

# ΒΙΟΦΥΣΙΚΗ

## 4. ΣΤΑΤΙΚΗ – ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ, ΑΝΤΟΧΗ ΒΙΟΥΛΙΚΩΝ

ΓΚΛΩΤΣΟΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ

[dimglo@uniwa.gr](mailto:dimglo@uniwa.gr)

Τμήμα Μηχανικών Βιοϊατρικής  
Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

**1. Καταπονήσεις – Βασικές Έννοιες**

**2. Καταπονήσεις στο ανθρώπινο σώμα**

**3. Ασκήσεις: Μελέτη αντοχής βιοϋλικών**

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

**1. Καταπονήσεις – Βασικές Έννοιες**

**2. Καταπονήσεις στο ανθρώπινο σώμα**

**3. Ασκήσεις: Μελέτη αντοχής βιοϋλικών**

# ΣΤΑΤΙΚΗ - ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ

**Παραμόρφωση:** όταν ένα υλικό αλλάζει το σχήμα ή/και τον όγκο του υπό την επίδραση εξωτερικών φορτίων

**Ελαστικότητα:** όταν το υλικό επιστρέφει στην αρχική του μορφή μετά την παύση της επίδρασης των εξωτερικών φορτίων

**Πλαστικότητα:** όταν το υλικό παραμένει στην κατάσταση της παραμόρφωσης μετά την παύση της επίδρασης των εξωτερικών φορτίων

Τα περισσότερα υλικά που θα συναντήσουμε στη φύση είναι ελαστοπλαστικά, δηλαδή χαρακτηρίζονται από διαφορετικό βαθμό ελαστικότητας και πλαστικότητας

Πολύ ανθεκτικό υλικό είναι ο χάλυβας και τα σκληρομεταλλα που παραμορφώνονται πολύ δύσκολα, ενώ πολύ πλαστικό υλικό είναι ο μόλυβδος, ο πηλός κ.α,

Στο ανθρώπινο σώμα πολύ ελαστικό υλικό είναι οι τένοντες και οι μύες, ενώ οι και οι μαλακοί ιστοί, τα εσωτερικά όργανα και ο εγκεφαλικός ιστός παρουσιάζουν μεγαλύτερη πλαστικότητα.

# ΣΤΑΤΙΚΗ - ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ

Όταν ένα υλικό δέχεται εξωτερικά φορτία τότε λέμε ότι αυτό φορτίζεται ή καταπονείται.

**Αντοχή των υλικών** είναι ο τομέας που ασχολείται με την μελέτη της συμπεριφοράς των υλικών υπό την επίδραση διαφόρων εξωτερικών φορτίων και καθορίζει τα ασφαλή όρια λειτουργίας και τις μέγιστες φορτίσεις που μπορούν να δεχθούν τα υλικά πριν αυτά καταστραφούν (θραύση) ή να παραμορφωθούν με τρόπο που τα καθιστά μη λειτουργικά

## Εκπαιδευτική προβολή:

<https://www.youtube.com/watch?v=W5A8gU37wGg>

<https://www.youtube.com/watch?v=DFeHYFPEIvE>

<https://www.youtube.com/watch?v=5dEgZNRQbGg>

<https://www.youtube.com/watch?v=mTPYmrCuYnY>

[https://www.youtube.com/watch?v=S4\\_YIO-r5Lw](https://www.youtube.com/watch?v=S4_YIO-r5Lw)

<https://www.youtube.com/watch?v=aNKg9236DNg>

# ΣΤΑΤΙΚΗ - ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ

## Είδη καταπονήσεων

**Εφελκυσμός:** προκαλείται από την επίδραση δύο αντίθετων δυνάμεων που έχουν την τάση να επιμηκύνουν το υλικό

**Θλίψη:** προκαλείται από την επίδραση δύο αντίθετων δυνάμεων που έχουν την τάση να συμπιέσουν το υλικό

**Διάτμηση:** προκαλείται από την επίδραση δύο αντίθετων δυνάμεων οι οποίες έχουν την τάση να ψαλιδίσουν το υλικό

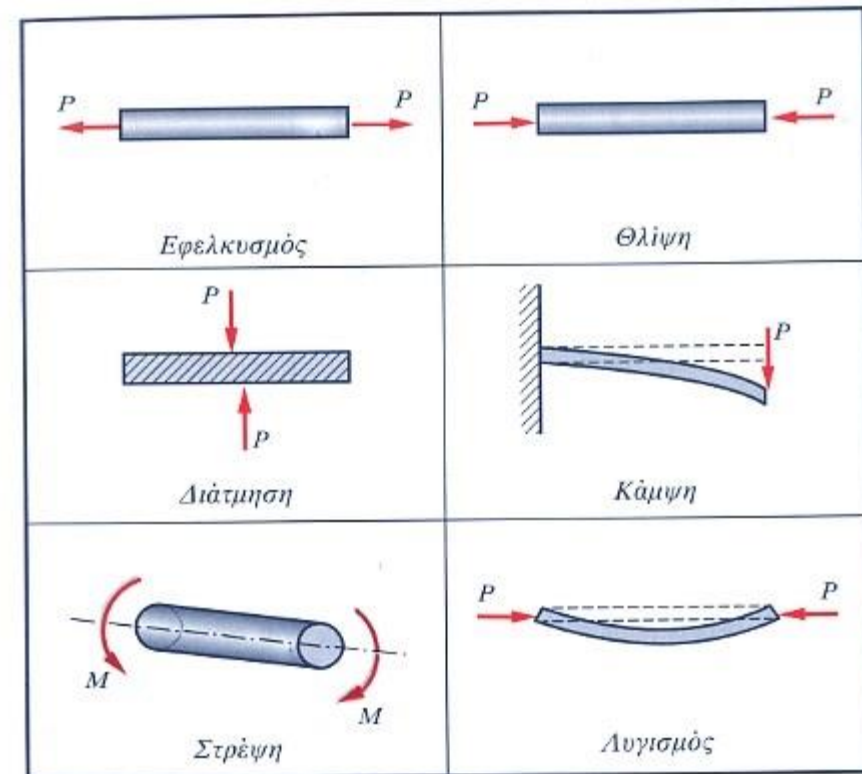
**Κάμψη:** προκαλείται από την επίδραση δυνάμεων που έχουν την τάση να κάμψουν/καμπυλώσουν το υλικό

**Λυγισμός:** προκαλείται από την επίδραση δύο αντίθετων δυνάμεων που έχουν την τάση να συμπιέσουν και να κάμψουν το υλικό

**Στρέψη:** προκαλείται από την επίδραση δύο αντίθετων ροπών που έχουν την τάση να στρέψουν το υλικό

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1

Τα διάφορα είδη των απλών καταπονήσεων



# ΣΤΑΤΙΚΗ - ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ

## Φορτία:

**Ημιστατικά:** διατηρούν σταθερή την τιμή τους, φορτίζουν και αποφόρτιση σταδιακά

**Μόνιμα:** Ασκούνται συνεχώς στο υλικό, πχ βαρυτικά φορτία

**Κρουστικά:** Απότομη φόρτιση και αποφόρτιση

**Εναλλασσόμενα:** Φόρτιση με περιοδικό τρόπο

**Συγκεντρωμένα:** Ασκούνται σε τόσο μικρή περιοχή που μπορούμε να την θεωρήσουμε ως σημείο

**Κατανεμημένα:** Ασκούνται σε μια περιοχή/επιφάνεια

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.2

Διάφορα είδη φορτίων

Χαρακτηρισμός φορτίου	Συμβολισμός	Μονάδες μέτρησης
Συγκεντρωμένο ή σημειακό φορτίο		N, Kp, t
Ομοιόμορφη κατανομή φορτίου		N/m, Kp/m, t/m
Τριγωνική κατανομή φορτίου		N/m, Kp/m, t/m
Ανομοιόμορφη κατανομή φορτίου		N/m, Kp/m, t/m
Επιφανειακά κατανεμημένο φορτίο		N/m <sup>2</sup> , Kp/m <sup>2</sup> , t/m <sup>2</sup>
Χωρικά κατανεμημένο φορτίο		KN/m <sup>3</sup> , t/m <sup>3</sup>
Συγκεντρωμένη ροπή		Nm, Kpm, tm

# ΣΤΑΤΙΚΗ - ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ

## Διαγράμματα εφελκυσμού:

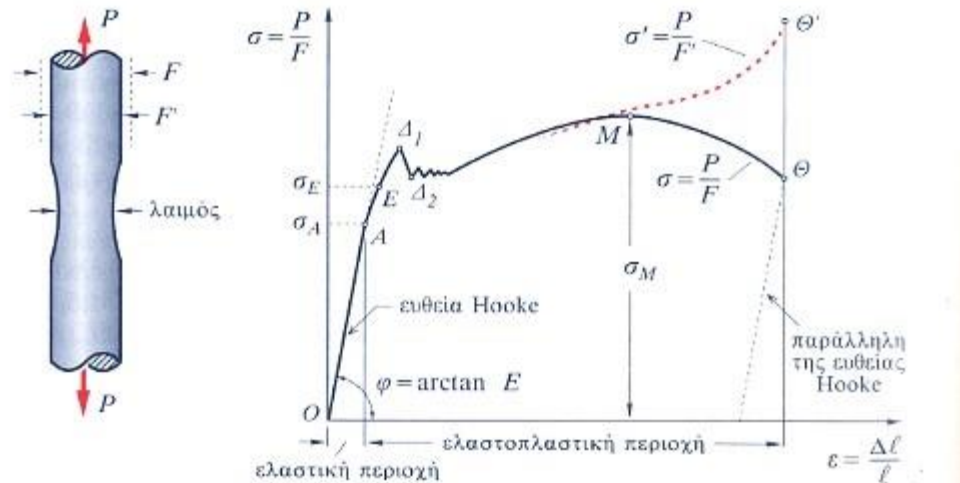
Γραμμικά από Ο-Α (ελαστική περιοχή)

Μη γραμμικά από Α-Ε (ελαστική περιοχή)

Όριο ελαστικότητας στο Ε

Αύξηση παραμόρφωσης χωρίς μεγάλη αύξηση των τάσεων ( $E\Delta_1\Delta_2$ ), ακόμα μεγαλύτερη επιμήκυνση (διαρροή)

Αύξηση παραμόρφωσης μέχρι το σημείο Θ στο οποίο και θραύεται (σπάει)



Διάγραμμα τάσεων για εφελκυσμό - χάλυβας

Εκπαιδευτική προβολή:

<https://www.youtube.com/watch?v=D8U4G5kcpCM>

Πηγή: Βουθούνης, Π.Α., Τεχνική Μηχανική, 2011

# ΣΤΑΤΙΚΗ - ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ

## Νόμος του Hooke

-Η τάση και η παραμόρφωση σχετίζονται γραμμικά:

$$\sigma = \varepsilon \cdot E$$


όπου  $\varepsilon$  η παραμόρφωση και  $E$  μία σταθερά που είναι χαρακτηριστική του υλικού (μέτρο ελαστικότητας, ή μέτρο Young N/m<sup>2</sup>).

Δεδομένου ότι

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

$$\sigma = \varepsilon \cdot E$$

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

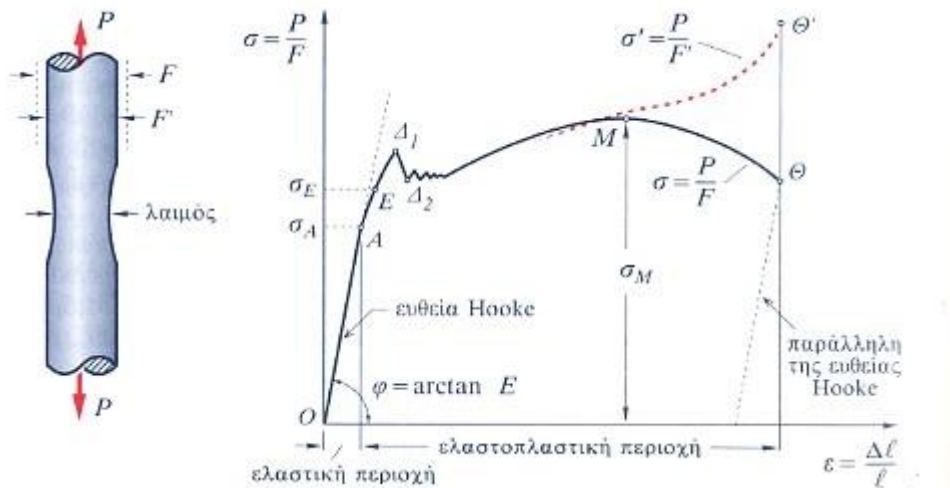

$$\Delta l = \frac{P \cdot l}{E \cdot F}$$

όπου  $\sigma$  είναι η καταπόνηση/τάση,  $P$  το φορτίο,  $\Delta l$  η μεταβολή του μήκους,  $F$  το εμβαδόν της επιφάνειας κάθετης διατομής της ράβδου

# ΣΤΑΤΙΚΗ - ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ

## Νόμος του Hooke

-Ο νόμος του Hooke ισχύει μόνο εντός της ελαστικής περιοχής



Διάγραμμα τάσεων για εφελκυσμό - χάλυβας

Πηγή: Βουθούνης, Π.Α., Τεχνική Μηχανική, 2011

# ΣΤΑΤΙΚΗ - ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ

## Λόγος Poisson

-Στον εφελκυσμό, πέρα της αξονικής επιμήκυνσης, παρατηρείται και μια εγκάρσια επιβράχυνση του υλικού. Αντίστοιχα, στη θλίψη, πέρα από την αξονική επιβράχυνση, παρατηρείται και μια εγκάρσια επιμήκυνση του υλικού. Το φαινόμενο αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της διαμέτρου στον εφελκυσμό μιας κυλινδρικής ράβδου και την αύξηση της διαμέτρου στην θλίψη μιας κυλινδρικής ράβδου. Ο λόγος Poisson  $\mu$  ποσοτικοποιεί το φαινόμενο αυτό ως εξής:

$$\mu = -\frac{\varepsilon_q}{\varepsilon}$$

$$\varepsilon_q = \frac{b' - b}{b}$$

$$m = \frac{1}{\mu}$$

Όπου  $\varepsilon$  η ανηγμένη αξονική παραμόρφωση (αξονική επιμήκυνση ή επιβράχυνση),  
 $\varepsilon_q$  η ανηγμένη εγκάρσια παραμόρφωση (εγκάρσια επιμήκυνση ή επιβράχυνση)  
και  $m$  η σταθερά Poisson

Material ↕	Poisson's ratio ↕
rubber	0.4999 [9]
gold	0.42–0.44
saturated clay	0.40–0.49
magnesium	0.252-0.289
titanium	0.265-0.34
copper	0.33
aluminium-alloy	0.32
clay	0.30–0.45
stainless steel	0.30–0.31
steel	0.27–0.30
cast iron	0.21–0.26
sand	0.20–0.45
concrete	0.1-0.2
glass	0.18–0.3
foam	0.10–0.50
cork	0.0

Πηγή:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Poisson%27s\\_ratio](https://en.wikipedia.org/wiki/Poisson%27s_ratio)

# ΣΤΑΤΙΚΗ - ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ

## Όρια ασφαλείας

-Η συνήθης χρήση των υλικών γίνεται εντός της περιοχής αναλογίας/ελαστικότητας, μακριά από τις περιοχές παραμορφώσεων και θραύσης

- Οι τάσεις λειτουργίας θα πρέπει να είναι μικρότερες από τις μέγιστες επιτρεπόμενες τάσεις λειτουργίας, οι οποίες εκφράζουν τις οριακές συνθήκες πέρα από τις οποίες ο κατασκευαστής δεν εγγυάται την ασφαλή και προβλέψιμη χρήση του υλικού

-Για λόγους οικονομίας, πολλές φορές οι επιτρεπόμενες τάσεις λαμβάνονται ίσες με το όριο διαρροής ή ακόμα και με το όριο της θραύσης

-Για να βρεθεί η επιτρεπόμενη τάση ως συνάρτηση του ορίου διαρροής ( $\sigma_{\delta}$ ) ή/και του ορίου θραύσης ( $\sigma_{\theta\rho}$ ), λαμβάνεται υπόψη ο λεγόμενος συντελεστής ασφαλείας  $\nu$ :

$$\nu_{\theta\rho} = \frac{\sigma_{\theta\rho}}{\sigma_{\varepsilon\pi}} \quad \nu_{\delta} = \frac{\sigma_{\delta}}{\sigma_{\varepsilon\pi}}$$

# ΣΤΑΤΙΚΗ - ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ

## Όρια ασφαλείας

Για να εργάζεται ένα υλικό κανονικά (δηλαδή με ασφάλεια και προβλέψιμη συμπεριφορά) η τάση που αναπτύσσεται σε αυτό θα πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση με την επιτρεπόμενη τάση λειτουργίας :

$$\sigma \leq \sigma_{\text{επ}}$$

$$1Pa = 1 \frac{N}{m^2}$$

$$10Pa = 1 \frac{kp}{m^2}$$

$$1MPa = 1 \frac{MN}{m^2}$$

Typical tensile strengths of some materials

Material	Yield strength (MPa)	Ultimate tensile strength (MPa)	Density (g/cm <sup>3</sup> )
Steel, structural ASTM A36 steel	250	400–550	7.8
Steel, 1090 mild	247	841	7.58
Chromium-vanadium steel AISI 6150	620	940	7.8
Human skin	15	20	2
Steel, 2800 Maraging steel <sup>[9]</sup>	2617	2693	8.00
Steel, AerMet 340 <sup>[9]</sup>	2160	2430	7.86
Steel, Sandvik Sanicro 36Mo logging cable precision wire <sup>[10]</sup>	1758	2070	8.00
Steel, AISI 4130, water quenched 855 °C (1570 °F), 480 °C (900 °F) temper <sup>[11]</sup>	951	1110	7.85
Steel, API 5L X65 <sup>[12]</sup>	448	531	7.8
Steel, high strength alloy ASTM A514	690	760	7.8
Acrylic, clear cast sheet (PMMA) <sup>[13]</sup>	72	87 <sup>[14]</sup>	1.16
High-density polyethylene (HDPE)	26–33	37	0.85
Polypropylene	12–43	19.7–80	0.91
Steel, stainless AISI 302 – cold-rolled	520 <sup>[citation needed]</sup>	860	8.19
Cast iron 4.5% C, ASTM A-48	130	200	
"Liquidmetal" alloy <sup>[citation needed]</sup>	1723	550–1600	6.1
Beryllium <sup>[15]</sup> 99.9% Be	345	448	1.84
Aluminium alloy <sup>[16]</sup> 2014-T6	414	483	2.8
Polyester resin (unreinforced) <sup>[17]</sup>	55	55	
Polyester and chopped strand mat laminate 30% E-glass <sup>[17]</sup>	100	100	
S-Glass epoxy composite <sup>[7]</sup>	2358	2358	
Aluminium alloy 6061-T6	241	300	2.7
Copper 99.9% Cu	70	220 <sup>[citation needed]</sup>	8.92
Cupronickel 10% Ni, 1.6% Fe, 1% Mn, balance Cu	130	350	8.94
Brass	200 +	500	8.73
Tungsten	941	1510	19.25
Glass		33 <sup>[18]</sup>	2.53

Πηγή:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Ultimate\\_tensile\\_strength](https://en.wikipedia.org/wiki/Ultimate_tensile_strength)

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

**1. Καταπονήσεις – Βασικές Έννοιες**

**2. Καταπονήσεις στο ανθρώπινο σώμα**

**3. Ασκήσεις: Μελέτη αντοχής βιοϋλικών**

# ΣΤΑΤΙΚΗ - ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ

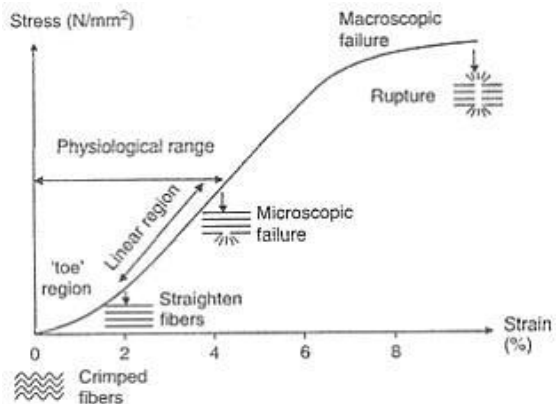
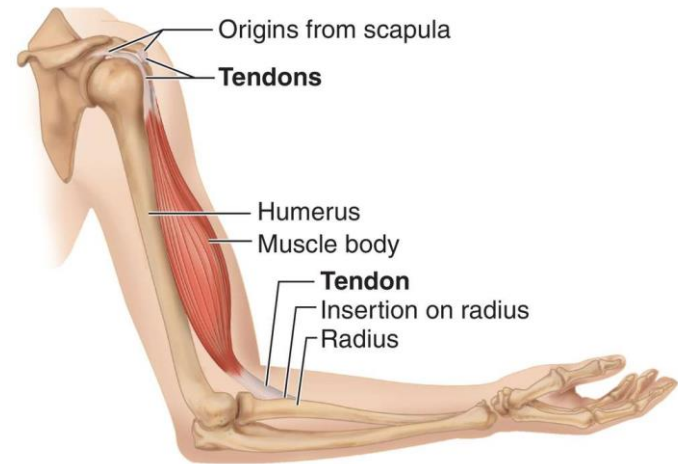
## Καταπονήσεις στο ανθρώπινο σώμα

Τένοντες (+μύες ≈40%):

- ινώδης ιστός
- σύνδεση μυών στα οστά
- ίνες κολλαγόνου (80-85%), ελασίνη 2-3%
- Μηχανική αντοχή διπλάσια από την αντίστοιχη των μυών

Σύνδεσμοι (+δέρμα ≈14%):

- συνδέουν τα οστά
- κίνηση (μηχανικές λειτουργίες)



Πηγή: <https://medical-dictionary.thefreedictionary.com/tendon>

Εκπαιδευτική προβολή:

<https://www.youtube.com/watch?v=6METprZvDHI>

Πηγή: <https://www.shoulderdoc.co.uk/article/1029>

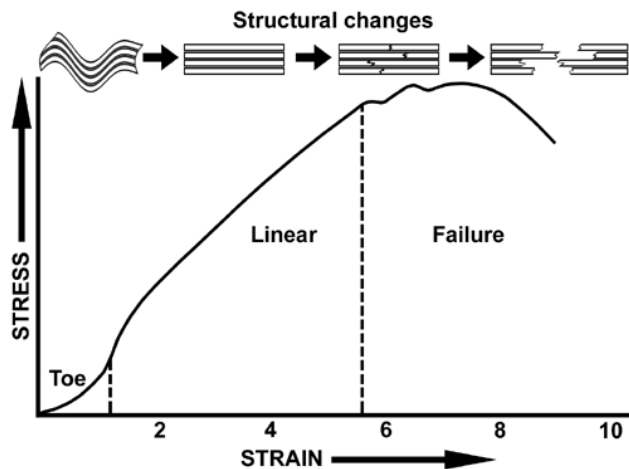
# ΣΤΑΤΙΚΗ - ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ

## Καταπονήσεις στο ανθρώπινο σώμα

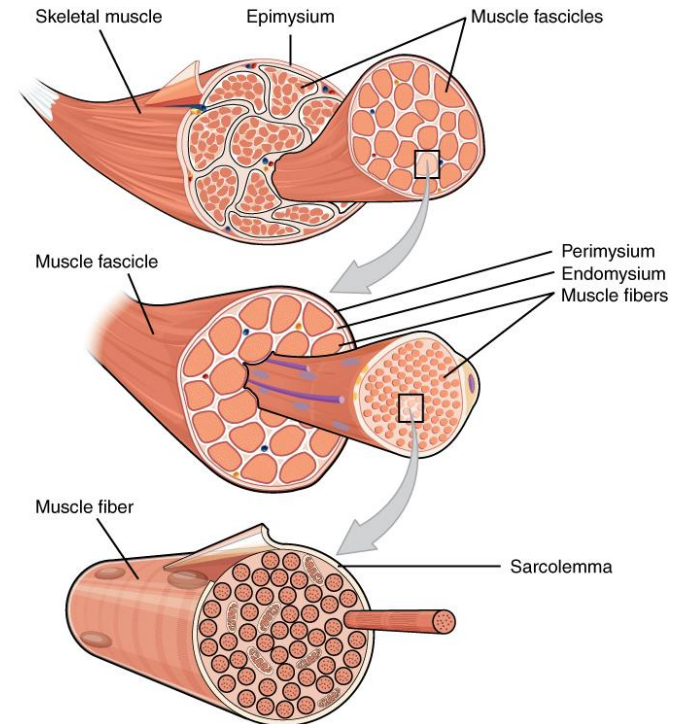
Μύες (+τένοντες ≈40%):

-παραγωγή φορτίων

-ινώδης ιστός



Πηγή: <http://www.pitchingnow.com/kinesiology/basic-biomechanics-of-tendons-and-ligaments/>



Πηγή: <https://en.wikipedia.org/wiki/Muscle>

Εκπαιδευτική προβολή:

<https://www.youtube.com/watch?v=YUYNXeHfTdQ>

# ΣΤΑΤΙΚΗ - ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ

## Καταπονήσεις στο ανθρώπινο σώμα

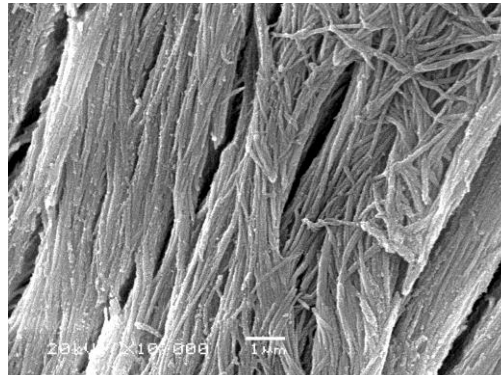
Οστά (≈25%):

- συνδετικός ιστός, υδροξυαπατίτης & κολλαγόνο
- σκληρό υλικό
- στατική υποστήριξη
- συνοχή
- προστασία
- κίνηση (μηχανικές λειτουργίες)
- μεγάλη περιεκτικότητα σε ασβέστιο
- περίπου 200-210 διαφορετικά οστά
- περισσότερο ανθεκτικά στη θλίψη παρά στον εφελκυσμό και στη διάτμηση

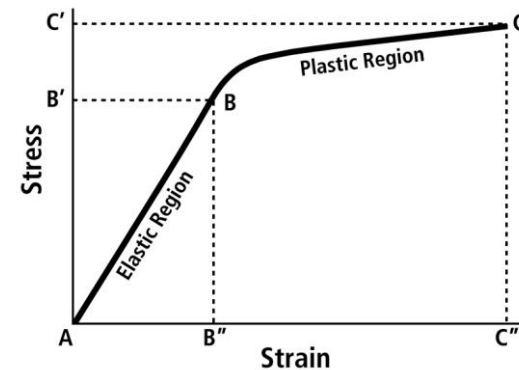
**Εκπαιδευτικές προβολές:**

<https://www.youtube.com/watch?v=gdRNPp84Ny0>

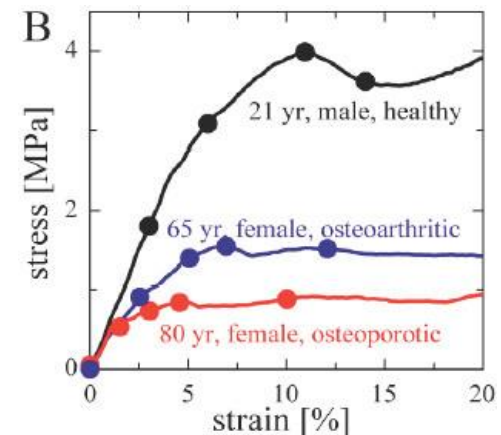
<https://www.youtube.com/watch?v=cz9mx33p5LU>



Πηγή: <https://en.wikipedia.org/wiki/Bone>



Πηγή: <http://teambone.com/education-basic/biomechanics-of-bone/>

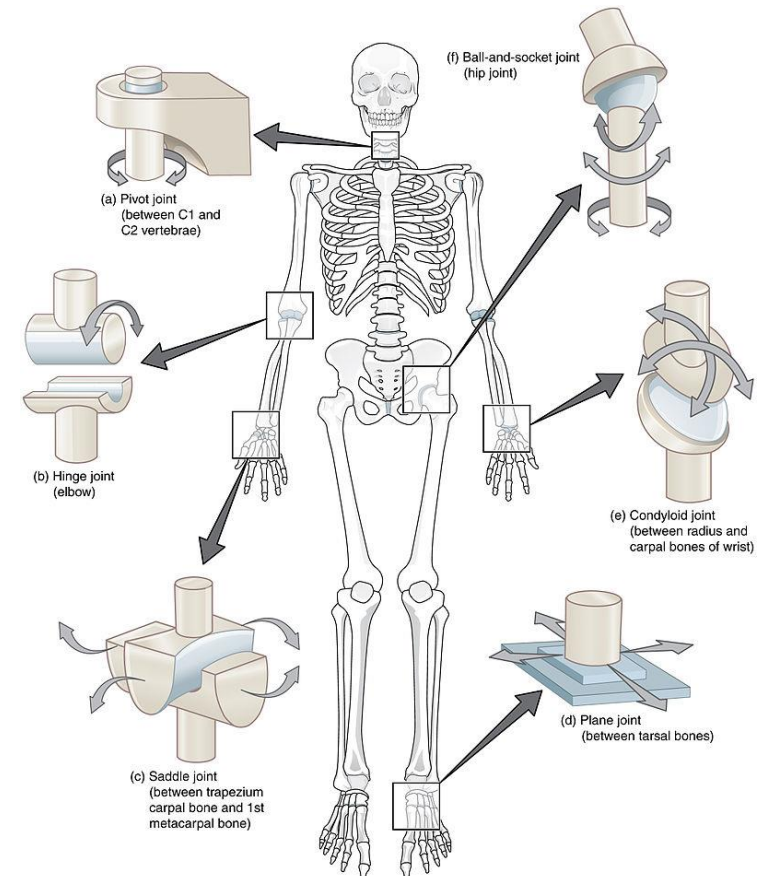


Πηγή: <http://hansmalab.physics.ucsb.edu/macrobone.html>

# ΣΤΑΤΙΚΗ - ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ

## Καταπονήσεις στο ανθρώπινο σώμα

- Τα οστά μπορούν να θεωρηθούν ως φορέας ο οποίος δέχεται εξωτερικές δυνάμεις
- Η ένωση των οστών γίνεται με τη βοήθεια ειδικών δομών που ονομάζονται αρθρώσεις. Οι αρθρώσεις επιτελούν δύο λειτουργίες, ενώνουν τα οστά και επιτρέπουν την μετατόπισή τους
- Οι δύο βασικοί τύποι αρθρώσεων είναι οι συναρθρώσεις και οι διαρθρώσεις
- Οι συναρθρώσεις ενώνουν τα οστά και επιτρέπουν ελάχιστη έως καθόλου κίνηση μεταξύ τους (π.χ. ηβική σύμφυση, ενώσεις κρανιακών οστών)
- Οι διαρθρώσεις είναι αυτές που επιτρέπουν την κίνηση σε διάφορες κατευθύνσεις και με διαφορετικούς βαθμούς ελευθερίας



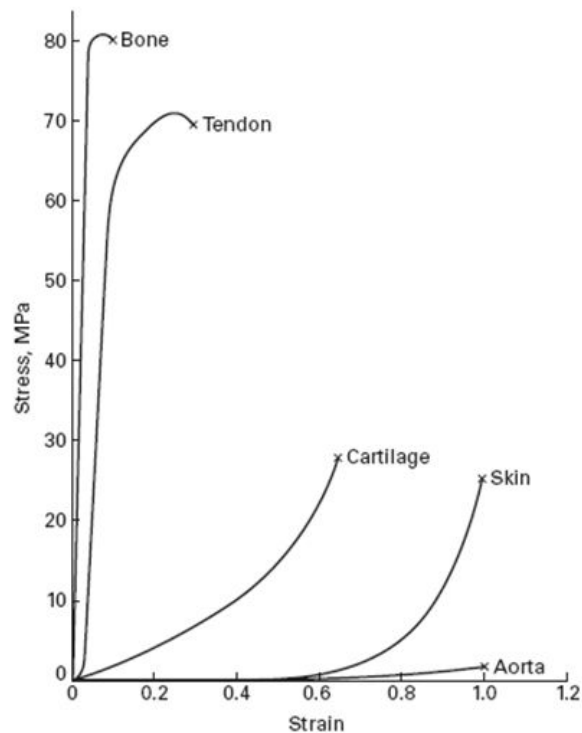
Πηγή:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Synovial\\_joint#/media/File:909\\_Types\\_of\\_Synovial\\_Joints.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Synovial_joint#/media/File:909_Types_of_Synovial_Joints.jpg)

# ΣΤΑΤΙΚΗ - ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ

## Καταπονήσεις στο ανθρώπινο σώμα

### Stress-Strain Cures of Some Biological Materials



### Biological Tissues: Mechanical Properties

Tissue	Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Strain at Break (%)
<b>Soft Tissues</b>			
Smooth Muscle, relaxed	0.006	-	300
Smooth Muscle, contracted	0.01	-	300
Carotid Artery	0.084 ± 0.22	-	-
Cerebral Artery	15.69	4.34	50
Cerebral Vein	6.85	2.82	83
Pericardium	20.4 ± 1.9	-	34.9 ± 1.1
Patellar Tendon (29-50 yrs. Old)	660 ± 266	64.7±15	14 ± 6
ACL Ligament (21-30 yrs. Old)	345 ± 22.4	36.4 ± 2.5	15 ± 0.8
<b>Hard Tissues</b>			
	Modulus (GPa)	Tensile Strength (MPa)	Strain at Break (%)
Cortical Bone	17 - 24	90 -130	1-3
Cancellous Bone	0.1 - 4.5	10 - 20	5-7
Cartilage	0.001 - 0.01	10 - 40	15-20

Πηγή: <https://www.slideshare.net/dentistryinfo/classes-of-biomaterials-used-in-the-body>

Πηγή: <http://slideplayer.com/slide/6364561/>

# ΣΤΑΤΙΚΗ - ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ

## Καταπονήσεις στο ανθρώπινο σώμα

Παράγοντες:

- Θερμοκρασία
- Άσκηση
- Ακινήσια
- Ηλικία

Τεχνικές:

- Ελαστογραφία
- Extensometer
- x-ray



Πηγή:

[https://www.researchgate.net/figure/51648395\\_Biomechanical-testing-of-a-SawboneR-with-spiral-fracture-in-4-point-bending](https://www.researchgate.net/figure/51648395_Biomechanical-testing-of-a-SawboneR-with-spiral-fracture-in-4-point-bending)

Εκπαιδευτικές προβολές:

<https://www.youtube.com/watch?v=4NSo8xs8E0M>  
<https://www.youtube.com/watch?v=rloh9sZty2s>  
<https://www.youtube.com/watch?v=7Ep7SW8eHdg>

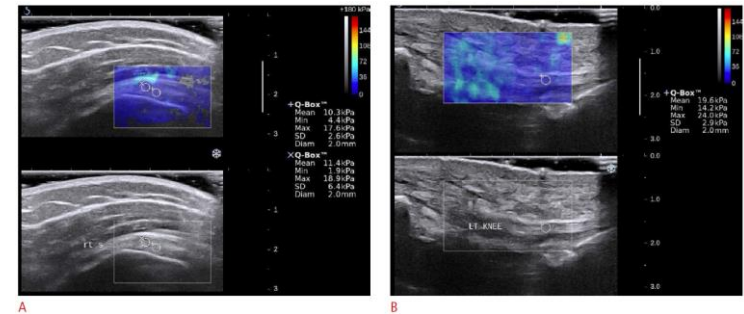


Fig. 5.

### Shear wave elastography of the tendons.

A. The right supraspinatus tendon of a 36-year-old woman shows heterogeneously increased echogenicity in a grayscale image (bottom), suggestive of tendinosis. In shear wave elastography (top), it shows values of 10.3-11.4 kPa, which are relatively low values for the Young modulus. B. The left patellar tendon of an 81-year-old man appears normal in a grayscale image (bottom). In shear wave elastography (top), it shows a homogeneously colored elastogram, and a relatively low value of the Young modulus, measured at 19.6 kPa.

Πηγή: <https://www.e-ultrasonography.org/journal/view.php?number=166>

Εκπαιδευτικές προβολές:

<https://www.youtube.com/watch?v=5YYmYx7HZpU>  
<https://www.youtube.com/watch?v=ijCFTMISvCo>  
[https://www.youtube.com/watch?v=2IA2L\\_mhXHY](https://www.youtube.com/watch?v=2IA2L_mhXHY)

# ΣΤΑΤΙΚΗ - ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ

## Παραδείγματα κακώσεων και αλλοιώσεων των ιστών του ανθρώπινου σώματος λόγω υπέρβασης των ορίων ασφαλείας

Κεφάλι: Βλάβες στο κρανίο και στους εγκεφαλικούς ιστούς από ισχυρά κρουστικά φορτία (π.χ. στην πυγμαχία, διάσειση)

Ώμος: Εξάρθρωση, θλάση, ρήξη συνδέσμων, τενόντων, μυών (π.χ. πάλη, ακόντιο)

Ισχία: Κατάγματα λόγω οστεοπόρωσης

Γόνατα: Ρήξη χιαστών (π.χ. ποδόσφαιρο, σκι), τενοντίτιδα

Σπονδυλική στήλη: Κοίλη, σκολίωση, κύφωση, κατάγματα (π.χ. τροχαία ατυχήματα)

Πηγές: [https://en.wikipedia.org/wiki/Brain\\_damage](https://en.wikipedia.org/wiki/Brain_damage)  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Patellar\\_dislocation](https://en.wikipedia.org/wiki/Patellar_dislocation)  
<http://www.ultrasoundcases.info/Slide-View.aspx?cat=432&case=4383>  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Spinal\\_cord\\_injury](https://en.wikipedia.org/wiki/Spinal_cord_injury)



# ΣΤΑΤΙΚΗ - ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ

## Καταπονήσεις σε ιατρικά μηχανήματα

-Συστήματα αποκατάστασης



Εκπαιδευτική προβολή:

<https://www.youtube.com/watch?v=XOuj-itLYbg>

[https://www.youtube.com/watch?v=\\_xcBorlugFs](https://www.youtube.com/watch?v=_xcBorlugFs)

<https://www.youtube.com/watch?v=UFpIIXCCkvo>



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

**1. Καταπονήσεις – Βασικές Έννοιες**

**2. Καταπονήσεις στο ανθρώπινο σώμα**

**3. Ασκήσεις: Μελέτη αντοχής βιοϋλικών**

# ΣΤΑΤΙΚΗ - ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ

## Αριθμητικό παράδειγμα 1α

-Έστω οδοντικό εμφύτευμα το οποίο καταπονείται σε θλίψη και διάτμηση από φορτίο  $P=50\text{kp}$ . Δίνονται τα εξής στοιχεία:

- το μήκος του εμφυτεύματος είναι 6 mm
- διαθέσιμες διάμετροι εμφυτευμάτων 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 6 mm
- υλικό του εμφυτεύματος είναι οξείδιο του αργιλίου ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) με  $\sigma_{\text{επ}}=180\text{kp}/\text{cm}^2$  (θλίψη) και  $\tau_{\text{επ}}=350\text{kp}/\text{cm}^2$  (διατμήσεως)

-Ζητούνται:

- ποια διάμετρος από τις διαθέσιμες (3, 3.5, 4, 4.5, 5, 6 mm) θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ώστε το εμφύτευμα να αντέχει τις δυνάμεις που το καταπονούν;



Πηγή:

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/55/Implant\\_retained\\_bridge\\_model.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/55/Implant_retained_bridge_model.jpg), creative commons license  
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en>]

# ΣΤΑΤΙΚΗ - ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ

## Αριθμητικό παράδειγμα 1β

-Με βάση τη διάτμηση

$$\tau = \frac{P}{Z \cdot m \cdot \frac{\pi \cdot d_{\tau}^2}{4}} \leq \tau_{\varepsilon\pi}$$

Όπου  $\tau$  η καταπόνηση σε διάτμηση,  $P$  το φορτίο (δύναμη),  $Z$  ο αριθμός των ήλων (βίδες),  $m=1$ ,  $d_{\tau}$  η διάμετρος των ήλων,  $\tau_{\varepsilon\pi}$  η επιτρεπόμενη καταπόνηση σε διάτμηση

$$d_{\tau} \geq \sqrt{\frac{4 \cdot P}{Z \cdot m \cdot \pi \cdot \tau_{\varepsilon\pi}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 50kp}{1 \cdot 1 \cdot 3,14 \cdot 350kp / cm^2}} = \sqrt{0,182} = 0,43cm$$

•Άρα, με βάση τη διάτμηση, θα μπορούσα να επιλέξω διάμετρο 4.5, 5 ή 6 mm.

# ΣΤΑΤΙΚΗ - ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ

## Αριθμητικό παράδειγμα 1γ

-Με βάση την σύνθλιψη

$$\sigma_l = \frac{P}{Z \cdot d_\sigma \cdot s} \leq \sigma_{λεπ}$$

Όπου  $\sigma_l$  η καταπόνηση σε θλίψη,  $P$  το φορτίο (δύναμη),  $Z$  ο αριθμός των ήλων (βίδες),  $m=1$ ,  $d_\sigma$  η διάμετρος των ήλων,  $s$  το μήκος των ήλων και  $\sigma_{λεπ}$  η επιτρεπόμενη καταπόνηση σε θλίψη

$$d_\sigma \geq \frac{P}{Z \cdot s \cdot \sigma_{λεπ}} = \frac{50kp}{1 \cdot 0,6cm \cdot 180kp / cm^2} = 0,46cm$$

Άρα, με βάση τη σύνθλιψη, θα μπορούσα να επιλέξω διάμετρο 5 ή 6 mm. Επειδή η διάμετρος με βάση την σύνθλιψη είναι μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή που υπολογίσαμε με βάση τη διάτμηση, η τελική μου επιλογή θα είναι 5 ή 6 mm. Πάντα επιλέγουμε την μεγαλύτερη διάμετρο, επομένως οι υπολογισμοί με βάση την διάτμηση δεν λαμβάνονται υπόψη.

# ΣΤΑΤΙΚΗ - ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ

## Αριθμητικό παράδειγμα 2

-Έστω οδοντικό εμφύτευμα το οποίο καταπονείται σε θλίψη και διάτμηση από φορτίο  $P=60\text{kp}$ . Δίνονται τα εξής στοιχεία:

- το μήκος του εμφυτεύματος είναι 6.5 mm
- διαθέσιμες διάμετροι εμφυτευμάτων 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 6 mm
- υλικό του εμφυτεύματος είναι οξείδιο του αργιλίου ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) με  $\sigma_{\text{επ}}=100\text{kp}/\text{cm}^2$  (θλίψη) και  $\tau_{\text{επ}}=350\text{kp}/\text{cm}^2$  (διατμήσεως)

-Ζητούνται:

- ποια διάμετρος από τις διαθέσιμες (3, 3.5, 4, 4.5, 5, 6 mm) θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ώστε το εμφύτευμα να αντέχει τις δυνάμεις που το καταπονούν;

**Άσκηση για μελέτη στο σπίτι**



# ΣΤΑΤΙΚΗ - ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ

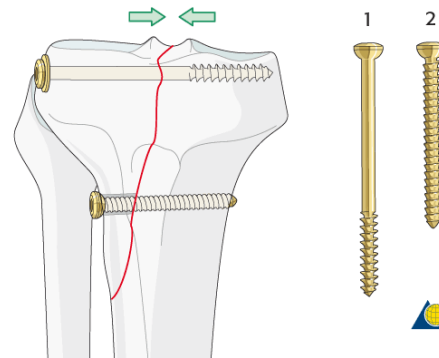
## Αριθμητικό παράδειγμα 3α

- Έστω τρία οστά πάχους  $s$  τα οποία έχουν σπάσει και θέλουμε να τα συνδέσουμε με ορθοπεδικές βίδες/ήλους. Δίνονται τα εξής στοιχεία:

- Μεταφερόμενο φορτίο  $P=45000\text{kp}$
- Πάχος οστών  $s=0,9\text{ cm}$
- Αριθμός ήλων  $Z=8$
- Υλικό διαθέσιμων ήλων κράμα τιτανίου με  $\sigma_{\text{επ}}=2400\text{kp/cm}^2$  (θλίψη),  $\tau_{\text{επ}}=700\text{kp/cm}^2$  (διατμήσεως)

-Ζητούνται:

- α/ Υπολογίστε την ελάχιστη διάμετρο των ήλων  $d$  ώστε να αντέχει η κατασκευή τις καταπονήσεις που δέχεται για σύνδεση με μονή αρμοκαλύπτρα.
- β/ Υπολογίστε την ελάχιστη διάμετρο των ήλων  $d$  ώστε να αντέχει η κατασκευή τις καταπονήσεις που δέχεται για σύνδεση με διπλή αρμοκαλύπτρα.



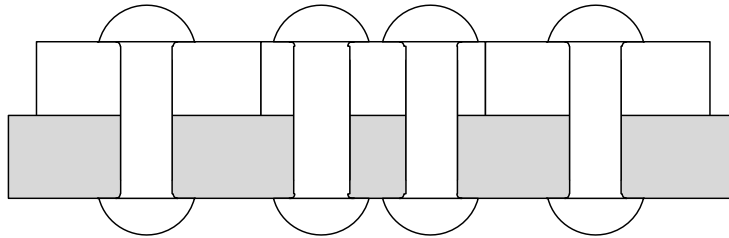
Πηγές:

<https://orthopedicimplantsindia.wordpress.com/2016/04/29/types-of-orthopedic-bone-screws/>,  
[https://www2.aofoundation.org/wps/portal/!ut/p/a0/04\\_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vM\\_AfGjzOKN\\_A0M3D2DDbz9\\_UMMDRyD\\_XQ3dw9wMDAx8jfULsh0VAdAsNSU!/?ActiveNumber=1&StepPos=11&contentUrl=%2Fsrq%2Fpopup%2Ffurther\\_reading%2F41%2F41\\_X10-Lag-screw-technique.enl.jsp&soloState=true\\_z](https://www2.aofoundation.org/wps/portal/!ut/p/a0/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vM_AfGjzOKN_A0M3D2DDbz9_UMMDRyD_XQ3dw9wMDAx8jfULsh0VAdAsNSU!/?ActiveNumber=1&StepPos=11&contentUrl=%2Fsrq%2Fpopup%2Ffurther_reading%2F41%2F41_X10-Lag-screw-technique.enl.jsp&soloState=true_z)

# ΣΤΑΤΙΚΗ - ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ

## Αριθμητικό παράδειγμα 3β

α/ Σύνδεση με μονή αρμοκαλύπτρα



Οστά  
Αρμός

# ΣΤΑΤΙΚΗ - ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ

## Αριθμητικό παράδειγμα 3γ

Υπολογισμός της ελάχιστης αναγκαίας διαμέτρου των ήλων

-Με βάση τη διάτμηση

$$\tau = \frac{P}{Z \cdot m \cdot \frac{\pi \cdot d_{\tau}^2}{4}} \leq \tau_{\varepsilon\pi}$$

Όπου  $\tau$  η καταπόνηση σε διάτμηση,  $P$  το φορτίο (δύναμη),  $Z$  ο αριθμός των ήλων (βίδες),  $m=1$  όταν έχω ένα αρμό (λάμες),  $m=2$  όταν έχω δύο αρμούς (λάμες),  $d_{\tau}$  η διάμετρος των ήλων,  $\tau_{\varepsilon\pi}$  η επιτρεπόμενη καταπόνηση σε διάτμηση

$$d_{\tau} \geq \sqrt{\frac{4 \cdot P}{Z \cdot m \cdot \pi \cdot \tau_{\varepsilon\pi}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 45000kp}{8 \cdot 1 \cdot 3,14 \cdot 700kp / cm^2}} = 3,2cm$$

Άρα λαμβάνουμε διάμετρο ήλου  $d=3,2cm$  και διάμετρο οπής  $d1=3,3cm$

# ΣΤΑΤΙΚΗ - ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ

## Αριθμητικό παράδειγμα 3δ

Υπολογισμός της ελάχιστης αναγκαίας διαμέτρου των ήλων

- Με βάση την σύνθλιψη

$$\sigma_l = \frac{P}{Z \cdot d_\sigma \cdot s} \leq \sigma_{l\epsilon\pi}$$

Όπου  $\sigma_l$  η καταπόνηση σε θλίψη,  $P$  το φορτίο (δύναμη),  $Z$  ο αριθμός των ήλων (βίδες),  $m=1$ ,  $d_\sigma$  η διάμετρος των ήλων,  $s$  το μήκος των ήλων και  $\sigma_{l\epsilon\pi}$  η επιτρεπόμενη καταπόνηση σε θλίψη

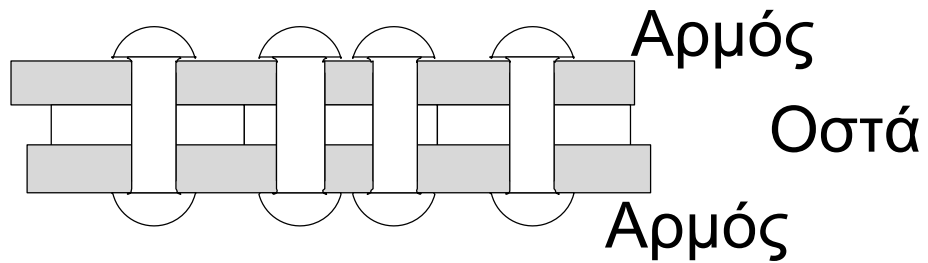
$$d_\sigma \geq \frac{P}{Z \cdot s \cdot \sigma_{l\epsilon\pi}} = \frac{45000kp}{8 \cdot 0,9cm \cdot 2400kp / cm^2} = 2,6cm$$

Άρα η διάμετρος με βάση την διάτμηση είναι μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή που υπολογίσαμε με βάση τη σύνθλιψη. Πάντα επιλέγουμε την μεγαλύτερη διάμετρο, επομένως οι υπολογισμοί με βάση την σύνθλιψη δεν λαμβάνονται υπόψη και η τελική διάμετρος που θα διαλέξω για την κατασκευή μου θα είναι κατ' ελάχιστον 3,3 cm

# ΣΤΑΤΙΚΗ - ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ

## Αριθμητικό παράδειγμα 3ε

β/ Σύνδεση με διπλή αρμοκαλύπτρα



# ΣΤΑΤΙΚΗ - ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ

## Αριθμητικό παράδειγμα 3στ

Υπολογισμός της ελάχιστης αναγκαίας διαμέτρου των ήλων

-Με βάση τη διάτμηση

$$\tau = \frac{P}{Z \cdot m \cdot \frac{\pi \cdot d_{\tau}^2}{4}} \leq \tau_{\varepsilon\pi}$$

Όπου  $\tau$  η καταπόνηση σε διάτμηση,  $P$  το φορτίο (δύναμη),  $Z$  ο αριθμός των ήλων (βίδες),  $m=1$  όταν έχω ένα αρμό (λάμες),  $m=2$  όταν έχω δύο αρμούς (λάμες),  $d_{\tau}$  η διάμετρος των ήλων,  $\tau_{\varepsilon\pi}$  η επιτρεπόμενη καταπόνηση σε διάτμηση

$$d_{\tau} \geq \sqrt{\frac{4 \cdot P}{Z \cdot m \cdot \pi \cdot \tau_{\varepsilon\pi}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 45000kp}{8 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 700kp / cm^2}} = 2,26cm$$

Άρα λαμβάνουμε διάμετρο ήλου  $d=2,26cm$  και διάμετρο οπής  $d_1=2,36cm$

# ΣΤΑΤΙΚΗ - ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ

## Αριθμητικό παράδειγμα 3ζ

Υπολογισμός της ελάχιστης αναγκαίας διαμέτρου των ήλων

- Με βάση την σύνθλιψη

$$\sigma_l = \frac{P}{Z \cdot d_\sigma \cdot s} \leq \sigma_{l\epsilon\pi}$$

Όπου  $\sigma_l$  η καταπόνηση σε θλίψη,  $P$  το φορτίο (δύναμη),  $Z$  ο αριθμός των ήλων (βίδες),  $m=1$ ,  $d_\sigma$  η διάμετρος των ήλων,  $s$  το μήκος των ήλων και  $\sigma_{l\epsilon\pi}$  η επιτρεπόμενη καταπόνηση σε θλίψη

$$d_\sigma \geq \frac{P}{Z \cdot s \cdot \sigma_{l\epsilon\pi}} = \frac{45000kp}{8 \cdot 0,9cm \cdot 2400kp / cm^2} = 2,6cm$$

Άρα η διάμετρος με βάση την σύνθλιψη είναι μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή που υπολογίσαμε με βάση τη διάτμηση. Πάντα επιλέγουμε την μεγαλύτερη διάμετρο, επομένως οι υπολογισμοί με βάση την διάτμηση δεν λαμβάνονται υπόψη και η τελική διάμετρος που θα διαλέξω για την κατασκευή μου θα είναι κατ' ελάχιστον 2,6 cm.

# ΣΤΑΤΙΚΗ - ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ

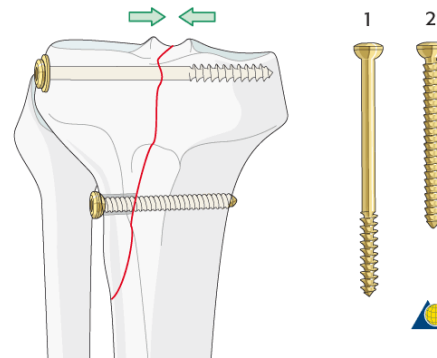
## Αριθμητικό παράδειγμα 4

- Έστω τρία οστά πάχους  $s$  τα οποία έχουν σπάσει και θέλουμε να τα συνδέσουμε με ορθοπεδικές βίδες/ήλους. Δίνονται τα εξής στοιχεία:

- Μεταφερόμενο φορτίο  $P=45000\text{kp}$
- Πάχος ελασμάτων  $s=0,9\text{ cm}$
- Αριθμός ήλων  $Z=8$
- Υλικό διαθέσιμων ήλων κράμα τιτανίου με  $\sigma_{\text{επ}}=2000\text{kp/cm}^2$  (θλίψη),  $\tau_{\text{επ}}=700\text{kp/cm}^2$  (διατμήσεως)

-Ζητούνται:

- α/ Υπολογίστε την ελάχιστη διάμετρο των ήλων  $d$  ώστε να αντέχει η κατασκευή τις καταπονήσεις που δέχεται για σύνδεση με μονή αρμοκαλύπτρα.
- β/ Υπολογίστε την ελάχιστη διάμετρο των ήλων  $d$  ώστε να αντέχει η κατασκευή τις καταπονήσεις που δέχεται για σύνδεση με διπλή αρμοκαλύπτρα.



Πηγές:

<https://orthopedicimplantsindia.wordpress.com/2016/04/29/types-of-orthopedic-bone-screws/>,  
[https://www2.aofoundation.org/wps/portal/!ut/p/a0/04\\_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vM\\_AfGjzOKN\\_A0M3D2DDbz9\\_UMMDRyD\\_XQ3dw9wMDAx8jfULsh0VAdAsNSU!/?ActiveNumber=1&StepPos=11&contentUrl=%2Fsrq%2Fpopup%2Ffurther\\_reading%2F41%2F41\\_X10-Lag-screw-technique.enl.jsp&soloState=true](https://www2.aofoundation.org/wps/portal/!ut/p/a0/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vM_AfGjzOKN_A0M3D2DDbz9_UMMDRyD_XQ3dw9wMDAx8jfULsh0VAdAsNSU!/?ActiveNumber=1&StepPos=11&contentUrl=%2Fsrq%2Fpopup%2Ffurther_reading%2F41%2F41_X10-Lag-screw-technique.enl.jsp&soloState=true)

Άσκηση για μελέτη στο σπίτι

# ΓΛΩΣΣΑΡΙ - ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ

**Πηγή:** Διαδικτυακή πηγή από την οποία ανακτήθηκαν τα δεδομένα (π.χ. εικόνες, γραφήματα, πίνακες)

**Εκπαιδευτική προβολή:** Διαδικτυακό βίντεο που περιγράφει βασικές αρχές λειτουργίας και εφαρμογές

**Ασκήσεις:** Άλυτες ασκήσεις για μελέτη στο σπίτι