psi .
- 9) Η επιμήκυνση Δl μιας εφελκόμενης ράβδου είναι ανάλογη με το φορτίο εφελκυσμού F , ανάλογη με το μήκος της ράβδου l , αντιστρόφως ανάλογη της διατομής A και αντιστρόφως ανάλογη του μέτρου ελαστικότητας E του υλικού της ράβδου. Ο νόμος αυτός ονομάζεται νόμος του Hooke ή νόμος ελαστικότητας. Ο νόμος του Hooke ισχύει μέχρι κάποιο όριο φορτίου F_{or} και παύει να ισχύει όταν οι δυνάμεις F αρχίζουν να γίνονται σχετικά μεγάλες και συγκεκριμένα μεγαλύτερες από το όριο φορτίου F_{or} . Επομένως, πριν την εφαρμογή του νόμου θα πρέπει να ελέγχουμε εάν ο νόμος εφαρμόζεται.
- 10) Ως ανηγμένη (ή ειδική) επιμήκυνση ϵ ορίζουμε την επιμήκυνση που δημιουργείται σε μία μονάδα μήκους μιας εφελκόμενης ράβδου. Δηλαδή, η ανηγμένη επιμήκυνση ϵ παρέχεται από το λόγο της επιμηκύνσεως Δl προς το μήκος l της ράβδου.
Η ανηγμένη επιμήκυνση είναι αδιάστατο μέγεθος (καθαρός αριθμός). Πολλές φορές εκφράζεται ως ποσοστό. Για παράδειγμα ισούται με 2% όταν ράβδος με αρχικό μήκος 100 cm αποκτήσει λόγω της εφελκυστικής δυνάμεως μήκος 102 cm.
- 11) Ας θεωρήσουμε το στερεό σώμα πάνω στον άξονα του οποίου, ασκούνται δύο δυνάμεις ίσες και αντίθετες, οι οποίες τείνουν να ελαττώσουν το μήκος του. Λέμε τότε ότι το σώμα υφίσταται θλίψη ή θλίβεται.
- 12) Ας θεωρήσουμε το στερεό σώμα πάνω στον άξονα του οποίου ασκούνται δύο δυνάμεις ίσες και αντίθετες, οι οποίες τείνουν να αυξήσουν το μήκος του. Το σώμα λέμε ότι υφίσταται εφελκυσμό ή αλλιώς ότι εφελκύεται. Το σώμα είναι στερεωμένο στο ένα άκρο του και δύναμη F ασκείται στο άλλο άκρο του. Η δεύτερη δύναμη FA είναι η αντίδραση. Για τους υπολογισμούς μας λαμβάνουμε μόνο τη μία από τις δύο δυνάμεις.
- 13) Καταλήγουμε στα ακόλουθα συμπεράσματα:
α) Ο νόμος του Hooke εφαρμόζεται στη θλίψη όπως και στην περίπτωση του εφελκυσμού.

Υπάρχει ένα όριο αναλογίας, μέχρι το οποίο οι επιβραχύνσεις του χάλυβα είναι ανάλογες των φορτίων που τις προκαλούν. Η κλίση της παρατηρούμενης περιοχής αναλογίας εξαρτάται από το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα St 37.

β) Το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα St 37 σε θλίψη είναι το ίδιο με το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα St 37 σε εφελκυσμό, καθώς η κλίση της παρατηρούμενης περιοχής αναλογίας στη θλίψη είναι ίδια με την κλίση της παρατηρούμενης περιοχής αναλογίας στον εφελκυσμό.

γ) Το όριο διαρροής στη θλίψη είναι το ίδιο με το όριο διαρροής στον εφελκυσμό.

δ) Σε αντίθεση με τον εφελκυσμό, μετά το όριο διαρροής του υλικού στη θλίψη δεν ακολουθεί θραύση, αλλά πλαστικοποίηση. Αυτό σημαίνει ότι η ράβδος εξακολουθεί να παραμορφώνεται σαν πλαστικό σώμα. Έτσι το όριο θραύσεως για θλίψη του χάλυβα St 37 ορίζεται συμβατικά ότι είναι η τιμή της τάσεως εκείνη που προκαλεί ανηγμένη επιβράχυνση ίση με $-0,3$.

Σημειώνεται ότι η ισχύς των παραπάνω συμπερασμάτων δεν περιορίζεται μόνο στο χάλυβα St 37. Ανάλογα συμπεράσματα προκύπτουν γενικότερα από τη σύγκριση διαγραμμάτων θλίψεως και εφελκυσμού.

14) Όταν ένα σώμα εφελκύεται παρουσιάζει αύξηση του μήκους του, αλλά ταυτόχρονα και μια μίκρυνση της διατομής του. Έτσι, στο πείραμα του εφελκυσμού, τα εφελκυσόμενα κυλινδρικά δοκίμια παρουσιάζουν αύξηση του μήκους τους, αλλά ταυτόχρονα και μίκρυνση της διαμέτρου τους. Δηλαδή, παράλληλα με τον εφελκυσμό έχουμε και μια εγκάρσια παραμόρφωση που είναι η συστολή της διατομής του εφελκυσμένου σώματος.

Αντιστοίχως, όταν ένα σώμα θλίβεται παρουσιάζει μείωση του μήκους του, αλλά ταυτόχρονα και μεγέθυνση της διατομής του. Έτσι, στο πείραμα της θλίψεως, τα θλιβόμενα κυλινδρικά δοκίμια παρουσιάζουν μείωση του μήκους τους, αλλά ταυτόχρονα και μεγέθυνση της διαμέτρου τους. Δηλαδή, παράλληλα με τη θλίψη έχουμε και εγκάρσια παραμόρφωση που είναι η διαστολή της διατομής του θλιβόμενου σώματος.

15) Με κριτήριο την εμφάνιση πλαστικής περιοχής πριν από τη θραύση τους ή όχι, τα υλικά ταξινομούνται σε όλκιμα και ψαθυρά. Στην κατηγορία των όλκιμων υλικών ανήκουν τα υλικά που μπορούν να υποστούν μόνιμες (πλαστικές) παραμορφώσεις πριν από τη θραύση τους. Στην κατηγορία των ψαθυρών υλικών ανήκουν τα υλικά που θραύονται με το τέλος της ελαστικής τους περιοχής. Με άλλα λόγια, ως ψαθυρά χαρακτηρίζονται τα υλικά που δεν παρουσιάζουν πλαστική περιοχή και ως όλκιμα αυτά που παρουσιάζουν πλαστική περιοχή πριν από το σημείο της θραύσεώς τους. Δηλαδή, τα ψαθυρά υλικά θραύονται πριν αναπτύξουν μόνιμες παραμορφώσεις (απότομα) σε αντίθεση με τα όλκιμα.

16) Σκληρότητα ενός υλικού ονομάζεται το μέγεθος που μετρά την αντίσταση του υλικού στην προσπάθεια εισόδου σ' αυτό άλλων υλικών, τα οποία πιέζουν την επιφάνειά του με μία κάθετη δύναμη. Η σκληρότητα αναφέρεται πρακτικά στα μέταλλα.

17) Οι μέθοδοι σκληρομετρήσεως διακρίνονται στις:

Στατικές μεθόδους, στις οποίες ανήκουν:

α) Η μέθοδος Brinell.

β) Η μέθοδος Vickers και

γ) η μέθοδος Rockwell.

Δυναμικές μεθόδους, στις οποίες ανήκουν:

α) Η μέθοδος Baumann και

β) η μέθοδος Poldi και

τέλος, στις μεθόδους Αναπηδήσεως, στις οποίες ανήκουν:

α) Η μέθοδος Shore και

β) η μέθοδος Leesen.

18) Εκτός από τις εξωτερικές δυνάμεις, παραμορφώσεις στα στερεά σώματα προκαλούνται και από άλλα αίτια, όπως:

α) Οι μεταβολές της θερμοκρασίας και

β) η πάροδος του χρόνου.

Οι μεταβολές της θερμοκρασίας έχουν ως αποτέλεσμα πρώτον τα στερεά σώματα να διαστέλλονται όταν η θερμοκρασία αυξάνεται και να συστέλλονται όταν η θερμοκρασία μειώνεται και δεύτερον να μειώνονται τα όρια αντοχής των υλικών με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Η πάροδος του χρόνου έχει ως αποτέλεσμα σε περιβάλλοντα με υψηλές θερμοκρασίες:

α) Να αυξάνονται οι παραμορφώσεις παρόλο που τα φορτία δεν αλλάζουν και

β) να μειώνονται τα όρια αντοχής των υλικών.

Όπως βλέπομε ο παράγοντας του χρόνου και των υψηλών θερμοκρασιών λειτουργεί συνδυαστικά.

19) Το φαινόμενο της αυξήσεως της παραμορφώσεως μιας κατασκευής με την πάροδο του χρόνου, χωρίς να αυξάνονται οι τάσεις που δρουν σ' αυτήν ονομάζεται ερπυσμός.

20) Εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες:

α) Το σημείο τήξεώς τους. Η θερμοκρασία εμφανίσεως ερπυσμού στα μέταλλα είναι περίπου ίση με το ένα τρίτο του σημείου τήξεώς τους. Επίσης, τα μέταλλα που έχουν υψηλό σημείο τήξεως

παρουσιάζουν χαμηλό ερπυσμό και το αντίθετο.

β) Αν είναι καθαρά μέταλλα ή κράματα. Συγκεκριμένα, ο ερπυσμός των κραμάτων¹ μετάλλων είναι μικρότερος από τον ερπυσμό των καθαρών μετάλλων. Έτσι, σε κατασκευές που λειτουργούν σε υψηλές θερμοκρασίες χρησιμοποιούνται κράματα μετάλλων και όχι καθαρά μέταλλα.

γ) Το μέγεθος των κόκκων τους. Συγκεκριμένα, τα υλικά που έχουν λεπτούς κόκκους παρουσιάζουν μεγαλύτερο ερπυσμό από ό,τι τα υλικά που έχουν χονδρούς κόκκους. Έτσι, σε κατασκευές που λειτουργούν σε υψηλές θερμοκρασίες χρησιμοποιούνται υλικά με χονδρούς κόκκους.

Τέλος, πρέπει να σημειώσουμε ότι υπάρχουν υλικά που παρουσιάζουν πολύ μεγάλες παραμορφώσεις από ερπυσμό, ακόμα και σε μικρές θερμοκρασίες. Τέτοια υλικά είναι τα πολυμερή. Επίσης, υπάρχουν υλικά, των οποίων ο ερπυσμός μειώνεται με την πάροδο του χρόνου. Ένα τέτοιο υλικό είναι το μπετόν, ο ερπυσμός του οποίου μειώνεται με την ενσωμάτωση σιδερένιου οπλισμού.

21) Η κόπωση ενός υλικού εξαρτάται κυρίως από τους ακόλουθους παράγοντες:

α) Τις υπάρχουσες εγκοπές στο υλικό. Ο όρος εγκοπή αναφέρεται σε μία σειρά καταστάσεων, όπως η απότομη αλλαγή των διαμέτρων, τα στρογγυλέματα, τα σπειρώματα, οι οπές, οι σφηνόδρομοι¹, τα ραγίσματα, οι φυσαλίδες, οι αποφλοιώσεις των επιφανειών, τα εγκλείσματα των χυτών κομματιών κ.ο.κ. Στις εγκοπές λαμβάνει χώρα συγκέντρωση τάσεων.

β) Τη μηχανική κατάσταση του υλικού. Ο όρος μηχανική κατάσταση αναφέρεται στην ύπαρξη τραχειών επιφανειών στο υλικό. Στις τραχείες επιφάνειες υπάρχει μεγαλύτερη συγκέντρωση τάσεων απ' ό,τι στις λείες.

γ) Τις κατεργασίες που έχει υποστεί το υλικό. Οι κατεργασίες αυτές περιλαμβάνουν, τόσο τις θερμικές, όσο και τις χημικές και ηλεκτροχημικές. Οι κατεργασίες έχουν ως αποτέλεσμα την εμφάνιση ατελειών στο υλικό, στις οποίες έχουμε συγκέντρωση τάσεων.

22) Συγκέντρωση τάσεων ονομάζεται η απότομη αύξηση της τάσεως πάνω από μία ονομαστική τιμή σε μία τοπική περιοχή ενός υλικού, λόγω υπάρξεως γεωμετρικών ασυνεχειών, όπως είναι οι οπές, οι κοιλότητες και οι εγκοπές.

23) Οι εξωτερικές δυνάμεις που ενεργούν σ' ένα σώμα είναι τα φορτία και οι δυνάμεις από τα στηρίγματα.

Οι δυνάμεις που εμφανίζονται εσωτερικά του σώματος ως αποτέλεσμα της επιδράσεως εξωτερικών δυνάμεων ονομάζονται εσωτερικές δυνάμεις. Οι εσωτερικές δυνάμεις προέρχονται από τις δυνάμεις συνοχής μεταξύ των μορίων του υλικού του σώματος. Συνεπώς, η εφαρμογή

εξωτερικών δυνάμεων στη ράβδο και γενικότερα σε οποιοδήποτε σώμα, έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση εσωτερικών δυνάμεων στο υλικό του σώματος. Όταν εμφανίζονται εσωτερικές δυνάμεις σε ένα σώμα λόγω της επιδράσεως εξωτερικών δυνάμεων λέμε ότι το σώμα βρίσκεται σε εντατική κατάσταση, ή σε ένταση, ή ότι καταπονείται ή ότι υφίσταται καταπόνηση.

24) Οι καταπονήσεις διακρίνονται σε απλές και σύνθετες.

Οι απλές καταπονήσεις είναι οι ακόλουθες:

α) Εφελκυσμός. Ένα στερεό σώμα καταπονείται σε εφελκυσμό, όταν στον άξονά του ασκούνται δύο δυνάμεις ίσες και αντίθετες, (σχ. 1.13α), οι οποίες τείνουν να αυξήσουν το μήκος του και να ελαττώσουν τη διατομή του. Στον εφελκυσμό αναπτύσσονται ορθές τάσεις. Σε εφελκυσμό, για παράδειγμα, καταπονείται το συρματόσχοινο γερανού.

β) Θλίψη. Ένα στερεό σώμα καταπονείται σε θλίψη όταν στον άξονά του ασκούνται δύο δυνάμεις ίσες και αντίθετες, οι οποίες τείνουν να ελαττώσουν το μήκος του και να αυξήσουν τη διατομή του. Στη θλίψη αναπτύσσονται ορθές τάσεις. Σε θλίψη, για παράδειγμα, καταπονούνται τα υποστυλώματα.

γ) Επιφανειακή θλίψη. Όταν δύο στερεά σώματα εφάπτονται μεταξύ τους μεταφέροντας ένα φορτίο, (σχ. 1.13γ), τότε έχουμε θλίψη ως καταπόνηση επιφάνειας. Σε επιφανειακή θλίψη, για παράδειγμα, καταπονούνται οι βάσεις μίας εργαλειομηχανής.

δ) Διάτμηση και ψαλιδισμός. Ένα στερεό σώμα καταπονείται σε διάτμηση όταν σ' αυτό ενεργούν δύο ίσες, παράλληλες, αλλά αντίθετης φοράς δυνάμεις, από τις οποίες η μία ολισθαίνει πάνω στην άλλη. Σε διάτμηση, για παράδειγμα, καταπονούνται τα καρφιά. Ειδικότερα, όταν οι δύο παράλληλες δυνάμεις είναι πολύ κοντά η μία στην άλλη, σχεδόν πάνω στην ίδια ευθεία, τότε μιλάμε για καθαρή διάτμηση ή ψαλιδισμό ή απλά για τμήση. Στη διάτμηση αναπτύσσονται διατμητικές τάσεις.

ε) Κάμψη. Μία δοκός καταπονείται σε κάμψη όταν στηρίζεται σ' ένα ή περισσότερα σημεία και οι δυνάμεις που ασκούνται σ' αυτήν είναι κάθετες στον οριζόντιο άξονά της και τείνουν να την καμπυλώσουν αλλάζοντας το σχήμα της. Σε κάμψη, για παράδειγμα, καταπονούνται τα δοκάρια του εξώστη ενός καταστρώματος πλοίου. Στην κάμψη αναπτύσσονται ορθές τάσεις.

στ) Στρέψη. Ένα στερεό σώμα καταπονείται σε στρέψη, όταν πάνω σ' αυτό ασκούνται δύο ροπές ίσες και αντίθετης φοράς, οι οποίες όμως δεν βρίσκονται στο ίδιο αλλά σε διαφορετικό επίπεδο. Στη στρέψη αναπτύσσονται διατμητικές τάσεις. Σε στρέψη, για παράδειγμα, καταπονείται ο άξονας ενός βαρούλκου.

- 25) Σύνθετη καταπόνηση έχουμε όταν ένα στερεό σώμα καταπονείται ταυτόχρονα σε δύο ή περισσότερα είδη απλών καταπονήσεων. Για παράδειγμα, σύνθετη καταπόνηση υφίσταται στερεό σώμα που καταπονείται ταυτόχρονα σε στρέψη και κάμψη. Ο κινητήριος άξονας που μεταφέρει ισχύ με ιμάντα καταπονείται σε στρέψη από τη μεταφερόμενη ισχύ και σε κάμψη από την έλξη των ιμάντων και των τροχαλιών.
- 26) Τα διάφορα υλικά παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά στις διάφορες καταπονήσεις. Επίσης, υπάρχουν ορισμένα όρια καταπονήσεως πέρα από τα οποία συμβαίνουν σημαντικές αλλαγές στη συμπεριφορά των διαφόρων υλικών, όπως η εμφάνιση μονίμων παραμορφώσεων. Είναι το όριο διαρροής και το όριο θραύσεως. Με τον όρο αστοχία υλικού εννοούμε, για τα όλκιμα υλικά την εμφάνιση διαρροής και για τα ψαθυρά την εμφάνιση θραύσεως.
- 27) Επιτρεπόμενη τάση μίας κατασκευής ονομάζεται η μέγιστη τάση που επιτρέπεται να αναπτυχθεί στην κατασκευή, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος αστοχίας του υλικού της. Η επιτρεπόμενη τάση συμβολίζεται με $\sigma_{\text{επ}}$ ή $\tau_{\text{επ}}$, ανάλογα εάν έχουμε ορθές ή διατμητικές τάσεις, αντίστοιχα. Προκειμένου να έχουμε ελαστικές παραμορφώσεις, η επιτρεπόμενη τάση δεν πρέπει να ξεπερνά το όριο ελαστικότητας του υλικού και καθορίζεται με τη βοήθεια του συντελεστή ασφαλείας.
- 28) Συντελεστής ασφαλείας n ονομάζεται ο αριθμός που δείχνει πόσες φορές μικρότερη είναι η επιτρεπόμενη τάση από μία τάση αναφοράς.
- Ανάλογα με την τάση αναφοράς που χρησιμοποιούμε έχουμε τους ακόλουθους συντελεστές ασφαλείας:
- α) Συντελεστής ασφαλείας έναντι ελαστικότητας n_E ονομάζεται ο αριθμός που δείχνει πόσες φορές μικρότερη είναι η επιτρεπόμενη τάση $\sigma_{\text{επ}}$ από το όριο ελαστικότητας σ_E .
- β) Συντελεστής ασφαλείας έναντι διαρροής n_S ονομάζεται ο αριθμός που δείχνει πόσες φορές μικρότερη είναι η επιτρεπόμενη τάση $\sigma_{\text{επ}}$ από το όριο διαρροής σ_S .
- γ) Συντελεστής ασφαλείας έναντι θραύσεως n_B ονομάζεται ο αριθμός που δείχνει πόσες φορές μικρότερη είναι η επιτρεπόμενη τάση $\sigma_{\text{επ}}$ από το όριο θραύσεως σ_B .
- Οι ανωτέρω ορισμοί των συντελεστών ασφαλείας αναφέρονται στην περίπτωση ορθών τάσεων. Ανάλογοι ορισμοί ισχύουν και για τις διατμητικές τάσεις. Ο συντελεστής ασφαλείας που συνήθως χρησιμοποιείται στην πράξη είναι ο συντελεστής ασφαλείας έναντι θραύσεως. Στο εξής αναφερόμαστε n αυτόν απλά ως συντελεστή ασφαλείας.

29) Φορέας λέγεται κάθε σώμα το οποίο φέρει εξωτερικά φορτία. Άξονας ενός φορέα λέγεται η γραμμή που συνδέει τα κέντρα βάρους των κάθετων τομών του κατά τη διεύθυνση της μεγαλύτερης διάστασής του. Στην Αντοχή των Υλικών διακρίνουμε τα ακόλουθα είδη φορέων:

Α) Ράβδος είναι ένας φορέας, του οποίου η μια διάσταση είναι πολύ μεγαλύτερη από τις άλλες και καταπονείται μόνο από αξονικά φορτία, δηλαδή φορτία κατά τη διεύθυνση του άξονά της. Οι καταπονήσεις που μπορούν να υφίστανται οι ράβδοι είναι μόνο εφελκυσμός και θλίψη.

Β) Δοκός είναι ένας φορέας, του οποίου η μια διάσταση είναι πολύ μεγαλύτερη από τις άλλες και καταπονείται από κάθε είδος φορτίου. Οι δοκοί μπορούν να υφίστανται όλα τα είδη καταπόνησης.

Γ) Τόξο είναι ένα είδος δοκού, αλλά με καμπύλο άξονα.

Δ) Δίσκος είναι ο φορέας εκείνος, του οποίου η μια διάσταση θεωρείται αμελητέα σε σχέση με τις άλλες δύο. Σύμφωνα με την περιγραφή του, ο δίσκος έχει δύο άξονες. Οι καταπονήσεις που μπορούν να υφίστανται οι δίσκοι είναι μόνο εφελκυσμός και θλίψη κατά μήκος των μεγάλων διαστάσεών τους.

Ε) Πλάκα είναι ένας δίσκος, στον οποίο, όμως, εφαρμόζεται κάθε είδους καταπόνηση. Η πλάκα μπορεί να δεχθεί κάθε είδους φορτίσεις.

Στ) Κέλυφος είναι ένα είδος δίσκου με καμπύλη μέση επιφάνεια.

30) Τα φορτία (δυνάμεις και ροπές), που καταπονούν ένα σώμα, κατατάσσονται στις παρακάτω ταξινομήσεις, ανάλογα με α) τη χρονική συνάρτηση που τα περιγράφει β) τον τρόπο δράσης τους και γ) την έκταση της περιοχής δράσης τους:

Α) Χρονική συνάρτηση:

Σύμφωνα με αυτή την ταξινόμηση τα φορτία κατατάσσονται ως εξής:

Μόνιμα φορτία είναι εκείνα που καταπονούν ένα σώμα μόνιμα ή για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Π.χ. το βάρος ενός τοίχου, το χιόνι στη στέγη ενός σπιτιού κ.λπ.

Κρουστικά (ή στιγμιαία) φορτία είναι αυτά που επιβάλλονται για ελάχιστο χρονικό διάστημα. Π.χ. η δύναμη στους τροχούς ενός αεροπλάνου κατά την προσγείωση.

Εναλλασσόμενα (ή δυναμικά) είναι τα φορτία, που μεταβάλλονται χρονικά σύμφωνα με μια περιοδική συνάρτηση. Π.χ. σεισμικά φορτία, θαλάσσια κύματα.

Β) Τρόπος δράσης:

Υπ' αυτή τη θεώρηση παρατηρούμε δύο είδη φορτίων:

Επιφανειακά φορτία είναι εκείνα που δρουν στο όριο (επιφάνεια) του σώματος, λέγονται δε και φορτίσεις επαφής.

Καθολικά φορτία, είναι αυτά που ασκούνται σε κάθε μόριο του σώματος, αλλιώς δε λέγονται φορτία πεδίου.

Γ) Περιοχή δράσης:

Σύμφωνα με αυτή την κατάταξη υπάρχουν τα εξής είδη φορτίων:

Συγκεντρωμένα φορτία είναι αυτά που δρουν σε ένα υλικό σημείο του συνόρου του σώματος.

Μια απειροελάχιστη, αμελητέα επιφάνεια θεωρείται υλικό σημείο, γι' αυτό τα φορτία αυτά ονομάζονται και *σημειακά φορτία*. Τέτοιου είδους δυνάμεις προκύπτουν για παράδειγμα, από την πίεση του τροχού του τραίνου επάνω σε μια γραμμή (δοκό).

Γραμμικά κατανεμημένα φορτία είναι αυτά που ενεργούν πάνω σε μια γραμμή, στην επιφάνεια του σώματος. (Η γραμμή εδώ έχει την έννοια ενός συνόλου υλικών σημείων). Η κατανομή των φορτίων αυτών, μπορεί να είναι *ομοιόμορφη, τριγωνική, τραπεζοειδής* (που προκύπτει από άθροισμα της ομοιόμορφης και της τριγωνικής), *παραβολική*, κλπ.

Επιφανειακά κατανεμημένα φορτία όπως είναι το *ίδιο βάρος* των επιφανειών, το βάρος του χιονιού σε μία επιφάνεια κ.λ.π., καθώς επίσης και φορτία κατανεμημένα σε όλο τον όγκο (χώρο) του σώματος που χαρακτηρίζονται σαν *χωρικά κατανεμημένα φορτία*. Τέτοιο είδος είναι το ειδικό Βάρος ενός *ομογενούς* σώματος.

Εκτός από τα παραπάνω είδη φορτίων, ένα σώμα μπορεί επίσης να φορτίζεται και από *εξωτερική ροπή*, που συνήθως μετριέται σε Nm, tm. Στην πράξη πολλές φορές συνηθίζονται και τα πολλαπλάσια των μονάδων αυτών π.χ. KNm, MNm κ.λ.π.

7.3 Ερωτοαπαντήσεις πολλαπλής επιλογής με θέμα Αντοχής των Υλικών και των Εφαρμογών

1. Καταπόνηση ορίζεται ως η αναλογία

(α) αλλαγή όγκου στον αρχικό όγκο

(β) αλλαγή μήκους στο αρχικό μήκος

(γ) αλλαγή διατομική περιοχής στην αρχική διατομική περιοχή

(δ) οποιοδήποτε από τα ανωτέρω

(ε) κανένα από τα ανωτέρω

2. Ο νόμος του Hooke κρατά καλός μέχρι

- (α) σημείο παραγωγής
- (β) όριο της αναλογικότητας
- (γ) σημείο διάσπασης
- (δ) ελαστικό όριο
- (ε) πλαστικό όριο

3. Ο συντελεστής του Young ορίζεται ως η αναλογία

- (α) ογκομετρική τάση και ογκομετρική πίεση
- (β) πλευρική τάση και πλευρική πίεση
- (γ) διαμήκης τάση και διαμήκης πίεση
- (δ) διατμητική τάση σε διατμητική πίεση
- (ε) διαμήκης τάση και πλευρική πίεση

4. Η μονάδα του συντελεστή του Young είναι

- (α) mm/mm
- (β) kg/cm
- (γ) kg
- (δ) kg/cm²
- (ε) τ.εκ. κλ

5. Η παραμόρφωση ανά μήκος μονάδων στην κατεύθυνση της δύναμης είναι γνωστή όπως

- (α) πίεση
- (β) πλευρική πίεση
- (γ) γραμμική πίεση
- (δ) γραμμική πίεση
- (ε) πίεση μονάδων

6. Ίσες και αντίθετες δυνάμεις που εφαρμόζονται σε ένα σώμα τείνει επιμήκη αυτό, η πίεση παραχθείσα έτσι καλείται

- (α) εσωτερικό resistance
- (β) εκτατή πίεση
- (γ) εγκάρσια πίεση
- (δ) συμπιεστική πίεση
- (ε) πίεση εργασίας

7. Τα υλικά που έχουν τις ίδιες ελαστικές ιδιότητες προς όλες τις κατευθύνσεις καλούνται

- (α) ιδανικά υλικά
- (β) ομοιόμορφα υλικά
- (γ) ιστροπικά υλικά
- (δ) paractical υλικά
- (ε) ελαστικά υλικά

8. Το λεπτό ήπιο χαλύβδινο σύρμα φορτώνεται με την προσθήκη των φορτίων στις ίσες αυξήσεις μέχρις ότου σπάσει. Οι επεκτάσεις που σημειώνονται με τα αυξανόμενα φορτία θα συμπεριφερθούν όπως παρακάτω

- (α) ομοιόμορφο
- (β) αύξηση ομοιόμορφα
- (γ) πρώτα αύξηση και έπειτα μείωση
- (δ) αυξάνεται ομοιόμορφα πρώτα και έπειτα αυξάνεται γρήγορα
- (ε) αυξάνεται γρήγορα πρώτα και έπειτα ομοιόμορφα

9. Ο συντελεστής της ακαμψίας ορίζεται ως η αναλογία

- (α) διαμήκης τάση και διαμήκης πίεση
- (β) ογκομετρική τάση και ογκομετρική πίεση
- (γ) πλευρική τάση και πλευρική πίεση
- (δ) διατμητική τάση και διατμητική πίεση
- (ε) γραμμική τάση και πλευρική πίεση

10. Εάν η ακτίνα του καλωδίου που τεντώνεται από ένα φορτίο διπλασιάζεται, κατόπιν ο συντελεστής του Young θα είναι

- (α) διπλασιασμένος
- (β) διχοτομημένος
- (γ) γίνοντας τέσσερις φορές
- (δ) γίνοντας ένα τέταρτο
- (ε) παραμένει απρόσβλητος

11. Η τελευταία εκτατή πίεση του ήπιου χάλυβα έναντι της τελευταίας συμπιεστικής πίεσης είναι

- (α) ίδια
- (β) περισσότερη
- (γ) λιγότερη
- (δ) λίγο πολύ ανάλογα με άλλους παράγοντες
- (ε) απρόβλεπτη

12. Η εκτατή δύναμη ενός υλικού λαμβάνεται με τη διαίρεση του μέγιστου φορτίου κατά τη διάρκεια της δοκιμής από

- (α) περιοχή κατά την διάρκεια της διάσπασης
- (β) αρχική διατομική περιοχή
- (γ) μέσος όρος (α) και (β)
- (δ) ελάχιστη περιοχή μετά από τη διάσπαση
- (ε) κανένα από τα ανωτέρω

13. Η δύναμη αντίκτυπου ενός υλικού είναι ένας δείκτης της

- (α) ανθεκτικότητας
- (β) εκτατής δύναμης
- (γ) ικανότητα της ύπαρξης κρύος που εργάζεται
- (δ) σκληρότητας
- (ε) δύναμης κόπωσης

14. Ο συντελεστής του Young ενός καλωδίου ορίζεται ως η πίεση που θα αυξήσει το μήκος του καλωδίου έναντι του αρχικού μήκους της

- (α) μισός
- (β) ίδια ποσότητα
- (γ) διπλάσιο
- (δ) ένα τέταρτο
- (ε) τέσσερις φορές

15. Ποσοστιαία μείωση της περιοχής στην εκτέλεση της εκτατής δοκιμής στο χυτοσίδηρο μπορεί να είναι

- (α) 50%
- (β) 25%
- (γ) 0%
- (δ) 15%
- (ε) 60%

16. Η ένταση της πίεσης που προκαλεί την πίεση μονάδων καλείται

- (α) πίεση μονάδων
- (β) μαζικός συντελεστής
- (γ) συντελεστής της ακαμψίας
- (δ) συντελεστής της ελαστικότητας
- (ε) κύρια πίεση

17. Πραγματική παραμόρφωση καμπύλης για τα υλικά σχεδιάζεται μεταξύ

- (α) φορτίο/αρχικές διατομική περιοχή και αλλαγή στο μήκος/το αρχικό μήκος
- (β) φορτίο/στιγμιαία περιοχή και κούτσουρο διατομικής περιοχής αρχική
- (γ) φορτίο/στιγμιαίες διατομική περιοχή και αλλαγή στο μήκος/το αρχικό μήκος
- (δ) φορτίο/στιγμιαία περιοχή και στιγμιαία περιοχή/αρχική περιοχή
- (ε) κανένα από τα ανωτέρω

18. Κατά τη διάρκεια μιας εκτατής δοκιμής σε ένα δείγμα της διατομής 1 εκατ., το μέγιστο φορτίο παρατηρήθηκε ότι ήταν 8 τόνοι και ο τομέας της διατομής στο λαιμό ήταν 0.5 τ.εκ. Η τελευταία εκτατή δύναμη του δείγματος είναι

- (α) 4 τόνοι/τ.εκ.
- (β) 8 τόνοι/τ.εκ.
- (γ) 16 τόνοι/τ.εκ.
- (δ) 22 τόνοι/τ.εκ.
- (ε) κανένα από τα ανωτέρω

19. Για τον χάλυβα, η τελευταία δύναμη στην διάτμηση σε σύγκριση με την ένταση είναι σχεδόν

- (α) ίδια
- (β) μισή
- (γ) ένα τρίτο
- (δ) δύο τρίτα
- (ε) ένα τέταρτο

20. Ποιο από τα ακόλουθα δεν έχει καμία μονάδα

- (α) κινηματικό ιξώδες
- (β) ένταση επιφάνειας
- (γ) μαζικός συντελεστής
- (δ) πίεση
- (ε) ελαστικότητα

21. Ποια είναι η ψευδής δήλωση για την αληθινή μέθοδο παραμόρφωσης

- (α) δεν υπάρχει
- (β) είναι πιο ευαίσθητο στις αλλαγές και στις μεταλλουργικές και μηχανικές καταστάσεις
- (γ) δίνει, μια ακριβέστερη εικόνα της ολκιμότητας
- (δ) μπορεί να συσχετιστεί με παραμόρφωση στις τιμές σε άλλες δοκιμές όπως torsion, τον αντίκτυπο, τις συνδυασμένες δοκιμές κ.λπ. πίεσης
- (ε) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις δοκιμές συμπίεσης επίσης

22.Μια εκτατή δοκιμή σε δείγμα ήπιου χάλυβα, η πίεση διάσπασης σε σύγκριση με την τελευταία εκτατή πίεση είναι

- (α) περισσότερη
- (β) λιγότερη
- (γ) ίδια
- (δ) περισσότερη/λιγότερη ανάλογα με τη σύνθεση
- (ε) μπορεί να έχει οποιαδήποτε τιμή

23.Εάν ένα μέρος περιορίζεται για να κινηθεί και να θερμανθεί, θα αναπτυχθεί

- (α) κύρια πίεση
- (β) εκτατή πίεση
- (γ) συμπιεστική πίεση
- (δ) διατμητική πίεση
- (ε) καμία πίεση

24.Ποιο των ακόλουθων υλικών είναι ελαστικότερο

- (α) λάστιχο
- (β) πλαστικό
- (γ) ορείχαλκος
- (δ) χάλυβας
- (ε) γυαλί

25.Η τιμή του συντελεστή της ελαστικότητας για τον ήπιο χάλυβα είναι της διαταγής

- (α) $2.1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$
- (β) $2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$
- (γ) $2.1 \times 10^7 \text{ kg/cm}^2$
- (δ) $0.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 \text{ kg/cm}^2$

26. Η τιμή της αναλογίας Poisson για το χάλυβα είναι μεταξύ

- (α) 0.01 έως 0.1
- (β) 0.23 έως 0.27
- (γ) 0.25 έως 0.33
- (δ) 0.4 έως 0.6
- (ε) 3 έως 4

27. Καμπτώμενο φορτίο για ένα δεδομένο υλικό εξαρτάται από

- (α) αναλογία slenderness και τομέας της διατομής
- (β) αναλογία και συντελεστής Poisson της ελαστικότητας
- (γ) αναλογία slenderness και συντελεστής της ελαστικότητας
- (δ) αναλογία slenderness, τομέας της διατομής και συντελεστής της ελαστικότητας
- (ε) αναλογία Poisson και αναλογία slenderness

28. Η συνολική επιμήκυνση που παράγεται σε έναν φραγμό της ομοιόμορφης ένωσης τμημάτων κάθετα προς τα κάτω λόγω του βάρους της είναι ίση με αυτήν που παράγεται από ένα βάρος

- (α) του ίδιου μεγέθους με αυτόν του φραγμού και ισχύων στο χαμηλότερο όριο
- (β) το μισό βάρος του φραγμού που εφαρμόζεται στο χαμηλότερο όριο
- (γ) το μισό από το τετράγωνο του βάρους του φραγμού που εφαρμόζεται στο χαμηλότερο όριο
- (δ) ένα τέταρτο του βάρους του φραγμού που εφαρμόζεται στο χαμηλότερο όριο
- (ε) κανένα από τα ανωτέρω

29. Η ιδιοκτησία ενός υλικού δυνάμει του οποίου ένα σώμα επιστρέφει σε αρχικό του, μορφή μετά από την αφαίρεση του φορτίου καλείται

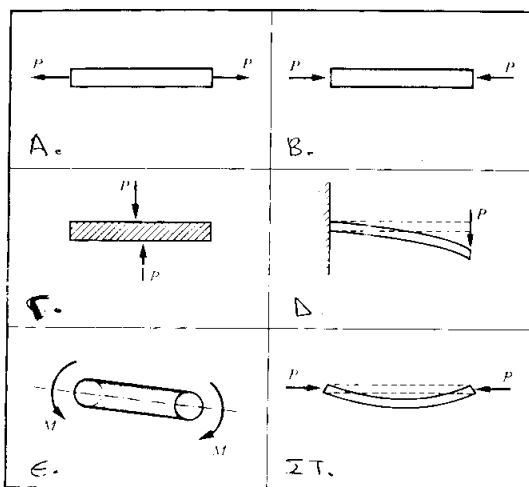
- (α) πλαστικότητα
- (β) ελαστικότητα
- (γ) ολκιμότητα
- (δ) μαλακότητα
- (ε) ανθεκτικότητα

30. Τα υλικά που εκθέτουν τις ίδιες ελαστικές ιδιότητες προς όλες τις κατευθύνσεις καλούνται

- (α) ομοιογενή
- (β) ανελαστικά
- (γ) ιστροπικά
- (δ) ισεντροπικά
- (ε) visco-elastic

31. ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΤΕ ΤΑ ΕΙΔΗ ΑΠΛΩΝ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΩΝ

Τα διάφορα είδη των απλών καταπονήσεων



- A. ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ
- B. ΘΛΙΨΗ
- Γ. ΔΙΑΤΜΗΣΗ
- Δ. ΚΑΜΨΗ
- Ε. ΣΤΡΕΨΗ
- ΣΤ. ΛΥΓΙΣΜΟΣ

32. Ο ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ, ν , ΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΕΙΝΑΙ

- (α) $\nu = \sigma(\theta\rho) / \sigma(\epsilon\pi)$
- (β) $\nu = \sigma(\epsilon\pi) / \sigma(\theta\rho)$
- (γ) $\nu = 1$
- (δ) $\nu = \sigma(\theta\rho) \cdot \sigma(\epsilon\pi)$

33. Η ΣΥΝΘΗΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ ΣΤΑ ΣΤΕΡΕΑ ΣΩΜΑΤΑ ΕΙΝΑΙ

- (α) $\sum F_x = 0, \sum F_y = 0, \sum M_o = 0$
- (β) $\sum F_x = 0, \sum F_y = 0$
- (γ) $\sum M_o = 0$
- (δ) $\sum F_x = 0$

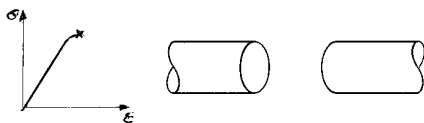
34. Ο ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ ΗΟΟΚΕ (ΣΤΑΘΕΡΑ ΥΟΟΝΓ ' Η ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ , Ε) ΕΚΦΡΑΖΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΣΧΕΣΗ

- (α) $E = \epsilon / \sigma$
- (β) $E = \sigma / \epsilon$
- (γ) $E = \epsilon \cdot \sigma$
- (δ) $E = (\sigma / \epsilon) + \epsilon_0$

35. Η τιμή της αναλογίας Poisson για το χυτοσίδηρο είναι

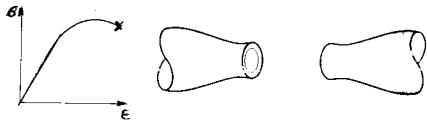
- (α) 0.1 έως 0.2
- (β) 0.23 έως 0.27
- (γ) 0.25 έως 0.33
- (δ) 0.4 έως 0.6
- (ε) 3 έως 4

36. ΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ (σ v. ϵ) ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ ΕΙΝΑΙ ΑΥΤΟ ΕΝΟΣ ΨΑΘΥΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ



- (α) ΣΩΣΤΟ
- (β) ΛΑΘΟΣ

37.ΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ (σ v. ϵ) ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ ΕΙΝΑΙ ΑΥΤΟ ΕΝΟΣ ΟΛΚΙΜΟΥ ΥΛΙΚΟΥ



- (α) ΣΩΣΤΟ
- (β) ΛΑΘΟΣ

38.ΟΙ ΠΛΑΣΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΠΟΥ ΥΦΙΣΤΑΝΤΑΙ ΣΕ ΣΩΜΑΤΑ ΠΟΥ ΦΟΡΤΙΖΟΝΤΑΙ, ΕΞΑΦΑΝΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΠΟΦΟΡΤΙΣΗ ΤΩΝ

- (α) ΣΩΣΤΟ
- (β) ΛΑΘΟΣ

39.Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ ΠΡΟΚΑΛΕΙ ΤΗΝ ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΤΗΣ ΡΑΒΔΟΥ

- (α) ΣΩΣΤΟ
- (β) ΛΑΘΟΣ

40.Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΚΑΜΨΗΣ ΠΡΟΚΑΛΕΙ ΤΗΝ ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΤΗΣ ΡΑΒΔΟΥ ΣΤΗΝ ΡΑΧΗ (ΠΑΝΩ ΠΛΕΥΡΑ) ΚΑΙ ΣΜΙΚΡΥΝΣΗ ΣΤΗΝ ΚΟΙΛΙΑ (ΚΑΤΩ ΠΛΕΥΡΑ)

- (α) ΣΩΣΤΟ
- (β) ΛΑΘΟΣ

41.ΜΕ ΠΟΣΗ ΔΥΝΑΜΗ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΕΦΕΛΚΥΕΤΑΙ ΡΑΒΔΟΣ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ($a = 20\text{cm}$,) ΩΣΤΕ ΝΑ ΑΝΤΕΧΕΙ ($\sigma(\epsilon\pi) = 20\text{Kp/mm}^2$)

- (α) $80 \cdot 10^4 \text{ Kp}$
- (β) $80 \cdot 10^3 \text{ Kp}$
- (γ) $70 \cdot 10^4 \text{ N}$
- (δ) $70 \cdot 10^3 \text{ N}$

42.Η ΜΟΝΑΔΑ (1 KN) ΙΣΟΥΤΑΙ ΜΕ

- (α) 10^4 N
- (β) 10^2 N
- (γ) 10^3 N
- (δ) 10^0 N

43. Η ΜΟΝΑΔΑ (1 Kp) ΙΣΟΥΤΑΙ ΜΕ

- (α) 10 N
- (β) 10^2 N
- (γ) 10^3 N
- (δ) 10° N

44. Η ενέργεια που απορροφάται σε ένα σώμα, όταν τεντώνεται μέσα στα ελαστικά όρια, είναι γνωστή όπως

- (α) ενέργεια πίεσης
- (β) ανθεκτικότητα
- (γ) ανθεκτικότητα απόδειξης
- (δ) συντελεστής της ανθεκτικότητας
- (ε) ανθεκτικότητα

45. Η ελαστικότητα ενός υλικού εξετάζεται όταν υποβάλλεται

- (α) συχνή θερμική επεξεργασία
- (β) εξασθένηση
- (γ) ερπυσμός
- (δ) φόρτωση κλονισμού
- (ε) ηχηρός όρος

46. ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ Η ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΕΙΝΑΙ



- (α) ΗΛΟΣ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ , ΕΛΑΣΜΑ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ ΚΑΙ ΠΙΕΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ
- (β) ΗΛΟΣ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΚΑΙ ΠΙΕΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ , ΕΛΑΣΜΑ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ
- (γ) ΗΛΟΣ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ , ΕΛΑΣΜΑ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ ΚΑΙ ΠΙΕΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ
- (δ) ΗΛΟΣ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ , ΕΛΑΣΜΑ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΚΑΙ ΠΙΕΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

47. ΠΟΣΗ ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ σ , ΠΡΟΚΑΛΕΙΤΑΙ ΣΕ ΕΝΑ ΔΟΚΙΜΙΟ ΔΙΑΤΟΜΗΣ 10mm^2 , ΑΠΟ ΜΙΑ ΔΥΝΑΜΗ 10KN ΠΟΥ ΑΣΚΕΙΤΑΙ ΚΑΘΕΤΑ ΣΕ ΑΥΤΟ

- (α) 10Kp/mm^2
- (β) 100Kp/mm^2
- (γ) 200Kp/cm^2
- (δ) 20Kp/m^2

48. Η μέγιστη ενέργεια πίεσης που μπορεί να αποθηκευτεί σε ένα σώμα είναι γνωστή όπως

- (α) ενέργεια αντίκτυπου
- (β) ανθεκτικότητα
- (γ) ανθεκτικότητα απόδειξης
- (δ) συντελεστής της ανθεκτικότητας
- (ε) ανθεκτικότητα

49. Η συνολική ενέργεια πίεσης που αποθηκεύεται σε ένα σώμα καλείται όπως

- (α) ανθεκτικότητα
- (β) ανθεκτικότητα απόδειξης
- (γ) συντελεστής της ανθεκτικότητας
- (δ) ανθεκτικότητα
- (ε) ενέργεια αντίκτυπου

50. Η πίεση που προκαλείται σε ένα σώμα λόγω του ξαφνικά εφαρμοσμένου φορτίου έναντι σε όταν εφαρμόζεται βαθμιαία είναι

- (α) ίδιο πράγμα
- (β) μισή
- (γ) δύο φορές
- (δ) τέσσερις φορές
- (ε) κανένα από τα ανωτέρω

Απαντήσεις των παραπάνω ερωτήσεων:

1. (δ)	11. (β)	21. (α)	31. Συμπλήρωσης	41. (α)
2. (β)	12. (β)	22. (β)	32. (α)	42. (γ)
3. (γ)	13. (α)	23. (γ)	33. (α)	43. (α)
4. (δ)	14. (β)	24. (δ)	34. (β)	44. (α)
5. (γ)	15. (γ)	25. (β)	35. (β)	45. (δ)
6. (β)	16. (δ)	26. (γ)	36. (α)	46. (β)
7. (γ)	17. (β)	27. (δ)	37. (α)	47. (β)
8. (δ)	18. (β)	28. (β)	38. (β)	48. (γ)
9. (δ)	19. (β)	29. (β)	39. (β)	49. (α)
10. (ε)	20. (δ)	30. (γ)	40. (α)	50. (γ)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Δρ Π. Α. Βουθούνης, «τεχνική μηχανική ΑΝΤΟΧΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ», ΑΘΗΝΑ, 1993.
- Γεώργιος Δανιήλ Πλαϊνάκης, «ΑΝΤΟΧΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ ΤΩΝ ΑΚΑΔΗΜΙΩΝ ΤΟΥ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ», ΠΕΙΡΑΙΑΣ, 2011.
- Ν. Δ. ΓΑΛΙΑΤΣΑΤΟΥ – Γ. Σ. ΛΙΝΑΡΔΑΤΟΥ – Δ. Σ. ΛΙΝΑΡΔΑΤΟΥ, «ΑΝΤΟΧΗ ΥΛΙΚΩΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΑΚΑΔΗΜΙΩΝ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ», ΑΘΗΝΑ, 2011.