

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧΑΝΩΝ Ι

Πάτρα, 2025

Σχεδίαση και Ανάλυση Κοχλιωτών Συνδέσεων υπό αξονική φόρτιση

Λειτουργία & Τύποι Συνδέσεων / Στοιχείων Σύνδεσης

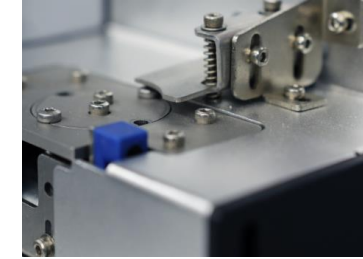
- Μία σύνδεση ή ένα στοιχείο σύνδεσης είναι μια διάταξη που χρησιμοποιείται για να ενώνει δύο ή περισσότερα εξαρτήματα
- Ένας μη ειδικός μπορεί να θεωρεί τα κοχλιωτά στοιχεία μη ενδιαφέροντα μηχανολογικά εξαρτήματα, αλλά είναι αδιανόητο να κατασκευαστούν οι περισσότερες μηχανές και δομές χωρίς αυτά
- **Μη μόνιμες συνδέσεις**
 - Κοχλίες, βίδες, ρυθμιστικές βίδες (setscrews), κ.λπ.
- **Μόνιμες συνδέσεις**
 - Στοιχεία σύνδεσης που χρησιμοποιούνται ως μόνιμες συνδέσεις και δεν αποσυναρμολογούνται ποτέ
 - Ήλοι, συγκολλήσεις, συνδέσεις τριβής, κ.λπ.

Είδη συνδέσεων με σπείρωμα

- Ένας κοχλίας (bolt) είναι ένα στοιχείο με σπείρωμα σύνδεσης που συνεργάζεται με περικόχλιο (παξιμάδι)
- Μία βίδα (screw) συνδέεται με έλασμα που διαθέτει εσωτερικό σπείρωμα που είναι είτε προϋπάρχον είτε δημιουργείται κατά τη σύσφιξη
- Ένας κοχλίας διπλού άκρου (stud) είναι κοχλιωτό στοιχείο χωρίς κεφαλή, με εξωτερικό σπείρωμα στα δύο άκρα. Το ένα άκρο βιδώνει σε οπή με σπείρωμα και το άλλο συνεργάζεται με παξιμάδι



Κοχλίας

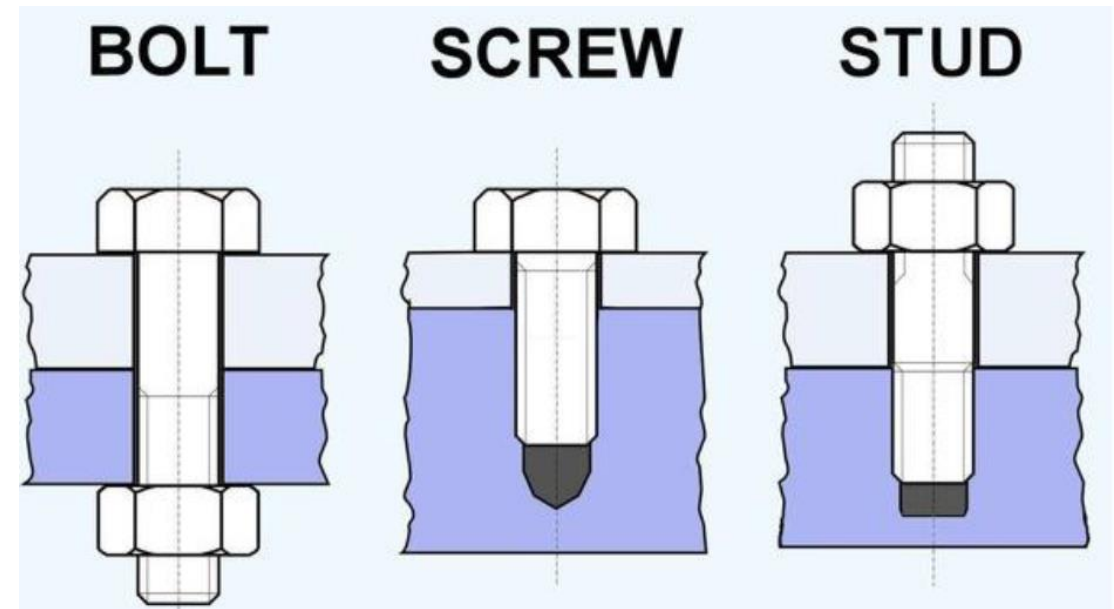


Βίδα



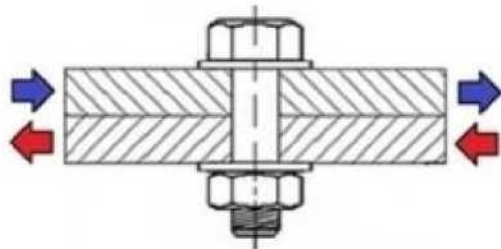
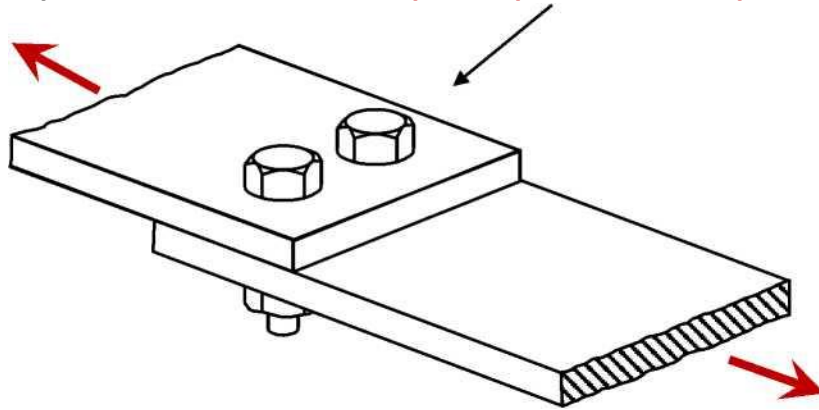
**Κοχλίας
διπλού
σπειρώματος**

Οι κοχλίες, οι βίδες και οι κοχλίες διπλού άκρου χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολλές εφαρμογές, και οι γενικές αρχές σχεδιασμού και μεθοδολογίας είναι παρόμοιες

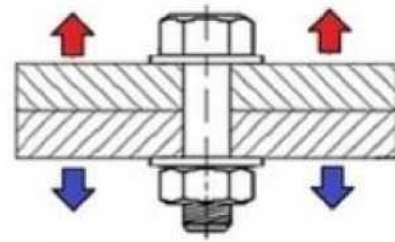


Σύνδεσμοι διάτμησης

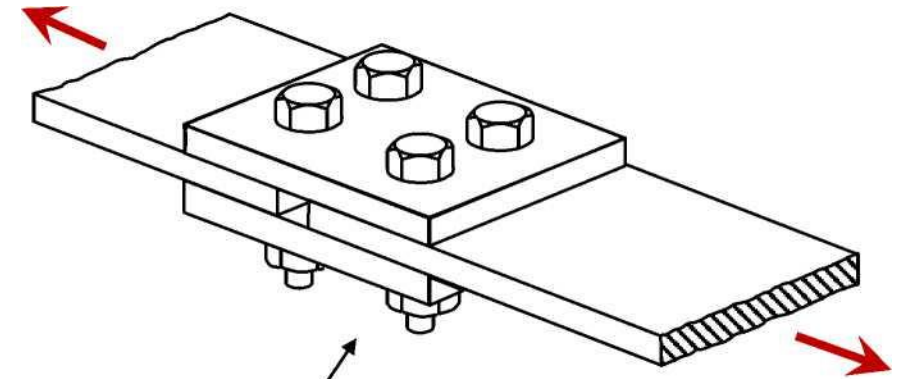
Τα προς σύνδεση εξαρτήματα επικαλύπτονται μεταξύ τους σε μία **επικαλυπτόμενη σύνδεση (lap joint)**.



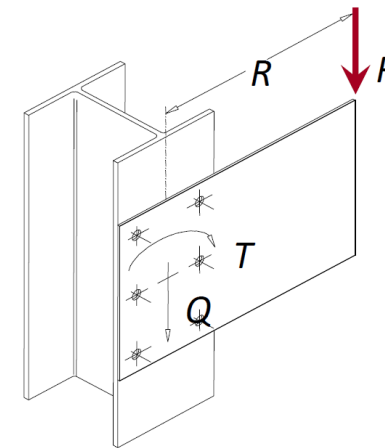
Σύνδεσμοι
διάτμησης



Σύνδεσμοι
φορτιζόμενοι
αξονικά



Πρόσθετα εξαρτήματα χρησιμοποιούνται για να γεφυρωθεί το κενό σε μία μετωπική σύνδεση **(butt joint)**.

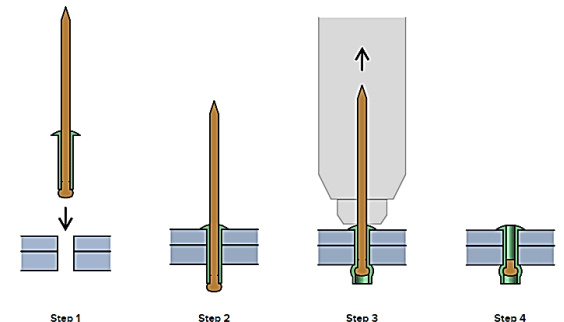
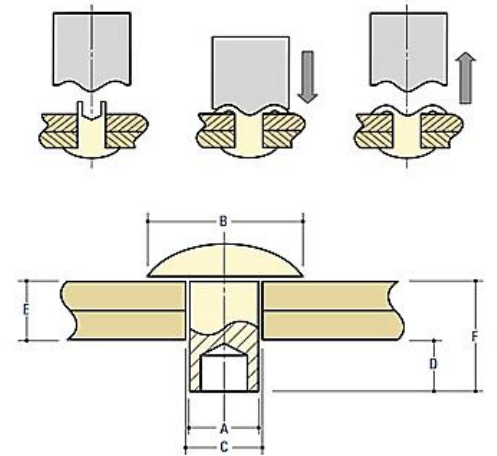
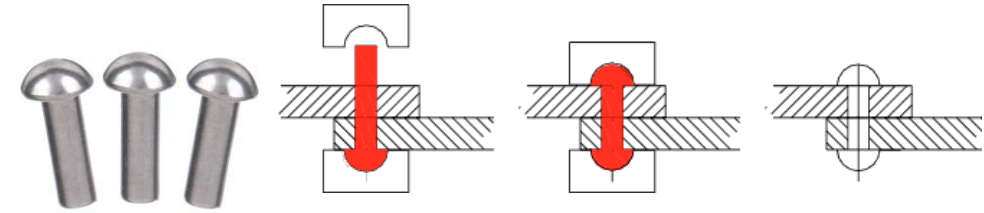


Σύνδεση μέσω
μοτίβου κοχλιών

Σημείωση: Ο σχεδιασμός και ο υπολογισμός των συνδέσεων σε διάτμηση απαιτούν διαφορετική μεθοδολογία (βλέπε Βιβλίο Ανδρέα Γιαννόπουλου)

Ήλοι (Rivets)

- Οι ήλοι είναι στοιχεία σύνδεσης χωρίς σπείρωμα
- Συμπαγείς ήλοι (Solid rivets)
 - Τοποθετούνται από τη μία πλευρά και διαμορφώνονται από την άλλη
 - BS 4620:1970 για γενικούς σκοπούς
 - Για αεροπορικές εφαρμογές: BS A 361, 351(Ni), 362(Ti)
- Σωληνωτοί ύλοι (Tubular rivets)
 - Έχουν οπή κατά μήκος του άξονα, η διαμόρφωση είναι ευκολότερη
- Τυφλοί ήλοι (Blind rivets)
 - Είναι σωληνωτοί και διαμορφώνονται από την πλευρά εγκατάστασης



Χαρακτηριστικά ηλώσεων

Πλεονεκτήματα:

- Χαμηλό κόστος
- Γρήγορη συναρμολόγηση (χιλιάδες/ώρα όταν αυτοματοποιείται)
- Μόνιμη σύνδεση (αλλά μπορεί να αφαιρεθεί με διάτρηση)
- Δυνατότητα σύνδεσης ανόμοιων υλικών (προσοχή στη γαλβανική διάβρωση)
- Μεγάλη ποικιλία σχημάτων και υλικών



Μειονεκτήματα:

- Αργή διαδικασία σε σύγκριση με συγκολλήσεις και συγκολλητικές ενώσεις
- Φόρτιση διάτμησης (πτωχή συμπεριφορά σε εφελκυσμό)
- Οι συνδέσεις παρουσιάζουν διαρροές εκτός αν σφραγιστούν

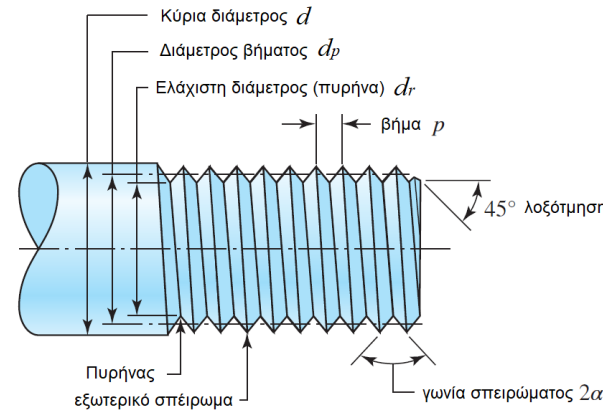
Γενικά για εφελκυσμένο κοχλία

Φορτίο που μπορεί να παραλάβει σε αξονικό εφελκυσμό:

$$P = \sigma_{\epsilon\pi} \times A_s$$

Όπου:

- $\sigma_{\epsilon\pi}$ = Επιτρεπόμενη τάση κοχλία = σ_y / SF
- σ_y = Όριο διαρροής κοχλία
- SF = Συντελεστής ασφάλειας
- A_s = Αποτελεσματική διατομή κοχλία = $(\pi/16) \times (d_p + d_r)^2$
 - $d_p = d - 0.6495p$ (διάμετρος βήματος)
 - $d_r = d - 1.0825p$ (διάμετρος ρίζας)



Ονομαστικό Σπείρωμα (M)	Αποτελεσματική Επιφάνεια Διατομής A_s (mm ²)
M3 × 0.5	5.03
M4 × 0.7	8.78
M5 × 0.8	14.2
M6 × 1	20.1
M8 × 1.25	36.6
M10 × 1.5	58
M12 × 1.75	84.3
M14 × 2	115
M16 × 2	157
M18 × 2.5	192
M20 × 2.5	245
M22 × 2.5	303
M24 × 3	353

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ SF	Στατικό Φορτίο	Επαναλαμβανόμενο	Εναλλασσόμενο	Κρουστικό
Χάλυβας	3	5	8	12
Χυτοσίδηρος	4	6	10	15
Χαλκός, μαλακό μέταλλο	5	5	9	15

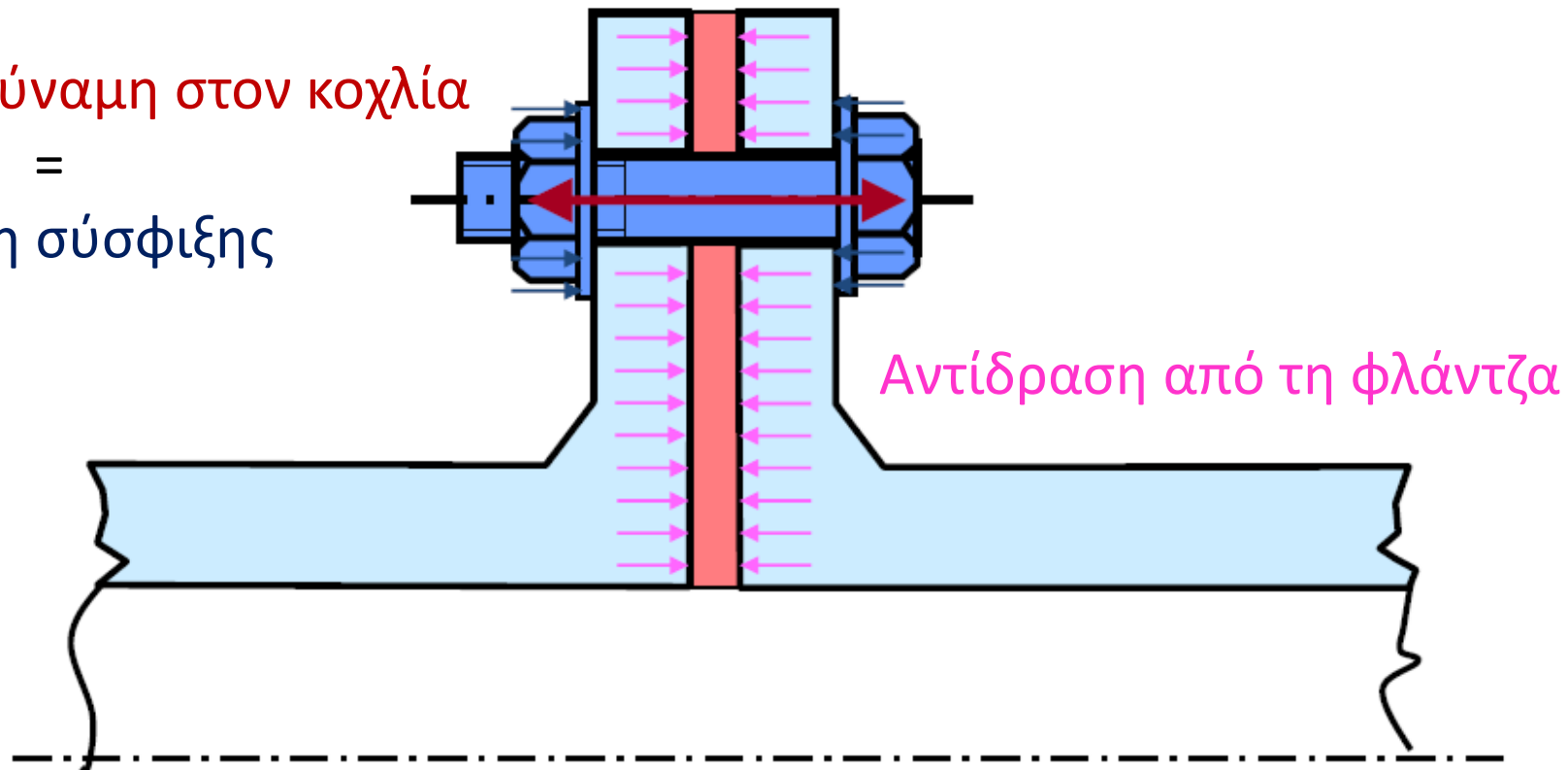
Φόρτιση κοχλιωτής σύνδεσης

- Αρχικά, όταν η κατασκευή δεν φέρει εξωτερικό φορτίο, η εφελκυστική δύναμη στον κοχλία είναι ίση με την θλιπτική δύναμη στα σφιγμένα μέλη

εφελκυστική δύναμη στον κοχλία

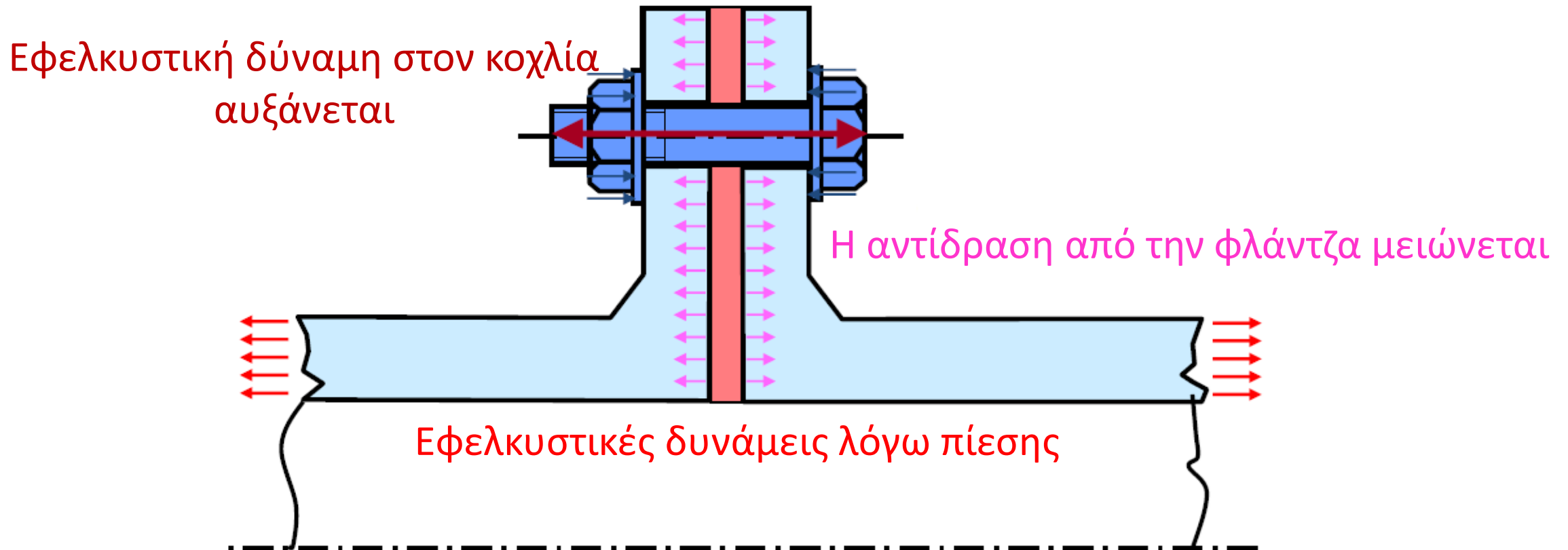
=

δύναμη σύσφιξης



...Φόρτιση κοχλιωτής σύνδεσης

- Όταν εφαρμόζεται φορτίο στη σύνδεση (πίεση, αδράνεια κ.λπ.), μέρος αυτού του φορτίου θα τεντώσει τον κοχλία πέρα από το αρχικό του μήκος (στο μήκος προέντασης)



Προεντεταμένες κοχλιωτές συνδέσεις

Οι κοχλίες είναι προ-εντεταμένοι για δύο λόγους:

- Η δύναμη στον κοχλία πρέπει να υπερβαίνει τη μέγιστη δύναμη που δέχονται τα σφιγμένα μέλη κατά τη λειτουργία, διαφορετικά **η σύνδεση θα αποχωριστεί**
- Η προένταση μειώνει τις διακυμάνσεις των τάσεων που υφίσταται ο κοχλίας, αυξάνοντας έτσι τη **διάρκεια ζωής σε κόπωση**

Υπολογισμός Προέντασης

Συνιστώμενη προένταση για μη μόνιμες συνδέσεις:

- $F_i = 0.75 A_s \sigma_p$

Συνιστώμενη προένταση για μόνιμες συνδέσεις:

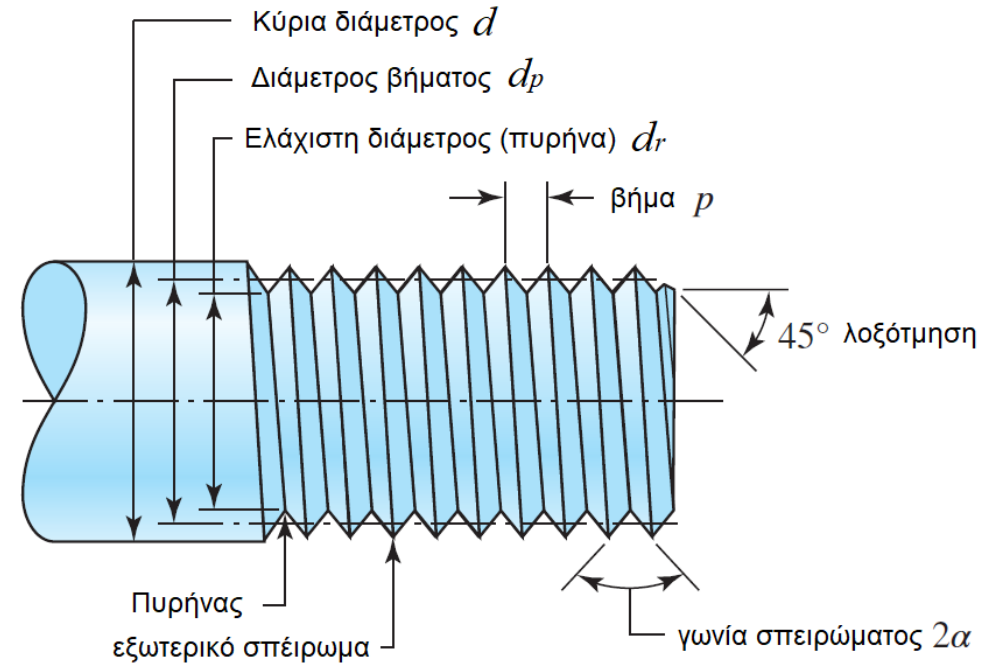
- $F_i = 0.9 A_s \sigma_p$

όπου:

- A_s είναι η αποτελεσματική επιφάνεια εφελκυσμού του κοχλία
- σ_p είναι η αντοχή απόδειξης (proof strength) του κοχλία
- $A_s = \pi/16 (d_p + d_r)^2$
- $d_p = d - 0.64952p$ (διάμετρος βήματος)
- $d_r = d - 1.22687p$ (διάμετρος ρίζας)
- d = κύρια/ονομαστική διάμετρος
- p = βήμα

Αν δεν υπάρχει διαθέσιμο proof strength:

- $\sigma_p = 0.85 \sigma_y$
- σ_y = όριο διαρροής



Κλάσεις & Σημάνσεις Κοχλιών

BS 3692:2001 – Κοχλίες, βίδες και παξιμάδια εξαγωνικής κεφαλής κατά ISO (μετρικά) – Προδιαγραφή

- **M – Μετρικό σπείρωμα ISO**
- **1ο ψηφίο (8)**
 - Δηλώνει τις εκατοντάδες MPA της αντοχής σε εφελκυσμό (tensile strength)
- **2ο ψηφίο (8 ή 0.8)**
 - Δείχνει τον λόγο του ορίου διαρροής (yield strength) προς την αντοχή σε εφελκυσμό (tensile strength)

Παράδειγμα για κοχλία κλάσης 8.8

Αντοχή σε εφελκυσμό:

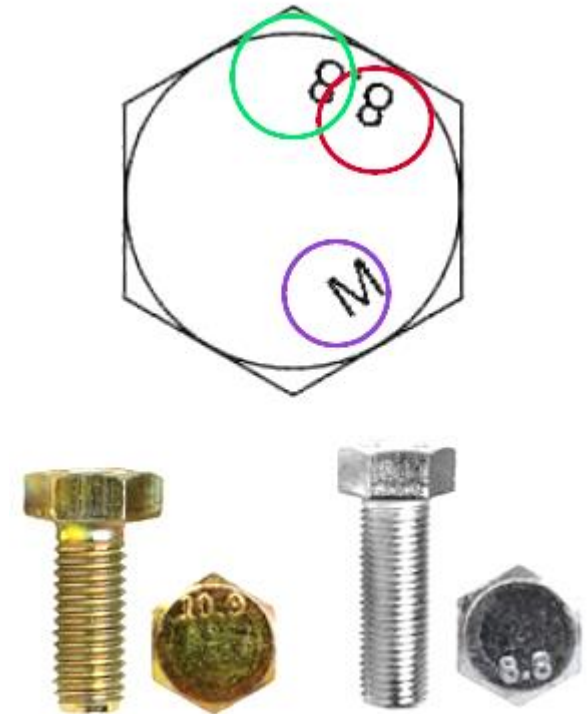
- $\sigma_u = 8 \times 100 = 800 \text{ MPa}$

Όριο διαρροής:

- $\sigma_y = 0.8 \times 800 = 640 \text{ MPa}$

Αντοχή απόδειξης (proof strength):

- $\sigma_p = 0.85 \sigma_y = 0.85 \times 640 = 544 \text{ MPa}$



Εμβαδόν εφελκυσμού μετρικού σπειρώματος και μηχανικές ιδιότητες

BS EN ISO 898-1:2013 – Μηχανικές ιδιότητες συνδετικών στοιχείων από ανθρακούχους και κραματωμένους χάλυβες
Σημείωση: Το EN δηλώνει τα Ευρωπαϊκά πρότυπα.

Πίνακας : Φορτία απόδειξης για Μετρικό σπείρωμα ISO με χονδρό βήμα

Thread ^a	Nominal stress area ^b $A_{s,nom}$ mm ²	Property class								
		4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9/12.9
Proof load, F_p ($A_{s,nom} \times S_{p,nom}$), N										
M3	5,03	1 130	1 560	1 410	1 910	2 210	2 920	3 270	4 180	4 880
M3,5	6,78	1 530	2 100	1 900	2 580	2 980	3 940	4 410	5 630	6 580
M4	8,78	1 980	2 720	2 460	3 340	3 860	5 100	5 710	7 290	8 520
M5	14,2	3 200	4 400	3 980	5 400	6 250	8 230	9 230	11 800	13 800
M6	20,1	4 520	6 230	5 630	7 640	8 840	11 600	13 100	16 700	19 500
M7	28,9	6 500	8 960	8 090	11 000	12 700	16 800	18 800	24 000	28 000
M8	36,6	8 240 ^c	11 400	10 200 ^c	13 900	16 100	21 200 ^c	23 800	30 400 ^c	35 500
M10	58	13 000 ^c	18 000	16 200 ^c	22 000	25 500	33 700 ^c	37 700	48 100 ^c	56 300
M12	84,3	19 000	26 100	23 600	32 000	37 100	48 900 ^d	54 800	70 000	81 800
M14	115	25 900	35 600	32 200	43 700	50 600	66 700 ^d	74 800	95 500	112 000
M16	157	35 300	48 700	44 000	59 700	69 100	91 000 ^d	102 000	130 000	152 000
M18	192	43 200	59 500	53 800	73 000	84 500	115 000	—	159 000	186 000
M20	245	55 100	76 000	68 600	93 100	108 000	147 000	—	203 000	238 000
M22	303	68 200	93 900	84 800	115 000	133 000	182 000	—	252 000	294 000
M24	353	79 400	109 000	98 800	134 000	155 000	212 000	—	293 000	342 000

Ονομαστική διάμετρος σπειρώματος, d

Εμβαδό εφελκυσμού, A_s (mm²)

Κλάση ιδιοτήτων σπειρώματος (X.Y)

Φορτίο απόδειξης (Proof load), $F_p = A_s \times \sigma_p$ (N)

Υπολογισμός ροπής σύσφιξης για προένταση κοχλία

- Εξίσωση ροπής για κοχλία ισχύος

$$T = \frac{F_i d_p (\mu \pi d_p + l \cos \alpha)}{2(\pi d_p \cos \alpha - \mu l)} + \mu_c F_i \frac{d_c}{2}$$

όπου:

- d_p : διάμετρος βήματος (pitch diameter)
- d_c : διάμετρος υποδοχής/κεφαλής (collar diameter)
- l : βήμα λειτουργίας (lead)
- F_i : προένταση (pre-tension)
- μ, μ_c : συντελεστές τριβής στο σπείρωμα και στην επιφάνεια έδρασης

Απλοποίηση της εξίσωσης:

- $T = K F_i d$

Όπου:

- K = συντελεστής ροπής, εξαρτάται από επιφανειακή τραχύτητα & λίπανση (συνήθως $K \approx 0.2$ για τις περισσότερες περιπτώσεις)
- d = ονομαστική διάμετρος κοχλία
- F_i = προένταση



Εμπειρικός υπολογισμός συντελεστή ροπής

Εμπειρική σχέση προσδιορισμού συντελεστή ροπής:

- $K = 0.5 k (1 + 1/Q)$

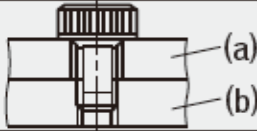
Όπου:

- k = ειδικός συντελεστής ροπής
- Q = συντελεστής σύσφιξης

■ Standard Value of Tightening Coefficient Q

Tightening Coefficient Q	Tightening Method	Surface Condition		Lubrication
		Bolts	Nuts	
1.25	Torque Wrench	Manganese Phosphate		
1.4	Torque Wrench	Not treated or Treated with Phosphate.	Not treated or Treated with Phosphate.	Lubricated with oil or MoS2 paste
	Limited-Torque Wrench			
1.6	Impact Wrench			
1.8	Torque Wrench	Not treated or Treated with Phosphate.	No Treatment	Unlubricated
	Limited-Torque Wrench			

■ Surface Treatment for Bolt and Torque Coefficient Dependent on the Combination of Material for Area to be Fastened and Material of Female Thread

Bolt Surface Treatment Lubrication	Torque Coefficient k	Combination of material for area to be fastened and material for female thread (a) (b)	
Steel Bolt Black Oxided Film Oil Lubrication	0.145	SCM-FC FC-FC SUS-FC	
	0.155	S10C-FC SCM-S10C SCM-SCM FC-S10C FC-SCM	
	0.165	SCM-SUS FC-SUS AL-FC SUS-S10C SUS-SCM SUS-SUS	
	0.175	S10C-S10C S10C-SCM S10C-SUS AL-S10C AL-SCM	
	0.185	SCM-AL FC-AL AL-SUS	
	0.195	S10C-AL SUS-AL	
	0.215	AL-AL	
Steel Bolt Black Oxided Film Unlubricated	0.25	S10C-FC SCM-FC FC-FC	
	0.35	S10C-SCM SCM-SCM FC-S10C FC-SCM AL-FC	
	0.45	S10C-S10C SCM-S10C AL-S10C AL-SCM	
	0.55	SCM-AL FC-AL AL-AL	

S10C:Mild steel not thermally refined SCM:Thermally Refined Steel(35HRC) FC:Cast Iron(FC200)AL:Aluminum SUS:Stainless Steel

Μοντελοποίηση κοχλιωτής σύνδεσης

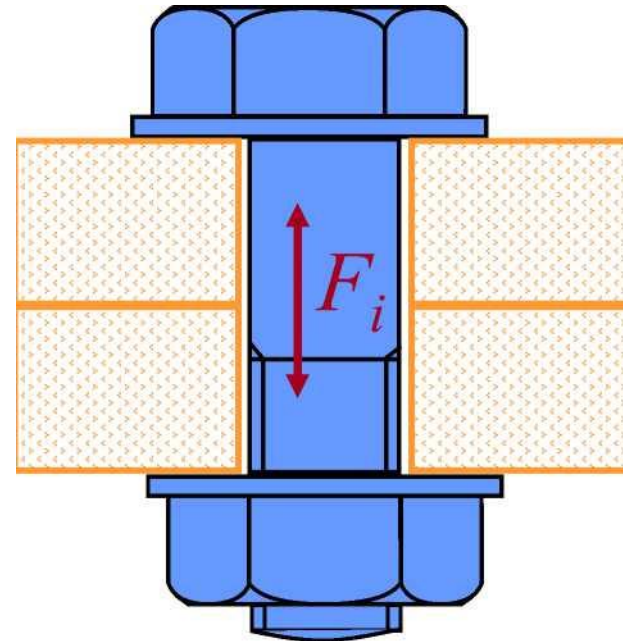
Υπό την απουσία εξωτερικής φόρτισης

F_i = προένταση στον κοχλία λόγω σύσφιξης

F_b = εφελκυστικό συνολικό φορτίο στον κοχλία (bolt)

F_c = θλιπτικό συνολικό φορτίο στα συνδεόμενα στοιχεία (components)

$$F_i = F_b = F_c$$



...Μοντελοποίηση κοχλιωτής σύνδεσης

Υπό την παρουσία εξωτερικής φόρτισης

F_i = προένταση λόγω σύσφιξης

P = εξωτερική εφελκυστική δύναμη:

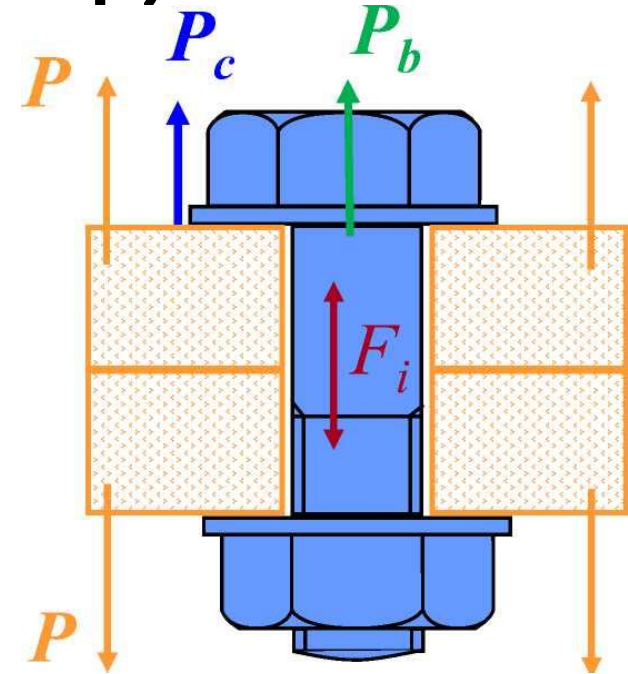
$$P = P_c + P_b$$

P_b = μέρος της P που παραλαμβάνεται από τον κοχλία

P_c = μέρος της P που παραλαμβάνονται από τα στοιχεία

F_b = συνολικό φορτίο στον κοχλία

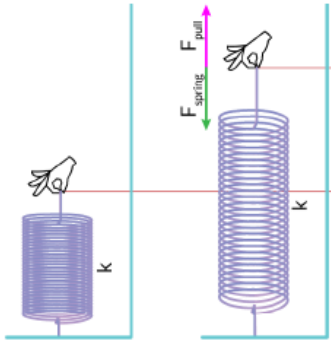
F_c = συνολικό φορτίο στα συνδεόμενα μέρη



$$F_b = P_b + F_i > 0$$

$$F_c = P_c - F_i \leq 0$$

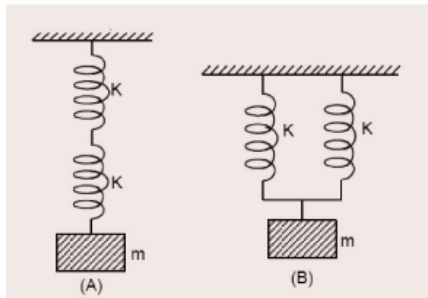
...Μοντελοποίηση κοχλιωτής σύνδεσης



Ουσιαστικά, η κοχλιωτή σύνδεση μπορεί να μοντελοποιηθεί ως δύο ελατήρια σε παράλληλη διάταξη, με τα στοιχεία της σύνδεσης σε θλίψη και τον κοχλία σε εφελκυσμό

Νόμος του Hooke για ένα ελατήριο

$$F = k \times \Delta x$$



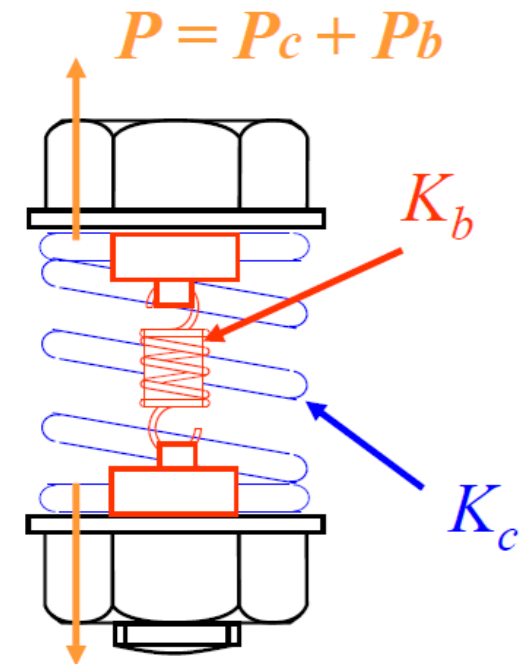
Ελατήρια σε σειρά & παράλληλα

$$\delta_b = \frac{P_b}{K_b} \quad \text{Μεταβολή μήκους κοχλία}$$

=

$$\delta_c = \frac{P_c}{K_c} \quad \text{Μεταβολή μήκους συνδεόμενων στοιχείων}$$

$$\delta_b = \delta_c$$



...Μοντελοποίηση κοχλιωτής σύνδεσης

Είναι $\delta_b = \frac{P_b}{K_b} = \delta_c = \frac{P_c}{K_c}$, άρα $\frac{P_b}{K_b} = \frac{P_c}{K_c}$

Όπως το συνολικό εξωτερικό φορτίο είναι:

$$P = P_b + P_c = P_b + P_b \left(\frac{K_c}{K_b} \right) = \left(1 + \frac{K_c}{K_b} \right) P_b$$

Η ισοδύναμα:

$$P_b = \frac{K_b}{K_b + K_c} P; \quad P_c = \frac{K_c}{K_b + K_c} P$$

...Μοντελοποίηση κοχλιωτής σύνδεσης

Είναι $\delta_b = \frac{P_b}{K_b} = \delta_c = \frac{P_c}{K_c}$, άρα $\frac{P_b}{K_b} = \frac{P_c}{K_c}$

Όπως το συνολικό εξωτερικό φορτίο είναι:

$$P = P_b + P_c = P_b + P_b \left(\frac{K_c}{K_b} \right) = \left(1 + \frac{K_c}{K_b} \right) P_b$$

Η ισοδύναμα:

$$P_b = \frac{K_b}{K_b + K_c} P; \quad P_c = \frac{K_c}{K_b + K_c} P$$

...Μοντελοποίηση κοχλιωτής σύνδεσης

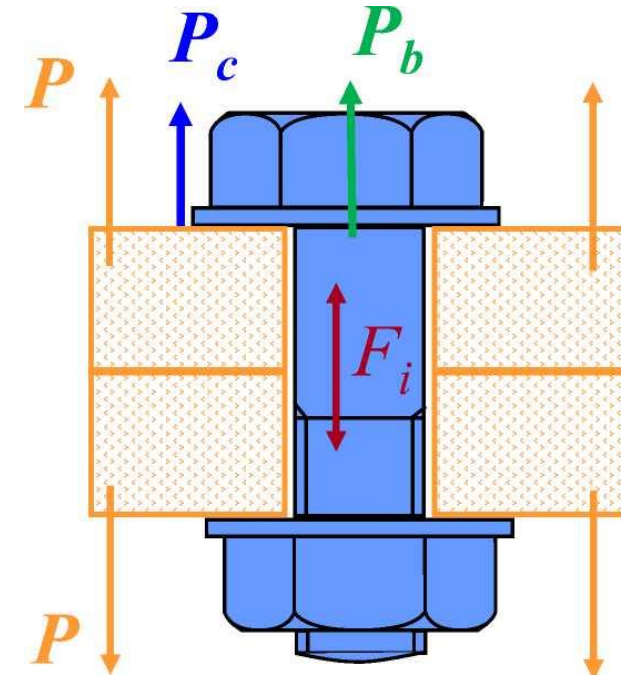
$$P_b = \frac{K_b}{K_b + K_c} P; \quad P_c = \frac{K_c}{K_b + K_c} P$$

Το συνολικό εφελκυστικό φορτίο στον κοχλία είναι

$$F_b = P_b + F_i = \frac{K_b}{K_b + K_c} P + F_i > 0$$

Το συνολικό θλιπτικό φορτίο στα στοιχεία είναι

$$F_c = P_c - F_i = \frac{K_c}{K_b + K_c} P - F_i \leq 0$$



$$F_b = P_b + F_i > 0$$

$$F_c = P_c - F_i \leq 0$$

Υπολογισμός δυσκαμψίας K_b

Το K_b μπορεί να υπολογιστεί ως $K_b = P/\delta$ όταν ο κοχλίας φέρει σπείρωμα σε όλο το μήκος σύσφιξης (length of grip):

$$K_b = \frac{A_s E}{l_t}$$

όπου:

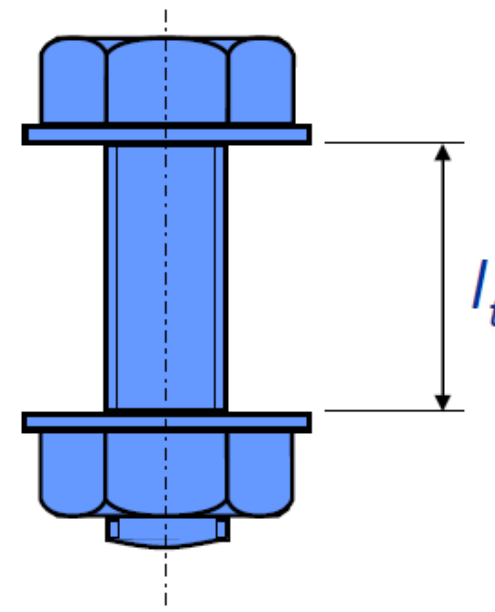
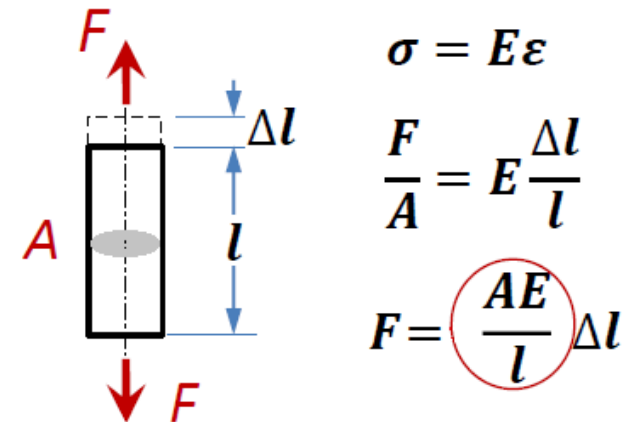
- A_s = επιφάνεια εφελκυσμού κοχλίας
- E = μέτρο ελαστικότητας
- l_t = μήκος σύσφιξης

Επιφάνεια εφελκυσμού:

- $A_s = (\pi/16) \times (d_p + d_r)^2$
- $d_p = d - 0.6495p$ (διάμετρος βήματος)
- $d_r = d - 1.0825p$ (διάμετρος ρίζας)
- d = ονομαστική διάμετρος
- p = βήμα σπειρώματος

Εναλλακτικά, η A_s μπορεί να ληφθεί από:

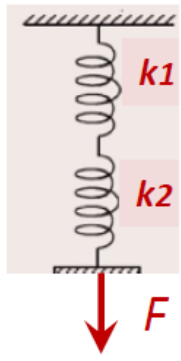
- Πίνακα BS EN ISO 898-1:2013

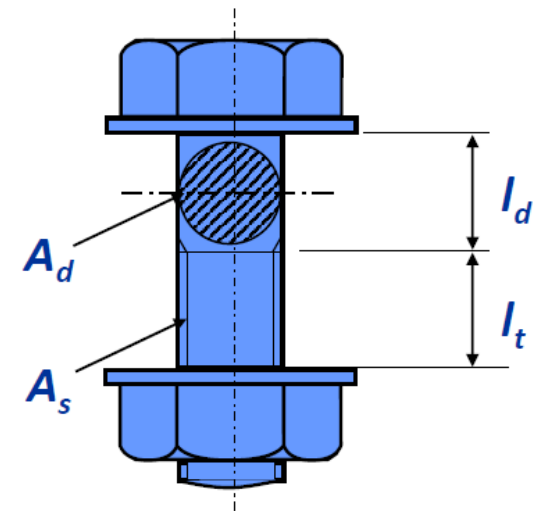


Υπολογισμός δυσκαμψίας K_b

Εάν υπάρχει τμήμα του κοχλία χωρίς σπείρωμα με διατομή A_d και μήκος l_d , τότε χρησιμοποιούμε τον τύπο των ελατηρίων σε σειρά ώστε να προκύψει:

$$K_b = \frac{A_d A_s E}{A_d l_t + A_s l_d}$$

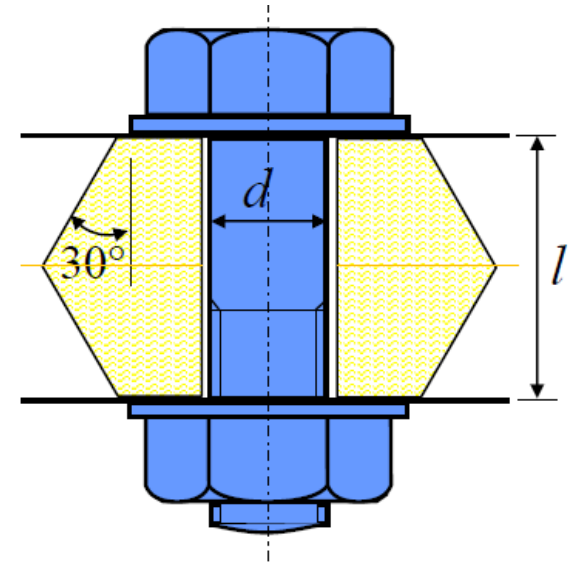

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$$
$$F = F_1 = F_2 = k \Delta l$$
$$\Delta l = \Delta l_1 + \Delta l_2$$
$$F_1 = \frac{A_1 E}{l_1} \Delta l_1 \quad F_2 = \frac{A_2 E}{l_2} \Delta l_2$$



Υπολογισμός δυσκαμψίας K_c

- Η δυσκαμψία των συνδεόμενων στοιχείων K_c είναι πιο δύσκολο να υπολογιστεί
- Απαιτεί να λάβουμε υπόψη κοίλες, κωνικές περιοχές που βρίσκονται σε θλίψη
- Μπορεί να προσεγγισθεί από τη σχέση (η απόδειξη παραλείπεται):

$$K_c = \frac{0.5774\pi E d}{2 \ln \left(5 \frac{0.5774l + 0.5d}{0.5774l + 2.5d} \right)}$$



Έννοια της «άκαμπτης» σύνδεσης

Μια «καλή» κοχλιωτή σύνδεση θα πρέπει να έχει άκαμπτα στοιχεία και ελαστικούς κοχλίες

- Σε μια σωστά μελετημένη «άκαμπτη» σύνδεση, τα συνδεόμενα στοιχεία έχουν μεγάλη δυσκαμψία: $K_c \gg K_b$
- Το K_c μπορεί να είναι 1.7 GN/m ή 2.2 GN/m
- Ενώ το K_b μπορεί να είναι 250 MN/m ή 500 MN/m
- Δηλαδή γενικά: $K_c > 3K_b$

Σε μια «εύκαμπτη» σύνδεση, ο κοχλίας είναι πιο άκαμπτος από τα στοιχεία, με αποτέλεσμα:

- Υψηλά επίπεδα φορτίσεων κόπωσης στον κοχλία

Υπενθυμίζεται:

$$F_b = P_b + F_i > 0$$

$$F_c = P_c - F_i \leq 0$$

ή

$$F_b = \frac{K_b}{K_b + K_c} P + F_i > 0$$

$$F_c = \frac{K_c}{K_b + K_c} P - F_i \leq 0$$

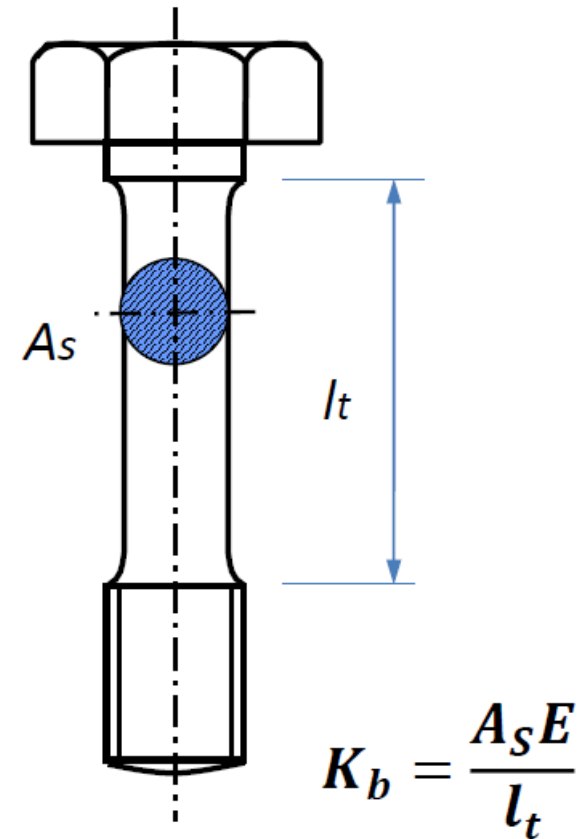
Μείωση δυσκαμψίας κοχλίας

Για έναν κοχλία (το E εξαρτάται από το υλικό) απαιτούμε:

- Μικρή διατομή
- Μεγάλο μήκος

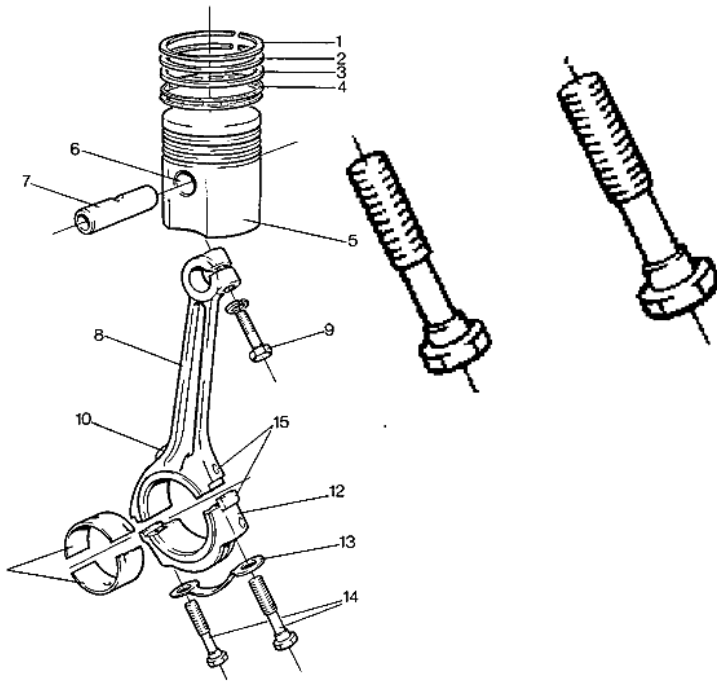
Η μικρή εγκάρσια διατομή μπορεί να επιτευχθεί:

- Με λέπτυνση του κορμού του κοχλίας που δεν διαθέτει σπείρωμα μέχρι τη διάμετρο ρίζας
- Έτσι μειώνεται τη δυσκαμψία χωρίς απώλεια αντοχής



...Μείωση δυσκαμψίας κοχλίας

- Μέθοδοι για τη δημιουργία «άκαμπτης» σύνδεσης (εύκαμπτοι κοχλίες)



Λεπτοί κοχλίες σε διωστήρα



Μακριοί κοχλίες σε πνευματικούς κυλίνδρους

Αστοχία Σύνδεσης & Συντελεστής Εφεδρείας (Reserve Factor)

- Στην πράξη, μια σύνδεση περιλαμβάνει N κοχλίες. Η συνθήκη θραύσης (αποκόλληση της σύνδεσης) επιβάλλει ένα ανώτατο όριο στο εξωτερικό φορτίο P .
- Η σύνδεση αρχίζει να αστοχεί (διαχωρίζεται) όταν το φορτίο στον κοχλία μηδενιστεί. Αυτό περιγράφεται από την εξίσωση:

$$\frac{K_c}{K_b + K_c} P_0 - NF_i = 0$$

$$P_0 = NF_i \frac{K_b + K_c}{K_c}$$

- Αυτός ο τύπος δείχνει ότι το μέγιστο φορτίο P_0 είναι μεγαλύτερο από το συνολικό προφορτιστικό φορτίο NF_i λόγω του παράγοντα $(K_b + K_c)/K_c$.

Ο **συντελεστής εφεδρείας** (Reserve Factor) ορίζεται ως: $n_0 = \frac{P_0}{P} \geq 1.5 \sim 2$

Όπου:

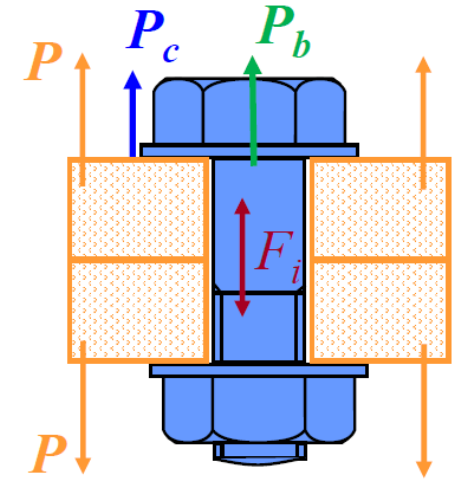
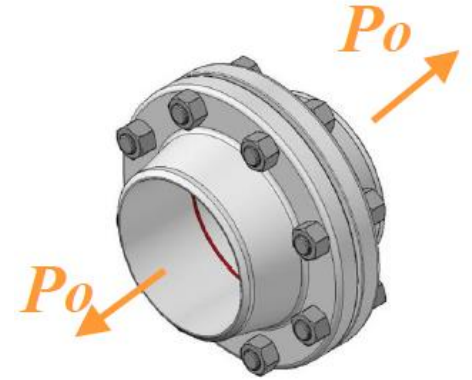
P_0 : Το μέγιστο επιτρεπόμενο εξωτερικό φορτίο (στο όριο αστοχίας) για τους N κοχλίες.

F_i : Η προένταση σε κάθε κοχλία.

K_b : Η ακαμψία του κοχλία

K_c : Η ακαμψία των συναρμολογούμενων εξαρτημάτων

N : Ο αριθμός των κοχλίων στη σύνδεση.



$$F_b = \frac{K_b}{K_b + K_c} P + F_i > 0$$

$$F_c = \frac{K_c}{K_b + K_c} P - F_i \leq 0$$

Γενικός Οδηγός Επιλογής Συντελεστή Εφεδρείας (Reserve Factor)

Προτεινόμενος Συντελεστής Εφεδρείας (n _o)	Λειτουργικές & Περιβαλλοντικές Συνθήκες / Χρήση Υλικών	Αβεβαιότητα Υλικού & Συνθηκών Λειτουργίας
1.25 – 1.5	Αξιόπιστα υλικά σε ελεγχόμενες συνθήκες, με πλήρη γνώση φορτίων & τάσεων	Πολύ χαμηλή
1.5 – 2.0	Γνωστά υλικά σε σχετικά σταθερές περιβαλλοντικές συνθήκες με γνωστά φορτία & τάσεις	Χαμηλή
2.0 – 2.5	Μέσης ποιότητας υλικά με γνωστές συνθήκες φορτίου & τάσεων	Μέτρια
2.5 – 3.0	Λιγότερο γνωστά υλικά σε μέσες συνθήκες φορτίου, τάσεων & περιβάλλοντος	Υψηλή
3.0 – 3.4	Μη δοκιμασμένα υλικά ή μεγάλο εύρος αβεβαιότητας σε φορτία, τάσεις & περιβάλλον	Πολύ υψηλή

Αλγόριθμος Επιλογής Συντελεστή Εφεδρείας (Reserve Factor)

1. Αποφασίστε αν η σύνδεση θα είναι μόνιμη ή μη μόνιμη.

Καθορίστε το εξωτερικό φορτίο P και τον συντελεστή εφεδρείας n_0 .

Επιλέξτε τον αριθμό των κοχλίων N ώστε να μη συμβεί αποκόλληση.

2. Εκτιμήστε την προένταση (F_i^{est}) του κοχλίου, υποθέτοντας «άκαμπτη» σύνδεση, δηλ. $K_c \approx 3K_b$, ώστε:

$$NF_i \geq \frac{K_c}{K_b + K_c} P$$

3. Επιλέξτε κατάλληλο μέγεθος κοχλίου (π.χ. M4, M6, M10, ...) και κατηγορία αντοχής (π.χ. 6.8, 8.8, 10.9).

Υπολογίστε την προένταση F_i ή λάβετε την από τον Πίνακα 5 του **BS EN ISO 898-1:2009**:

- Μη μόνιμη σύνδεση:

$$F_i = 0.75 A_s \sigma_p$$

- Μόνιμη σύνδεση:

$$F_i = 0.9 A_s \sigma_p$$

και πρέπει να ισχύει:

$$F_i \geq F_i^{est}$$

...Αλγόριθμος Επιλογής Συντελεστή Εφεδρείας (Reserve Factor)

4. Υπολογίστε την δυσκαμψία του κοχλίου K_b και των συμπιεζόμενων εξαρτημάτων K_c :

- Αν ο κοχλίας είναι πλήρως με σπείρωμα στην περιοχή σύσφιξης: $K_b = \frac{A_s E}{l_t}$
- Αν υπάρχει περιοχή χωρίς σπείρωμα: $K_b = \frac{A_d A_s E}{A_d l_t + A_s l_d}$
- Η δυσκαμψία των εξαρτημάτων: $K_c = \frac{0.5774 \pi E d}{2 \ln \left(\frac{5(0.5774 l + 0.5 d)}{0.5774 l + 2.5 d} \right)}$

5. Υπολογίστε το μέγιστο επιτρεπόμενο εξωτερικό φορτίο (όριο αποκόλλησης):

$$P_0 = N F_i \frac{K_b + K_c}{K_c}$$

7. Υπολογίστε τον συντελεστή εφεδρείας:

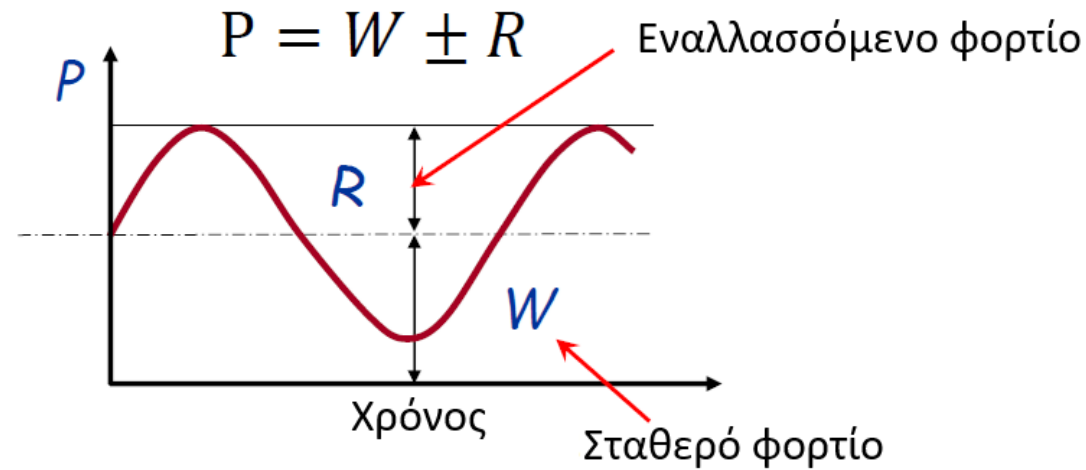
$$n_0 = \frac{P_0}{P}$$

Πρέπει να είναι $n_0 \geq 1.5 \sim 2$.

Αν όχι, επιστρέψτε στο βήμα 3 και επαναλάβετε.

Σύνδεση με κοχλίες υπό κυκλική φόρτιση

- Γενικά σε μια κυκλική φόρτιση, το φορτίο εκφράζεται από το άθροισμα ενός σταθερού φορτίου (εκφράζεται από τη μέση τιμή W) και ένα χρονικά εναλλασσόμενο φορτίο (εκφράζεται από την απόκλιση R)



$$F_c = \frac{K_c}{K_b + K_c} P - F_i \leq 0$$

$$F_i \geq (W + R) \frac{K_c}{K_b + K_c}$$

...Σύνδεση με κοχλίες υπό κυκλική φόρτιση

Συνολικό φορτίο στον κοχλία:

$$F_b = (W \pm R) \frac{K_b}{K_b + K_c} + (W + R) \frac{K_c}{K_b + K_c}$$

$$= \left(W + \frac{K_c}{K_b + K_c} R \right) \pm \frac{K_b}{K_b + K_c} R$$

Αύξηση
σταθερού
φορτίου

Μείωση
εναλλασσόμενου
φορτίου

Γνωρίζουμε:

$$P = W \pm R$$

$$F_i \geq (W + R) \frac{K_c}{K_b + K_c}$$

$$F_b = \frac{K_b}{K_b + K_c} P + F_i > 0$$

