



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

ΤΜΗΜΑ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧΑΝΩΝ Ι

**ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
κ. ΜΟΣΧΙΔΗΣ**

ΣΕΡΡΕΣ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2015



Άδειες Χρήσης

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons. Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Το έργο αυτό αδειοδοτείται από την Creative Commons Αναφορά Δημιουργού - Παρόμοια Διανομή 4.0 Διεθνές Άδεια. Για να δείτε ένα αντίγραφο της άδειας αυτής, επισκεφτείτε <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.el>.

Χρηματοδότηση

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.

Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.

Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



ΤΥΠΟΛΟΓΙΟ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ Ι

Γ' ΜΕΡΟΣ: ΛΥΜΕΝΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

(Οι αριθμοί ασκήσεων ταυτίζονται, όπου είναι δυνατόν, με τους αριθμούς των ίδιων ασκήσεων στην εκτύπωση του βιβλίου του Φεβρουαρίου 2004)

Άσκηση	Σελ.
Κεφ. 2 - Συναρμογές	
2.1 Μέγιστη και ελάχιστη χάρη ή σύσφιξη	2
2.2 Ανάγνωση πίνακα ανοχών	3
Κεφ. 3 - Είδη φορτίσεων	
3.1 Υπολογισμός εφελκυστικής τάσης	3
3.2 Υπολογισμός διατμητικής τάσης	4
3.3 Υπολογισμός καμπτικής τάσης	6
3.4 Υπολογισμός στρεπτικής τάσης	8
3.5 Υπολογισμός λυγισμού	9
Κεφ. 5 - Συγκολλήσεις	
5.2 Άκρο γερανού (φόρτιση: κάμψη, διάτμηση, εφελκυσμός)	10
5.4 Τροχός (φόρτιση: στρέψη)	12
5.5 Δοχείο πίεσεως	13
5.6 Δοχείο (ηλεκτροποντάρισμα)	14
Κεφ. 6 - Κοχλίες	
6.1 Καπάκι δοχείου πίεσεως (φόρτιση: εφελκυσμός)	15
6.2 Κόμβος δικτυώματος (εφαρμοστοί κοχλίες)	18
6.3 Μέγγενη (κοχλίας κίνησης)	20
6.4 Υπαίθριος στύλος (δυνάμεις κοχλιών για κάμψη + διάτμηση σύνδεσης)	23
6.5 Βαρούλκο (υπολογισμός μελέτης για στρέψη + διάτμηση σύνδεσης)	24
Κεφ. 7 - Άτρακτοι	
7.1 Ηλεκτροκινητήρας (Έλεγχος αντοχής)	25
7.3 Ατέρμονας (Έλεγχος αντοχής)	28
Κεφ. 8, 9 - Σφήνες, πολύσφηνα, σύνδεσμοι	
8.1 Συμπλέκτης αυτοκινήτου	31
8.2 Σφήνας σε ελεύθερο άκρο ατράκτου	35
Κεφ. 9 - Συμπλέκτες	
9.1 Υπολογισμός δίσκου συμπλέκτη	37
Κεφ. 10 - Έδρανα κυλίσεως (Ρουλεμάν)	
10.2 Έδρανα της ατράκτου της ασκ 7.3 (μεγάλη αξονική φόρτιση)	38
10.3 Έδρανα σε άτρακτο με μέτρια αξονική φόρτιση, και ακτινική φόρτιση σε ένα μόνο επίπεδο.	39

ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ Ι

Κεφ. 2: Συναρμογές

2.1 Να βρεθούν η μέγιστη και η ελάχιστη χάρη (*) για τις παρακάτω συναρμογές:

α) $\Phi 45 \text{ H7/g6}$ β) $\Phi 45 \text{ H7/j6}$ γ) $\Phi 45 \text{ H7/p6}$

(*) Σημείωση:

- Αν η συναρμογή είναι σφικτή, τότε πρέπει να βρεθεί η μέγιστη και η ελάχιστη σύσφιξη.

- Αν η συναρμογή έχει αμφίβολη σύσφιξη, τότε πρέπει να βρεθεί η μέγιστη χάρη και η μέγιστη σύσφιξη (αφού αυτές είναι οι δύο ακραίες καταστάσεις).

Λύση:

Από τον πίνακα 2.3 του βιβλίου διαβάζουμε για τα πεδία ανοχών:

- Όρια πεδίου ανοχών για το $\Phi 45 \text{ H7} = 0\mu\text{m}$ και $+25\mu\text{m}$

- Όρια πεδίου ανοχών για το $\Phi 45 \text{ g6} = -25\mu\text{m}$ και $-9\mu\text{m}$

- Όρια πεδίου ανοχών για το $\Phi 45 \text{ j6} = -5\mu\text{m}$ και $+11\mu\text{m}$

- Όρια πεδίου ανοχών για το $\Phi 45 \text{ p6} = +26\mu\text{m}$ και $+42\mu\text{m}$

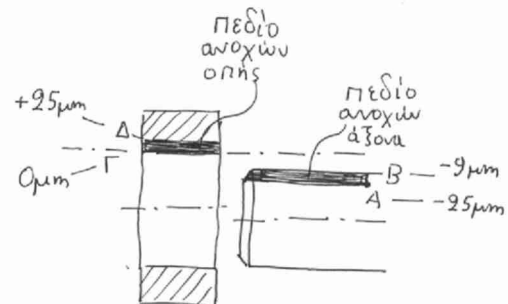
Για τις συναρμογές που αναφέρει η άσκηση παρατηρούμε με βάση τα σχήματα τα εξής:

ε) Η συναρμογή $\Phi 45 \text{ H7/g6}$ είναι ελεύθερη. Η μέγιστη χάρη εμφανίζεται όταν συνδυάζεται μεγάλη οπή (σημείο Δ στο σχήμα) με μικρό άξονα (σημείο Α στο σχήμα). Η μέγιστη χάρη θα είναι

$$S_{\text{μεγ}} = +25\mu\text{m} - (-25\mu\text{m}) = 50\mu\text{m}$$

Η ελάχιστη χάρη εμφανίζεται όταν συνδυάζεται μικρή οπή (σημείο Γ στο σχήμα) με μεγάλο άξονα (σημείο Β στο σχήμα). Η ελάχιστη χάρη θα είναι

$$S_{\text{ελαχ}} = 0\mu\text{m} - (-9\mu\text{m}) = 9\mu\text{m}$$

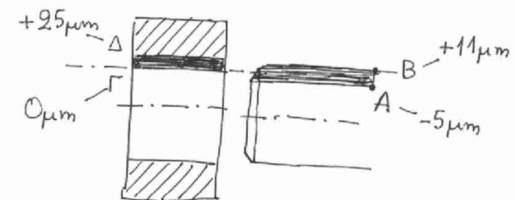
Συναρμογή $\Phi 45 \text{ H7/g6}$

στ) Η συναρμογή $\Phi 45 \text{ H7/j6}$ έχει αμφίβολη σύσφιξη. Η μέγιστη χάρη θα είναι

$$S_{\text{μεγ}} = +25\mu\text{m} - (-5\mu\text{m}) = 30\mu\text{m}$$

Η μέγιστη σύσφιξη θα είναι

$$U_{\text{μεγ}} = +11\mu\text{m} - 0\mu\text{m} = 11\mu\text{m}$$

Συναρμογή $\Phi 45 \text{ H7/j6}$

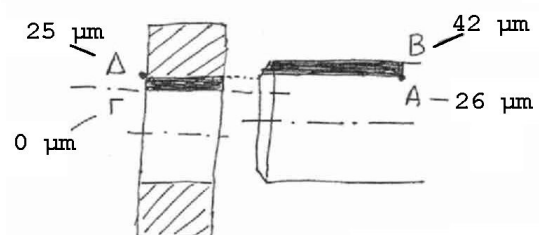
ζ) Η συναρμογή $\Phi 45 \text{ H7/p6}$ είναι σφικτή.

Η μέγιστη σύσφιξη θα είναι

$$U_{\text{μεγ}} = +42\mu\text{m} - 0\mu\text{m} = 42\mu\text{m}$$

Η ελάχιστη σύσφιξη θα είναι

$$U_{\text{μεγ}} = +26\mu\text{m} - (+25\mu\text{m}) = 1\mu\text{m}$$

Συναρμογή $\Phi 45 \text{ H7/p6}$

2.2 Να βρεθούν τα όρια του πεδίου ανοχών στις παρακάτω περιπτώσεις:

α) $\Phi 50 h7$, β) $\Phi 50 G6$

Σημειώσεις:

- Η έκφραση "άνω του 40 έως 50" στον πίνακα 2.3 του βιβλίου εννοεί ότι στην περιοχή ονομαστικών διαμέτρων μεταξύ 40mm και 50mm δεν περιλαμβάνονται τα 40mm αλλά περιλαμβάνονται τα 50mm.

- Διάφορες κατηγορίες ανοχής για οπές (π.χ. G6, J6, P6 κτλ) περιέχονται στο δεύτερο μέρος του πίνακα 2.3 του βιβλίου (τρίτη και τέταρτη σελίδα του πίνακα).

- Το πεδίο ανοχών h7 έχει αντίθετα άκρα από το H7.

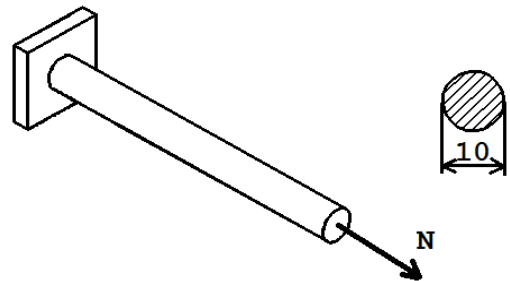
Π.χ. $\Phi 50H7 = \Phi 50_0^{+25}$ ενώ $\Phi 50h7 = \Phi 50_0^{-25}$

$\Phi 25H7 = \Phi 25_0^{+21}$ ενώ $\Phi 25h7 = \Phi 25_0^{-21}$ κ.τ.λ.

(Αυτή η άσκηση δίνεται για να λυθεί από τους φοιτητές).

Κεφ. 3: Είδη φορτίσεων

Πρόβλημα 3.1 Να ελεγχθεί αν αντέχουν σε εφελκυσμό οι ράβδοι στα παρακάτω σχήματα. (Έχουν όλες την ίδια εφελκυστική δύναμη $N=5000N$ αλλά διαφορετικές διατομές. Η επιτρεπόμενη τάση σε όλες τις περιπτώσεις είναι $\sigma_{\text{επ}}=160 \text{ N/mm}^2$). Σε ποιό σημείο της διατομής πρέπει να ασκείται κάθε φορά η δύναμη N ;



Λύση:

α) Η ράβδος (α) έχει κυκλική διατομή, με εμβαδό

$$A = (\pi/4) d^2 = (\pi/4) \times 10^2 \text{mm}^2 = 78,5 \text{mm}^2$$

Η εφελκυστική τάση που αναπτύσσεται στη ράβδο είναι

$$\sigma_z = \frac{N}{A} = \frac{5000N}{78,5 \text{mm}^2} = 63,7 \text{ N/mm}^2$$

Ισχύει $\sigma_z < \sigma_{\text{επ}}$, άρα η ράβδος αντέχει.

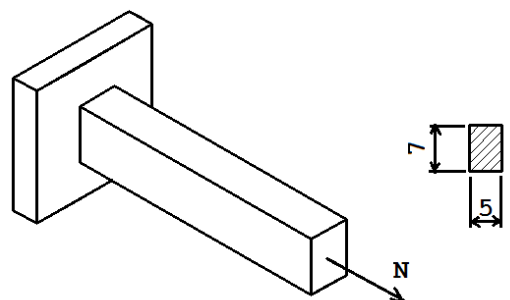
Η εφελκυστική δύναμη N πρέπει να ασκείται στο γεωμετρικό κέντρο της κυκλικής διατομής, γιατί αυτό είναι το κέντρο βάρους της.

β) Η ράβδος (β) έχει ορθογώνια διατομή, για την οποία ισχύει

$$A = 5 \text{mm} \times 7 \text{mm} = 35 \text{mm}^2$$

$$\sigma_z = \frac{N}{A} = \frac{5000N}{35 \text{mm}^2} = 142,9 \text{ N/mm}^2$$

Ισχύει $\sigma_z < \sigma_{\text{επ}}$, άρα η ράβδος αντέχει.
Η εφελκυστική δύναμη πρέπει να ασκείται



στο γεωμετρικό κέντρο της ορθογώνιας διατομής.

γ) Η ράβδος (γ) έχει σύνθετη διατομή σχήματος T. Χωρίζουμε τη διατομή σε δύο μέρη (1) και (2), με διαστάσεις α_1, β_1 και α_2, β_2 αντίστοιχα, και εμβαδά A_1 και A_2 . Τα κέντρα των δύο μερών συμβολίζονται στο σχήμα με K_1 και K_2 , αλλά αυτός ο συμβολισμός δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του γενικού κέντρου βάρους G. Πρέπει πρώτα να διαλέξουμε ένα βολικό σύστημα αξόνων (εδώ το x-y) και να βρούμε τις συντεταγμένες των K_1, K_2 (βλ. σχήμα).

Τα εμβαδά των μερών είναι:

$$A_1 = \alpha_1 \beta_1 = 8\text{mm} \times 3\text{mm} = 24\text{mm}^2$$

$$A_2 = \alpha_2 \beta_2 = 3\text{mm} \times 10\text{mm} = 30\text{mm}^2$$

Το ολικό εμβαδό είναι

$$A = A_1 + A_2 = 24\text{mm}^2 + 30\text{mm}^2 = 54\text{mm}^2$$

Η εφελκυστική τάση είναι:

$$\sigma_z = \frac{N}{A} = \frac{5000\text{N}}{54\text{mm}^2} = 92,6 \text{ N/mm}^2$$

Ισχύει $\sigma_z < \sigma_{\text{επ}}$, άρα η ράβδος αντέχει.

Η εφελκυστική δύναμη πρέπει να εφαρμόζεται πάνω στο κέντρο βάρους G.

Η θεωρία διδάσκει ότι οι συντεταγμένες του G δίνονται απ' τους τύπους

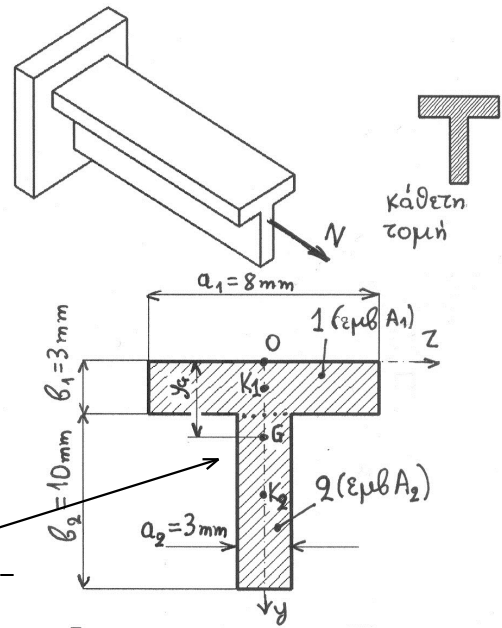
$$z_G = \frac{z_1 A_1 + z_2 A_2}{A_1 + A_2} \quad y_G = \frac{y_1 A_1 + y_2 A_2}{A_1 + A_2} \quad (3-2)$$

Στην περίπτωση μας ισχύει $z_1 = z_2 = 0$ άρα $z_G = 0$

Για τη συντεταγμένη y_G ισχύει

$$y_G = \frac{y_1 A_1 + y_2 A_2}{A_1 + A_2} = \frac{1,5\text{mm} \times 24\text{mm}^2 + 8\text{mm} \times 30\text{mm}^2}{54\text{mm}^2} = 5,11\text{mm}$$

Επομένως η αξονική δύναμη N πρέπει να ασκείται στο K_B , που απέχει 5,11mm από το σημείο 0.



Συντεταγμένη του K_1 :

$$y_1 = OK_1 = \beta_1 / 2 = 1,5\text{mm}$$

Συντεταγμένη του K_2 :

$$y_2 = OK_2 = \beta_1 + (\beta_2 / 2) = \dots = 8\text{mm}$$

Λύση:

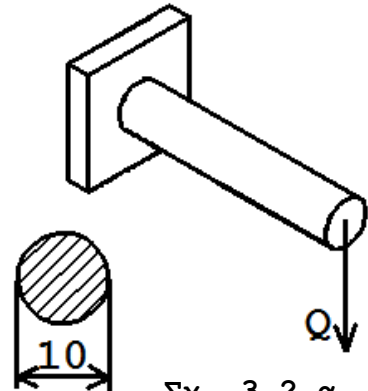
α) Για την κυκλική διατομή της περίπτωσης α, το εμβαδό διάτμησης είναι

$$A = (\pi/4) d^2 = (\pi/4) \times 10^2 \text{mm}^2 = 78,5 \text{mm}^2$$

άρα η μέση διατμητική τάση είναι

$$\tau_{\delta} = \frac{Q}{A'} = \frac{5000 \text{N}}{78,5 \text{mm}^2} = 63,7 \text{ N/mm}^2$$

Το κέντρο διάτμησης απ' όπου πρέπει να περνάει η Q είναι το κέντρο του κύκλου της διατομής



Σχ. 3.2.α

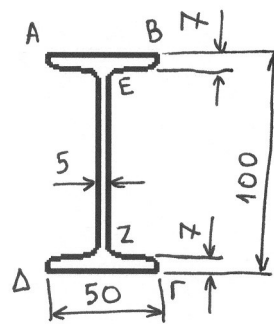
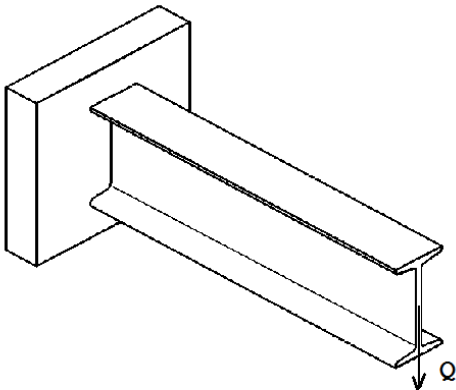
β) Για τη διατομή σχήματος I του παρακάτω σχήματος, το εμβαδό διάτμησης είναι το εμβαδό του κατακόρυφου κορμού ΕΖ:

$$A' = 5 \text{mm} \times 100 \text{mm} = 500 \text{mm}^2$$

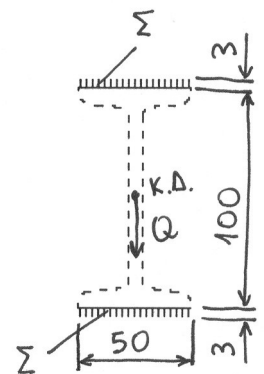
άρα η μέση διατμητική τάση είναι

$$\tau_{\delta} = \frac{Q}{A'} = \frac{5000 \text{N}}{500 \text{mm}^2} = 10 \text{N/mm}^2$$

Το κέντρο διάτμησης απ' όπου πρέπει να περνάει η Q είναι το γεωμετρικό κέντρο του I.



Σχ. 3.2.β



Σχ. 3.2.γ

γ) Το σύστημα των δύο συγκολλήσεων Σ που στερεώνουν το δοκάρι I αποτελεί ειδική περίπτωση, γιατί ταυτίζεται με τη διατομή με λεπτά τοιχώματα, αλλά κανένα από τα τοιχώματα δεν είναι παράλληλο προς τη διατμητική δύναμη Q . Σ' αυτή την περίπτωση η θεωρία δίνει για το εμβαδό διάτμησης τον τύπο

$$A' = 0,67 A$$

όπου A = το πραγματικό εμβαδό των τοιχωμάτων.

Άρα ισχύει $A' = 0,67 (2 \times 3\text{mm} \times 50\text{mm}) = 200\text{mm}^2$
και η διατμητική τάση είναι

$$\tau_s = \frac{Q}{A'} = \frac{5000\text{N}}{200\text{mm}^2} = 25\text{N/mm}^2$$

Το κέντρο διάτμησης απ' όπου πρέπει να περνάει η Q είναι το γεωμετρικό κέντρο του συστήματος των δύο συγκολλήσεων.

Πρόβλημα 3.3 Να βρεθούν τα μεγέθη M_b , I , $y_{\text{μεγ}}$, W , $\sigma_{\text{βμεγ}}$ για τα δοκάρια στα παρακάτω σχήματα (έχουν όλα την ίδια κάθετη δύναμη $Q=500\text{N}$ και το ίδιο μήκος $L=200\text{mm}$, αλλά διαφορετικές διατομές). Οι υπολογισμοί να γίνουν για μιά διατομή κοντά στην πάκτωση Α.

Λύση:

α) Στο σημείο Α η καμπτική ροπή ισούται με

$$M_b = Q L = 500\text{N} \times 200\text{mm} = 100.000 \text{ Nmm}$$

Με τον τύπο της ροπής αδράνειας για κυκλική διατομή (πίν. 3.1) έχουμε

$$I_x = \frac{\pi}{64} d^4 \approx 0,05 \times 10^4 \text{mm}^4 = 500\text{mm}^4$$

Παρατηρώντας το σχήμα καταλαβαίνουμε ότι το μέγιστο ύψος είναι

$$y_{\text{μεγ}} = d/2 = 10\text{mm} / 2 = 5\text{mm}$$

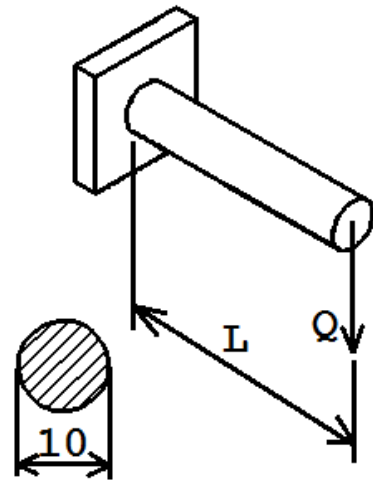
Είτε από τον πίνακα 3.1 είτε από τον ορισμό $W_x = I_x / y_{\text{μεγ}}$ παίρνουμε για τη ροπή αντίστασης

$$W_x = \frac{\pi}{32} d^3 \sim 0,1 \times 10^3 \text{mm}^3 = 100\text{mm}^3$$

Η καμπτική τάση είναι

$$\sigma_{\text{βμεγ}} = \frac{M_b}{W_x} = \frac{100.000 \text{ N mm}}{100\text{mm}^3} = 1000 \text{ N/mm}^2$$

Παρατηρούμε ότι αυτή η τάση είναι πάρα πολύ μεγάλη (οι επιτρεπόμενες τάσεις κυμαίνονται στην περιοχή $60..200\text{N/mm}^2$ δηλαδή η διάμετρος $\phi 10$ είναι πολύ μικρή για τη δύναμη $Q = 500\text{N}$ που φορτίζει τη δοκό).



β) Για το δοκάρι του σχήματος 3.3.β, με ορθογώνια διατομή, ισχύει η ίδια τιμή της καμπτικής ροπής:

$$M_b = Q L = \dots = 100.000 \text{ Nmm}$$

Στον υπολογισμό των I_x , $y_{\text{μεγ}}$, W_x , όμως, αυτό το πρόβλημα είναι λίγο δυσκολότερο από εκείνο της κάμψης κυλινδρικής δοκού. Ο πίνακας 3.1 δίνει βέβαια τους τύπους $I = bh^3/12$, $W = bh^2/6$, αλλά δημιουργείται το πρόβλημα: «Ποιά από τις διαστάσεις $\alpha = 5\text{mm}$ και $\beta = 7\text{mm}$ θα βάλουμε να παίξει το ρόλο του h ; Το $y_{\text{μεγ}}$ θα είναι το μισό του α ή το μισό του β ;»

Το σχηματάκι του πίνακα 3.1 είναι εφοδιασμένο με μια δύναμη Q που δημιουργεί την κάμψη, και έτσι καταλαβαίνουμε ότι ισχύουν οι κανόνες:

Η διάσταση που εμφανίζεται στους τύπους των I_x , W_x να είναι υψωμένη στο τετράγωνο ή στον κύβο, πρέπει να είναι παράλληλη στην εγκάρσια δύναμη Q που προκαλεί την κάμψη.

Το μέγιστο ύψος $y_{\text{μεγ}}$ ξεκινάει από το κέντρο βάρους της διατομής, καταλήγει στο πιο απομακρυσμένο σημείο της, και είναι παράλληλο στην εγκάρσια δύναμη Q που προκαλεί την κάμψη.

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι το ρόλο του h θα τον παίξει το β , και το ρόλο του $y_{\text{μεγ}}$ θα τον παίξει το $\beta/2$.

Η ροπή αδράνειας είναι $I_x = bh^3/12 = \alpha\beta^3/12 = 5\text{mm} \times 7^3\text{mm}^3 / 12 = 142,9\text{mm}^4$

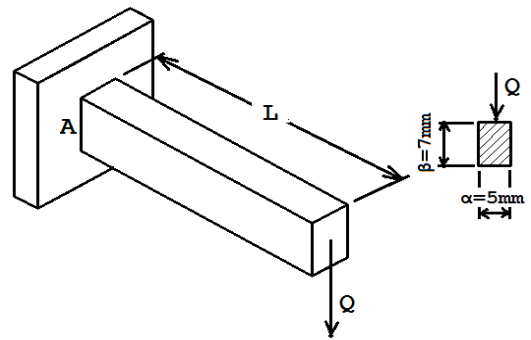
Το μέγιστο ύψος είναι $y_{\text{μεγ}} = \beta/2 = 3,5\text{mm}$

Η ροπή αντίστασης είναι $W_x = I/y_{\text{μεγ}} = 142,9\text{mm}^4 / 3,5\text{mm} = 40,8\text{mm}^3$

Η καμπτική τάση είναι

$$\sigma_{b,\text{μεγ}} = \frac{M_b}{W_x} = \frac{100.000 \text{ Nmm}}{40,8\text{mm}^3} \approx 2450 \text{ N/mm}^2$$

που και πάλι είναι υπερβολικά μεγάλη.



γ) Έστω ότι ζητείται να γίνουν οι ίδιοι υπολογισμοί για τη συγκόλληση Σ_1 του δοκαριού με το κατακόρυφο τοίχωμα.

Η συγκόλληση Σ_1 αποτελείται από δύο μέρη α , β . Τα κέντρα βάρους των μερών K_α , K_β βρίσκονται στο ίδιο ύψος, άρα έχουμε το δικαίωμα να προσθέσουμε τις ροπές αδράνειας των μερών:

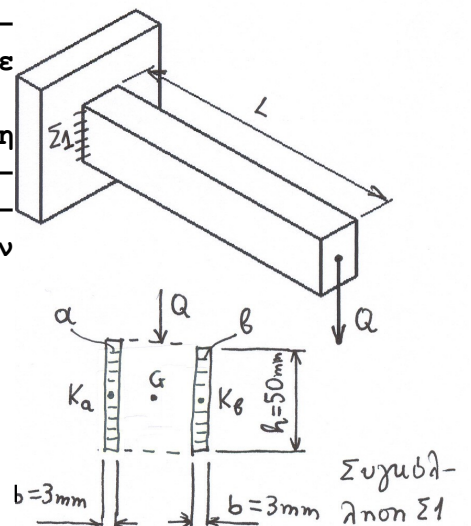
$$I_{o\lambda} = I_\alpha + I_\beta$$

Επειδή τα μέρη α, β είναι ορθογώνια, άρα

$$I_\alpha = I_\beta = bh^3/12 = 3\text{mm} \times 50^3\text{mm}^3 / 12 = 31.250\text{mm}^4$$

$$\text{και } I_{o\lambda} = \dots = 2 \times 31.250\text{mm}^4 = 62.500\text{mm}^4$$

Για το μέγιστο ύψος ισχύει



$$y_{μεγ} = h / 2 = \dots = 25\text{mm}$$

Για τη ροπή αντίστασης σε κάμψη ισχύει

$$W_{ολ} = I_{ολ} / y_{μεγ} = 62.500\text{mm}^4 / 25\text{mm} = 2.500\text{mm}^3$$

Η καμπτική ροπή είναι

$$M_b = Q L = \dots = 100.000 \text{ Nmm}$$

Η καμπτική τάση είναι

$$\sigma_{bμεγ} = \frac{M_b}{W_{ολ}} = \frac{100.000 \text{ Nmm}}{2500\text{mm}^3} = 40 \text{ N/mm}^2$$

Αυτή η ροπή είναι μικρότερη από τις επιτρεπόμενες ($\sigma_{επ} \approx 150 \text{ N/mm}^2$ για συγκολλήσεις), άρα η συγκόλληση αντέχει.

δ) Η συγκόλληση Σ_2 αποτελείται επίσης από δύο μέρη α, β , των οποίων όμως τα κέντρα βάρους K_α, K_β δεν βρίσκονται στο ίδιο ύψος. Παρατηρούμε ότι τη συγκόλληση Σ_2 μπορούμε να τη θεωρήσουμε ως διαφορά των δύο ορθογώνιων $AB\Gamma\Delta$ και $A'B'\Gamma'\Delta'$, που τα κέντρα τους συμπίπτουν και τα δύο με το G , άρα έχουμε το δικαίωμα να αφαιρέσουμε τις ροπές αδράνειάς τους:

$$\begin{aligned} I_{ολ} &= I_{εξ} - I_{εσ} = bH^3/12 - bh^3/12 = \\ &= (25\text{mm} \times 56^3\text{mm}^3 - 25\text{mm} \times 50^3\text{mm}^3) / 12 = \\ &= 105.450\text{mm}^4 \end{aligned}$$

Το $y_{μεγ}$ πρέπει να υπολογισθεί με βάση το εξωτερικό ορθογώνιο, γιατί συμβολίζει την απόσταση του πιό απομακρυσμένου σημείου απ' το κέντρο βάρους:

$$y_{μεγ} = H/2 = 56\text{mm}/2 = 28\text{mm}$$

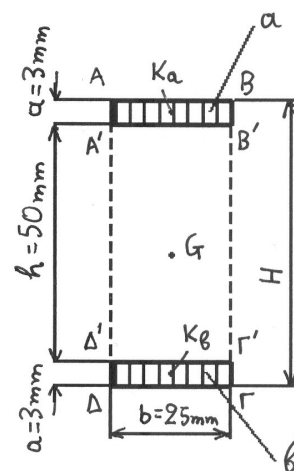
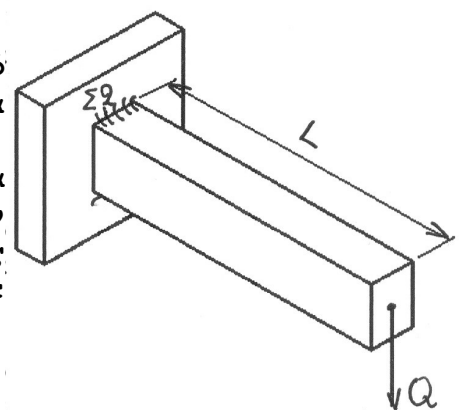
Η ροπή αντίστασης σε κάμψη είναι ίση με

$$W_{ολ} = I_{ολ} / y_{μεγ} = 105.450\text{mm}^4 / 28\text{mm} = 3.766\text{mm}^3$$

Η καμπτική τάση είναι

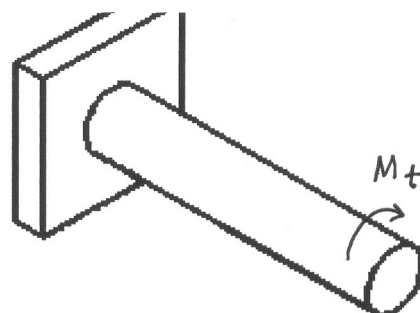
$$\sigma_{bμεγ} = \frac{M_b}{W_{ολ}} = \frac{100.000 \text{ Nmm}}{3.766 \text{ mm}^3} = 26,5 \text{ N/mm}^2$$

Και αυτή η συγκόλληση αντέχει.



Σχήμα: Στοιχεία για τον υπολογισμό των I_x, W_x στο πρόβλ. 3.3.δ

Πρόβλημα 3.4 Να βρεθεί η τάση λόγω στρέψης σε δοκάρι με στρεπτική ροπή $M_t = 100 \text{ Nm}$, αν η διατομή του δοκαριού είναι μία απ' αυτές των παρακάτω σχημάτων. (Στο σχ. 3.4.α φαίνεται η πρώτη περίπτωση, στην οποία η διατομή είναι κυκλική).



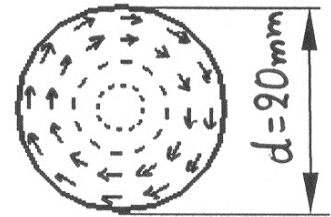
Λύση :

α) Η ροπή αντίστασης σε στρέψη για κυκλική διατομή είναι

$$W_t \approx 0,2 d^3 = 0,2 \times 20^3 \text{mm}^3 = 1.600 \text{mm}^3$$

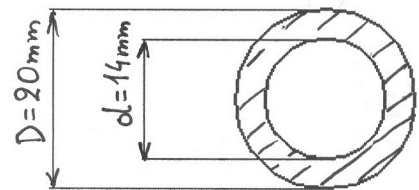
και η τάση λόγω στρέψης είναι

$$\tau_t = \frac{M_t}{W_t} = \frac{100.000 \text{ Nmm}}{1.600 \text{mm}^3} = 62,5 \text{ N/mm}^2$$



Σχήμα 3.4.α

β) Αν η διατομή είναι δακτυλιοειδής όπως στο σχ. 3.4.β, τότε το δοκάρι έχει το μισό βάρος απ' ό,τι το συμπαγές στρογγυλό του σχ. 3.4.α. (Πόσο εμβαδόν έχει το συμπαγές του σχημ. 3.4.α και πόσο το κούφιο του σχημ. 3.4.β;) Η ροπή αντίστασης σε στρέψη είναι



Σχήμα 3.4.β

$$W_t \approx 0,2 \frac{(20^4 - 14^4) \text{mm}^4}{20 \text{mm}} = 1.216 \text{mm}^3$$

(δηλαδή το δοκάρι έχει χάσει μόνο το 25% της αντοχής του, εν σχέσει με το $W_t = 1.600 \text{mm}^3$ του συμπαγούς)

Η τάση λόγω στρέψης είναι

$$\tau_t = \frac{M_t}{W_t} = \frac{100.000 \text{ Nmm}}{1.216 \text{mm}^3} = 82,2 \text{ N/mm}^2$$

Πρόβλημα 3.5 Να ελεγχθεί αν ο στύλος του σχήματος αντέχει σε λυγισμό, σε δύο περιπτώσεις:

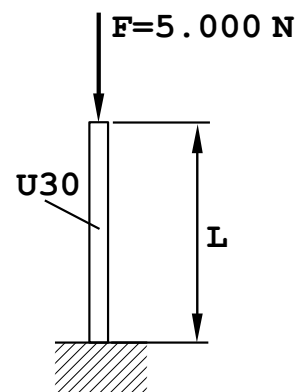
α) όταν $L=400 \text{mm}$, β) όταν $L=800 \text{mm}$.

Το υλικό κατασκευής του δοκαριού είναι χάλυβας St37.

Λύση:

Λόγω του τρόπου στήριξης, το ελεύθερο μήκος λυγισμού είναι $L_x=2L$ (βλ. σχ. 3.5.3, περίπτωση I (πρόβολος))

Άρα $L_x=2L=\dots=800 \text{mm}$ ή 1600mm αντίστοιχα.



Από τον πίνακα τυποποιημένων διαστάσεων των δοκών σχήματος U (πίν. T6 τυπολογίου εργαστηρίου) βλέπουμε ότι η δοκός U30 έχει:

- εμβαδό διατομής $A=5,44 \text{cm}^2=544 \text{mm}^2$
- μικρότερη ακτίνα αδράνειας $i_{\min}=i_y=0,99 \text{cm}=9,9 \text{mm}$

Ο βαθμός λυγηρότητας είναι $\lambda=L_x/i_{\min}=\dots=80$ ή 160 αντίστοιχα.

Το όριο μεταξύ των περιοχών ισχύος των τύπων Euler και Tetmajer είναι $\lambda_e=100$ (βλ. πίν. 3.3).

Η θλιπτική τάση είναι $\sigma = F/A = 5000\text{N} / 544\text{mm}^2 = 9,2 \text{ N/mm}^2$

Στην πρώτη περίπτωση ισχύει $\lambda=80$, άρα $\lambda < \lambda_e=100$, άρα η κρίσιμη τάση λυγισμού πρέπει να υπολογισθεί από τον τύπο του Tetmajer (βλ. τύπο (3-11) και πίν. 3.3 για St37):

$$\sigma_k = (310 - 1,14 \lambda) \text{ N/mm}^2 = (310 - 1,14 \cdot 80) \text{ N/mm}^2 = 218,8 \text{ N/mm}^2$$

Σύμφωνα με τον τύπο (3-12) λαμβάνεται επιθυμητός συντελεστής ασφάλειας σε λυγισμό ίσος με $S_k = 2,0$

Πρέπει να ισχύει (βλ. τύπο (3-13)):

$$\sigma_z < (\sigma_k/S_k) \Rightarrow 9,2 \text{ N/mm}^2 < (218,8 / 2,0) \text{ N/mm}^2 \Rightarrow 9,2 < 109,4$$

Η ανισότητα ισχύει, άρα η δοκός αντέχει σε λυγισμό.

Στη δεύτερη περίπτωση ισχύει $\lambda=160$, άρα $\lambda > \lambda_e=100$, άρα η κρίσιμη τάση λυγισμού πρέπει να υπολογισθεί από τον τύπο του Euler (βλ. τύπο (3-11) και πίν. 3.3 για St37):

$$\sigma_k = \pi^2 E / \lambda^2 = 3,14^2 * 210.000 \text{ N/mm}^2 / 160^2 = 81 \text{ N/mm}^2$$

Σύμφωνα με τον τύπο (3-12) λαμβάνεται επιθυμητός συντελεστής ασφάλειας σε λυγισμό ίσος με $S_k = 6,0$ (στους μεγαλύτερους βαθμούς λυγηρότητας πρέπει να εκλέγεται μεγάλη τιμή του επιθυμητού συντελεστή ασφάλειας)

Πρέπει να ισχύει (βλ. τύπο (3-13)):

$$\sigma_z < (\sigma_k/S_k) \Rightarrow 9,2 \text{ N/mm}^2 < (81 / 6) \text{ N/mm}^2 \Rightarrow 9,2 < 13,5$$

Η ανισότητα ισχύει, άρα και σ' αυτή την περίπτωση η δοκός αντέχει σε λυγισμό.

Κεφ. 5: Συγκολλήσεις

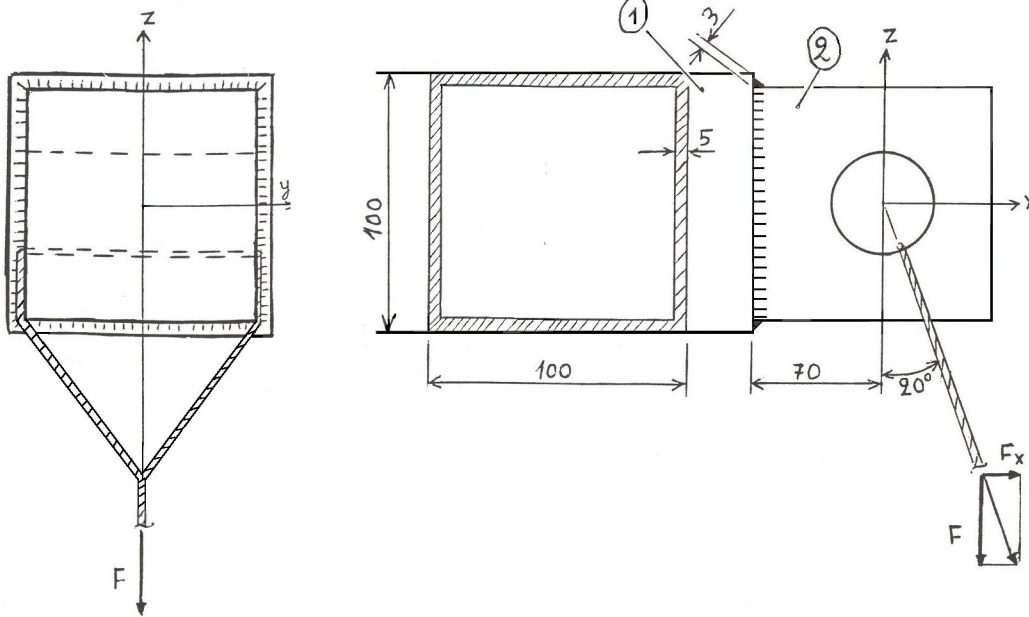
5.2. Το άκρο του βραχίονα ενός τηλεσκοπικού γερανού αποτελείται από την τετράγωνη κοιλοδοκό (1), στο άκρο της οποίας είναι συγκολλημένο το χαλύβδινο τεμάχιο (2) με τρύπα για την τοποθέτηση του συρματοσχοίνου. Το φορτίο του γερανού (κατακόρυφη δύναμη) είναι $F=10.000 \text{ N}$. Μπορεί όμως να εξασκηθεί και η οριζόντια δύναμη F_x , ικανή να εκτρέψει το συρματοσχοίνο κατά γωνία 20° από την κατακόρυφη.

Να αναγνωρισθούν τα είδη φόρτισης της συγκόλλησης. Να υπολογισθούν οι τάσεις για κάθε φόρτιση ξεχωριστά, καθώς και η ισοδύναμη τάση. Να ελεγχθεί αν αντέχει η συγκόλληση.

Υλικό: Χάλυβας St 37. Η τιμή της επιτρεπόμενης τάσης να ληφθεί από τον πίνακα επιτρεπόμενων τάσεων για συγκολλήσεις σιδηροκατασκευών.

Λύση:

Εφόσον γνωρίζουμε τη γωνία εκτροπής, μπορούμε να υπολογίσουμε την οριζόντια δύναμη: $F_x = F \tan 20^\circ = 10.000 \text{ N} * \tan 20^\circ = 3.640 \text{ N}$



Εχουμε τρία είδη φόρτισης:

α) Επειδή η δύναμη F εξασκείται μακριά από τη θέση της συγκόλλησης, δημιουργεί κάμψη με ροπή κάμψης

$$M_{by} = F \cdot 70\text{mm} = 10.000 \text{ N} \cdot 70\text{mm} = 700.000 \text{ Nmm}$$

β) Η οριζόντια δύναμη F_x καταπονεί τη συγκόλληση σε εφελκυσμό. (Αν η εκτροπή του συρματοσχοίνου ήταν προς τα αρνητικά του άξονα x , η καταπόνηση θα ήταν θλίψη. Επειδή όμως η θλίψη είναι λιγότερο επικίνδυνη από τον εφελκυσμό, δεν χρειάζεται να εξετασθεί).

γ) Η δύναμη F καταπονεί επίσης επίσης τη συγκόλληση σε διάτμηση.

Για τον υπολογισμό των τάσεων χρειάζονται και τα γεωμετρικά στοιχεία της συγκόλλησης:

Το συνολικό εμβαδόν είναι:

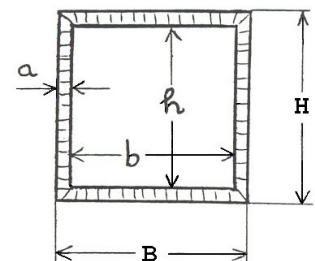
$$A = (96^2 - 90^2)\text{mm}^2 = 1.116 \text{ mm}^2$$

Το εμβαδόν των τοιχωμάτων που παραλαμβάνουν τις διατμητικές τάσεις είναι:

$$A' = 2 \cdot 90\text{mm} \cdot 3\text{mm} = 540 \text{ mm}^2$$

Η ροπή αντίστασης σε κάμψη μπορεί να υπολογισθεί από τύπο του πιν. 3.1 (περίπτωση 6):

$$W = \frac{BH^3 - bh^3}{6H} = \dots = \frac{(96^4 - 90^4)\text{mm}^4}{6 \cdot 96 \text{ mm}} = 33.550\text{mm}^3$$



Γενικά: $H = h + 2\alpha$

$B = b + 2\alpha$

Εδώ ειδικά:

$h = b = 90\text{mm}$, $\alpha = 3\text{mm}$

άρα $H = B = 96\text{mm}$

Επομένως οι τάσεις είναι:

$$\text{Λόγω κάμψης: } \sigma_b = \frac{M_{by}}{W} = \frac{700.000 \text{ Nmm}}{33.550 \text{ mm}^3} = 20,9 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Λόγω εφελκυσμού: } \sigma_z = \frac{F_x}{A} = \frac{3.640 \text{ N}}{1.116 \text{ mm}^2} = 3,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Λόγω διάτμησης: } \tau_\delta = \frac{F}{A'} = \frac{10.000 \text{ N}}{540 \text{ mm}^2} = 18,5 \text{ N/mm}^2$$

Η ισοδύναμη τάση είναι ίση με

$$\sigma_v = \sqrt{(\sigma_b + \sigma_z)^2 + \tau_\delta^2} = \sqrt{(20,9 + 3,3)^2 + 18,5^2} \text{ N/mm}^2 = 30,5 \text{ N/mm}^2$$

Η επιτρεπόμενη τάση θα ληφθεί από τον πίνακα 5.2 του βιβλίου (επιτρεπόμενες τάσεις για συγκολλήσεις σιδηροκατασκευών). Επειδή η συνολική τάση είναι μία ισοδύναμη τάση σ_v , άρα πρέπει να ανατρέξουμε στη γραμμή 5 του πίνακα. Επειδή λήφθηκαν υπόψη τόσο η κύρια δύναμη F όσο και η δευτερεύουσα δύναμη F_x , η φόρτιση χαρακτηρίζεται μορφής ΗΖ. Άρα ισχύει $\sigma_{\text{εν}} = 150 \text{ N/mm}^2$.

Η ισοδύναμη τάση ($\sigma_v = 30,5 \text{ N/mm}^2$) είναι μικρότερη από την επιτρεπόμενη ($\sigma_{\text{εν}} = 150 \text{ N/mm}^2$), άρα η συγκόλληση αντέχει.

5.4 Για τη συγκολλητή τροχαλία του σχήματος να υπολογισθεί πόση τάση αναπτύσσεται στις συγκολλητές ραφές I αν το πάχος όλων των ραφών είναι 5mm και μεταβιβάζεται ροπή στρέψης $M_t = 200 \text{ Nm}$ από την πλήμνη στη στεφάνη.

Επίσης να ελεγχθεί αν αντέχουν οι συγκολλήσεις, για τις περιπτώσεις που η φόρτιση είναι α) στατική και β) κυματοειδής.

(Υλικό: St 37. Ποιότητα ραφών: σε οπτικό έλεγχο εμφανίζονται άψογες). Είδος ραφών: κυρτές εξωραφές.

Λύση:

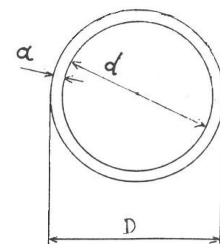
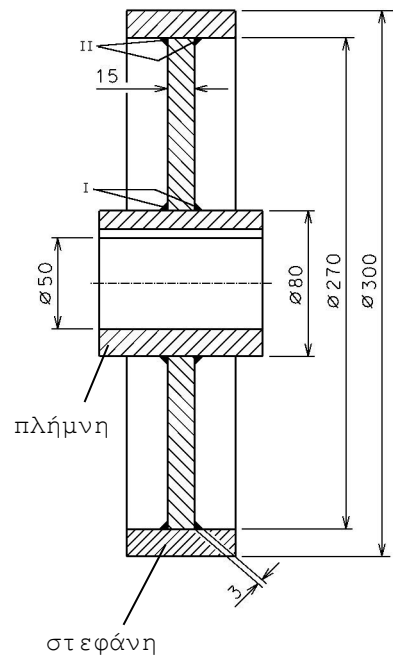
Η τάση λόγω στρέψης σε μια κυκλική ραφή υπο-

$$\text{λογίζεται με τον τύπο: } \tau_t = \frac{M_t}{W_t}$$

$$\text{όπου } W_t = \frac{\pi}{16} * \frac{D^4 - d^4}{D} \approx 0,2 * \frac{D^4 - d^4}{D}$$

Το πάχος α της συγκόλλησης καθορίζεται ανάλογα με το πάχος s των συγκολλούμενων στοιχείων. Στην περίπτωση της συγκολλητής τροχαλίας που εξετάζουμε, οι συγκολλήσεις είναι γωνιακές. Για το πάχος τους πρέπει να ισχύει $\alpha \leq 0,7s$. Επειδή $s = 15 \text{ mm}$, άρα πρέπει

$$\alpha \leq 0,7 * 15 \text{ mm} \Rightarrow \alpha \leq 10,5 \text{ mm}.$$



Σωστά λοιπόν έχει εκλεγεί $\alpha=5\text{mm}$

Για τις ραφές I ισχύει $d=80\text{mm}$, $D=d+2\alpha=80\text{mm}+2*5\text{mm}=90\text{mm}$

$$\text{άρα } W_t = 2 * 0,2 * \frac{D^4 - d^4}{D} = 2 * 0,2 * \frac{(90^4 - 80^4) \text{ mm}^4}{90\text{mm}} = 109.500 \text{ mm}^3$$

(όπου ο συντελεστής 2 χρησιμοποιείται επειδή η στρέψη μοιράζεται σε δύο ραφές).

Επομένως για την τάση ισχύει

$$\tau_t = \frac{M_t}{W_t} = \frac{200.000 \text{ Nmm}}{109.500 \text{ mm}^3} = 1,8 \text{ N/mm}^2$$

Αν η φόρτιση της συγκόλλησης είναι στατική, τότε η επιτρεπόμενη τάση σε στρεπτική φόρτιση υπολογίζεται από τύπο ανάλογο με τον τύπο (5-3) του βιβλίου:

$$\tau_{\text{επ}} = \frac{\nu \tau_{t,0,2}}{1,5}$$

όπου

ν = συντελεστής ποιότητας της συγκόλλησης : για ραφές που σε οπτικό έλεγχο φαίνονται άψογες, λαμβάνεται $\nu = 0,8$

$\tau_{t,0,2}$ = όριο ροής του υλικού όταν η φόρτιση είναι στρέψη: από το σχ. 4.1.γ του βιβλίου για τον χάλυβα St37 λαμβάνεται $\tau_{t,0,2}=17\text{kp/mm}^2 = 170 \text{ N/mm}^2$

$$\text{Άρα: } \tau_{\text{επ}} = \frac{0,8 * 170 \text{ N/mm}^2}{1,5} = 90 \text{ N/mm}^2$$

Παρατηρούμε ότι η πραγματική τάση $\tau_t = 0,9 \text{ N/mm}^2$ είναι πολύ μικρότερη από την επιτρεπόμενη $\tau_{\text{επ}} = 90 \text{ N/mm}^2$, άρα η συγκόλληση αντέχει. (θα άντεχε επίσης και συγκόλληση με μικρότερο πάχος).

Αν η φόρτιση της συγκόλλησης είναι κυματοειδής, τότε η επιτρεπόμενη τάση σε στρεπτική φόρτιση υπολογίζεται από τύπο ανάλογο με τον τύπο (5-5) του βιβλίου:

$$\tau'_{\text{επ}} = \frac{0,9 \nu \nu_3 \tau_D}{2}$$

όπου

$\nu = 0,8$ όπως προηγουμένως

ν_3 = συντελεστής μορφής: από τον πιν. 5.3. Στην κυρτή εξωραφή (όπως είναι η περίπτωση μας) ισχύει $\nu_3 = 0,32$.

τ_D = το όριο δυναμικής αντοχής για κυματοειδή στρέψη: διαβάζεται από το σχ. 4.1.γ του βιβλίου, με τον ίδιο τρόπο που θα διαβαζόταν το όριο σ_{sch} στο σχ. 3.6.α, στην περίπτωση μας ίσο με $\tau_D = 17\text{kp/mm}^2 = 170 \text{ N/mm}^2$

$$\tau'_{\text{επ}} = \frac{0,9 * 0,8 * 0,32 * 170 \text{ N/mm}^2}{2} = 19,5 \text{ N/mm}^2$$

Παρατηρούμε ότι η πραγματική τάση $\tau_t = 0,9 \text{ N/mm}^2$ είναι και σ' αυτή την περίπτωση πολύ μικρότερη από την επιτρεπόμενη $\tau'_{\text{επ}} = 19,5 \text{ N/mm}^2$, άρα η συγκόλληση αντέχει.

5.5 Να υπολογισθεί το αναγκαίο πάχος τοιχώματος ενός ατμολέβητα που πρέπει να αντέχει σε εσωτερική υπερπίεση $p = 6 \text{ bar}$ με συντελεστή ασφάλειας $S = 1,5$. Διάμετρος λέβητα $D_a = 1,5 \text{ m}$ (εξωτερική), θερμοκρασία λειτουργίας $\theta = 160^\circ\text{C}$. Υλικό: χάλυβας για λέβητες, τύπου ΗΙ.

Λύση:

Από τον πιν. 4.2 λαμβάνεται ως όριο ροής του υλικού στη θερμοκρασία λειτουργίας το $K = 18 \text{ Kp/mm}^2 = 180 \text{ N/mm}^2$. (Στον πίνακα δεν αναφέρεται αντοχή του υλικού για τους 160°C , γι' αυτό παίρνουμε υπόψη την αντοχή του υλικού σε 200°C . Η απόκλιση είναι προς την ασφαλή πλευρά, γιατί όσο ψηλότερη είναι η θερμοκρασία τόσο μικρότερη είναι η αντοχή).

Για τον συντελεστή ποιότητας εκλέγεται $\nu = 0,8$.

Το πάχος τοιχώματος πρέπει να είναι:

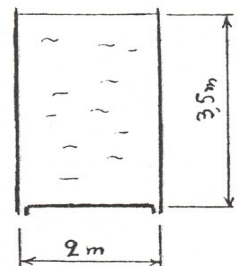
$$s = \frac{D_a * p}{K \nu} + c = \frac{1500 \text{ mm} * 6 \text{ bar}}{10 \frac{\text{bar}}{\text{N/mm}^2} * 2 \frac{\text{Kp}}{\text{N/mm}^2} + p} + c = \frac{1500 \text{ mm} * 6 \text{ bar}}{10 \frac{\text{bar}}{\text{N/mm}^2} * 2 \frac{170 \text{ N/mm}^2}{9000} * 0,8 + 6 \text{ bar}} + c =$$

$$= \frac{1813}{1813 + 6} \text{ mm} + c = 4,9 \text{ mm} + 1 \text{ mm} = 5,9 \text{ mm}$$

(Επειδή το πάχος προέκυψε μικρότερο από 30 mm , άρα η προσαύξηση του πάχους για να αντιμετωπισθεί η οξειδωση λαμβάνεται $c = 1 \text{ mm}$).

Τελικά λοιπόν εκλέγεται για το τοίχωμα του λέβητα το τυποποιημένο πάχος $s = 6 \text{ mm}$.

5.6 Το δοχείο του σχήματος προορίζεται για την αποθήκευση στερεού σε μορφή κόκκων με φαινόμενη πυκνότητα 1000 Kg/m^3 . Πρόκειται να κατασκευασθεί από ελάσματα πάχους $s = 2 \text{ mm}$. Ο πυθμένας είναι τετράγωνος και θα συνδεθεί με τα τοιχώματα με ηλεκτροποντάρισμα. Να υπολογισθούν τα κατασκευαστικά στοιχεία της σύνδεσης (διάμετρος σημείων - αριθμός σημείων συγκόλλησης - οι θέσεις τους κατά μήκος της ραφής) ώστε να αντέχει στο βάρος του περιεχόμενου υλικού. (Υλικό τοιχωμάτων St 37).



Λύση:

Η σύνδεση πρέπει να αντέχει στο βάρος του υλικού που περιέχεται στο δοχείο. Το βάρος αυτό είναι ίσο με

$$F_{ολ} = g \rho V$$

όπου g =επιτάχυνση βαρύτητας, ρ =πυκνότητα, και V =όγκος του δοχείου
 Ισχύει $V = 2m * 2m * 3,5m = 14 m^3$,
 άρα το φορτίο της σύνδεσης είναι

$$F = g \rho V = 9,81 m/s^2 * 1.000 kg/m^3 * 14 m^3 = 140.000 N$$

Σύμφωνα με τον πίν. 5.5 του βιβλίου, για ελάσματα πάχους $s = 2mm$ η διάμετρος των σημείων συγκόλλησης πρέπει να είναι $d = 6mm$.
 Από τον πιν. 5.6 λαμβάνονται οι επιτρεπόμενες τάσεις:

$$\tau_{επ} = 100 N/mm^2 \quad (\text{για διάτμηση})$$

$$\sigma_{επ} = 290 N/mm^2 \quad (\text{για σύνθλιψη})$$

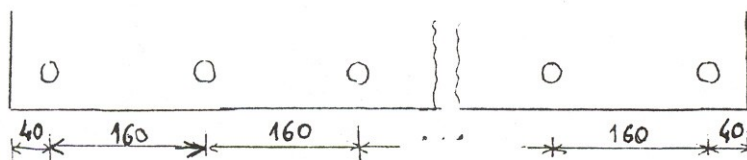
(Δεν υπάρχει δυνατότητα λυγισμού - υλικό St 37 - φόρτιση Η - συγκόλληση απλής τομής)

Το φορτίο που μπορεί να κρατήσει κάθε σημείο συγκόλλησης είναι (αντοχή σε διάτμηση και σύνθλιψη αντίστοιχα):

$$f_{διστ} = \tau_{w,επ} * (\pi/4) d^2 = 100 N/mm^2 * (\pi/4) * 6^2 mm^2 = 2.830 N$$

$$f_{συνθ} = \sigma_{επ} * s * d = 290 N/mm^2 * 2mm * 6mm = 3.480 N$$

Με τη μικρότερη από τις δύο παραπάνω τιμές υπολογίζουμε τον αναγκαίο αριθμό σημείων: $n = F / f_{διστ} = 140.000 N / 2.830 N = 49$
 Μπορούμε να τοποθετήσουμε 52 σημεία συγκόλλησης, από 13 σε κάθε πλευρά του τετράγωνου πυθμένα, όπως στο σχήμα (απόσταση σημείων μεταξύ τους 160mm, απόσταση από τα άκρα 40mm).



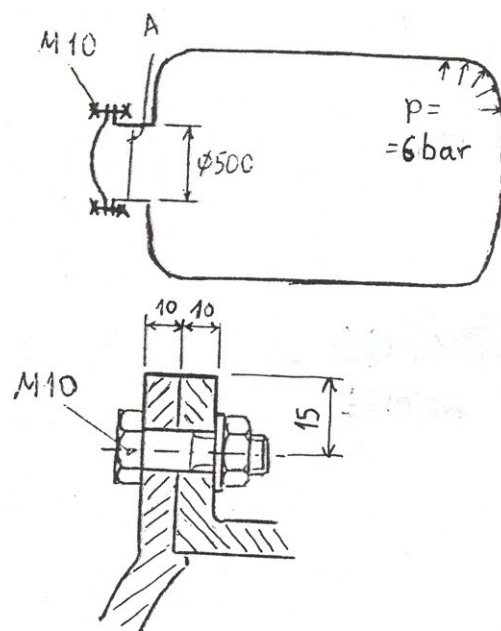
$$12 \cdot 160_{mm} + 2 \cdot 40_{mm} = 2000_{mm}$$

Κεφ. 6: Κοχλίες

6.1 Σ' ένα δοχείο πίεσης που λειτουργεί με υπερπίεση 6 bar υπάρχει κυκλική θυρίδα επιθεωρήσεως, διαμέτρου 500mm, της οποίας το καπάκι στερεώνεται με 15 κοχλίες M10.

1. Να υπολογισθεί η αναγκαία ροπή σύσφιξης των κοχλιών.

2. Εάν η πίεση κυμαίνεται περιοδικά από 6 bar σε 5 bar, να ελεγχθεί η δυναμική αντοχή των κοχλιών.



(Υλικό κοχλιών: 8.8. Υλικό σωμάτων St37. Προένταση με ροπόκλειδο).

Λύση:

6.1.1 Εισαγωγικά

Η συνολική δύναμη που φορτίζει την κοχλιοσύνδεση είναι

$$F_{ολ} = p * A$$

όπου $p = 6 \text{ bar} = 6 * 10\text{N/cm}^2$ είναι η πίεση που ενεργεί στην εσωτερική επιφάνεια του καπακιού της θυρίδας, και $A = (\pi/4) * D^2 = (\pi/4) * 50^2\text{cm}^2$ είναι το εμβαδό της προβολής του καπακιού.

Άρα η συνολική δύναμη είναι

$$F_{ολ} = p * A = 6 * 10\text{N/cm}^2 * (\pi/4) * 50^2\text{cm}^2 = 117.800 \text{ N.}$$

Από το βιβλίο λαμβάνονται τα παρακάτω μεγέθη:

- Από τον πιν. 6.4 εκλέγεται η δεύτερη περίπτωση προέντασης, για την οποία ισχύει ο συντελεστής προέντασης $\alpha_n = 1,25$.
- Από τον πιν. 6.5 παίρνουμε τον συντελεστή τριβής: $\mu=0,1$ (με ελαφρά λίπανση του κοχλία - δεχόμαστε τη μικρότερη τιμή που δίνει ο πίνακας γι' αυτή την περίπτωση, σύμφωνα με την οδηγία στον τύπο (6-18)).
- Από τους πιν. 6.8, 6.10, 6.11 λαμβάνονται τα γεωμετρικά και βοηθητικά μεγέθη (για κοχλία M10): $d_2=9,026\text{mm}$, $A_s=58\text{mm}^2$, $A_k=52,3\text{mm}^2$, $d/R=46$, $A_p=96,1\text{mm}^2$,
- Από τον πιν. 6.7 λαμβάνεται η επιτρεπόμενη πίεση κάτω από το κεφάλι του κοχλία: $p_{επ} = 260 \text{ N/mm}^2$, για υλικό σωμάτων St37.
- Στο παράδειγμα 6.1 περιπτ. 1 (παραγ. 6.4.3.1) υπολογίσθηκε η παραμορφωσιμότητα των σωμάτων ($\delta_F = 0,43 * 10^{-3} \mu\text{m/N}$) και ο συντελεστής αναλογίας δυνάμεων ($\Phi = 0,14$), για κοχλιοσύνδεση ακριβώς ίδια με αυτήν του προβλήματός μας.
- Η ψυχρή καθίζηση λαμβάνεται $f_z = 6 \mu\text{m}$ (αυτή είναι η τιμή που κατά μέσο όρο ισχύει για την ψυχρή καθίζηση).
- όριο ροής για υλικό κοχλιών 8.8: $\sigma_s = 640 \text{ N/mm}^2$ (πιν. 6.2 βιβλίου).
- όριο δυναμικής αντοχής: $\sigma_A = 95 \text{ N/mm}^2$ (σχ. 6.19 για υλικό 8.8 και λεπτότητα σπειρώματος $d/R=46$).

6.1.2 Υπολογισμός ελέγχου:

Με αριθμό κοχλιών $z=15$ προκύπτει για τις διάφορες δυνάμεις:

Εξωτ. αξονική δύναμη: $F = F_{ολ} / z = 117.800 \text{ N} / 15 = 7850 \text{ N}$

Η διατμητική δύναμη που φορτίζει τους κοχλίες είναι μηδέν:

$$F_s = 0$$

Απώλεια προέντασης λόγω ψυχρής καθίζησης:

$$F_z = f_z \frac{\Phi}{\delta_F} = 6\mu\text{m} \frac{0,14}{0,43 * 10^{-3} \mu\text{m/N}} = \frac{6 * 0,14}{0,43} * 1000 \text{ N} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_z = 1953 \text{ N}$$

Για την απομένουσα συμπίεση, σύμφωνα με τους τύπους (6-21) έως (6-23), με $\lambda=1,0$ και με δεδομένο ότι στην εκφώνηση δεν προδιαγράφεται κάποια δύναμη στεγανοποίησης, παίρνουμε:

$$\frac{F_{\delta}}{\mu} - 1,1 = 0$$

$$F_{\kappa, \alpha\pi} = \max \lambda F = 1,0 * 7850 \text{ N} = 7850 \text{ N}$$

$$F_{\sigma\tau\epsilon\gamma} = -$$

Άρα $F_{\kappa, \alpha\pi} = 7850 \text{ N}$

Δύναμη διαφοράς: $\Delta F = 0,5 * 0,14 * 7850 \text{ N} = 550 \text{ N}$
(άρα $F - \Delta F = (1 - n\phi)F = 7850 \text{ N} - 550 \text{ N} = 7300 \text{ N}$)

Απαιτούμενη προένταση: $F_v = \alpha_{\pi} (F_{\kappa, \alpha\pi} + F_z + F - \Delta F) =$
 $= 1,25 (7850 + 1953 + 7300) \text{ N} = 21.380 \text{ N}$

Για να αντέχει ο κορμός του κοχλίου σε πλαστική παραμόρφωση, πρέπει:

$$\sigma_v \leq 0,9 \sigma_s$$

όπου $\sigma_v = (F_v / A_s) * \sqrt{(1+\nu)^2 + \Lambda}$

με $\nu = \Delta F / F_v = 550 / 21380 = 0,025$

και $\Lambda = 0,393$ (βλ πιν 6.11 για κοχλίου M8 με συντελ. τριβής $\mu=0,1$)

Άρα $\sigma_v = (21.380 \text{ N} / 58 \text{ mm}^2) * \sqrt{1,025^2 + 0,393} = 442 \text{ N/mm}^2$

Το δεξιό μέλος της ανισότητας ισούται με

$$0,9 \sigma_s = 0,9 * 640 \text{ N/mm}^2 = 576 \text{ N/mm}^2$$

Επομένως η ανισότητα ισχύει, και ο κορμός του κοχλίου αντέχει σε πλαστική παραμόρφωση.

Για να αντέχουν οι κοχλίες σε δυναμική φόρτιση πρέπει:

$$\frac{n \phi (F_2 - F_1)}{2 A_{\kappa}} < 0,7 k_1 k_2 \sigma_A$$

Στην περίπτωση μας $k_1=k_2=1,0$ (συντελεστές ενίσχυσης ίσοι με τη μονάδα. Αυτή είναι η συνηθισμένη περίπτωση, που ισχύει και εδώ εφόσον η εκφώνηση δεν ορίζει κάτι διαφορετικό).

Η δύναμη F_2 είναι η ίδια με την F : είναι δηλαδή η εξωτερική αξονική δύναμη που δημιουργείται από εσωτερική υπερπίεση 6 bar. Η δύναμη F_1 είναι η αντίστοιχη δύναμη όταν η εσωτερική υπερπίεση είναι 5 bar. Άρα η μεταβολή της δύναμης $(F_2 - F_1)$ αντιστοιχεί σε μεταβολή της πίεσης κατά 1 bar, όσο το 1/6 της F . Επομένως

$$n \phi (F_2 - F_1) = (1/6) \Delta F = (1/6) * 550 \text{ N} = 91,7 \text{ N}$$

Το αριστερό μέλος της ανισότητας είναι ίσο με

$$\frac{91,7 \text{ N}}{2 * 52,3 \text{ mm}^2} = 0,9 \text{ N/mm}^2$$

ενώ το δεξιό είναι $0,7 k_1 k_2 \sigma_A = 0,7 * 1,0 * 1,0 * 95 \text{ N/mm}^2 = 66,5 \text{ N/mm}^2$ και συνεπώς η ανισότητα ισχύει και οι κοχλίες αντέχουν σε δυναμική φόρτιση.

Για να αντέχει το υλικό σε επιφανειακή πίεση κάτω από το κεφάλι πρέπει

$$\frac{F_v + \Delta F}{A_p} \leq p_{\epsilon\pi}$$

Παρατηρούμε ότι $(F_v + \Delta F) / A_p = (21.380 + 550) \text{ N} / 96 \text{ mm}^2 = 228 \text{ N/mm}^2$
 ενώ $p_{\text{επ}} = 260 \text{ N/mm}^2$
 άρα το υλικό κάτω από το κεφάλι αντέχει στην επιφανειακή πίεση.

Η απαιτούμενη ροπή σύσφιξης είναι:

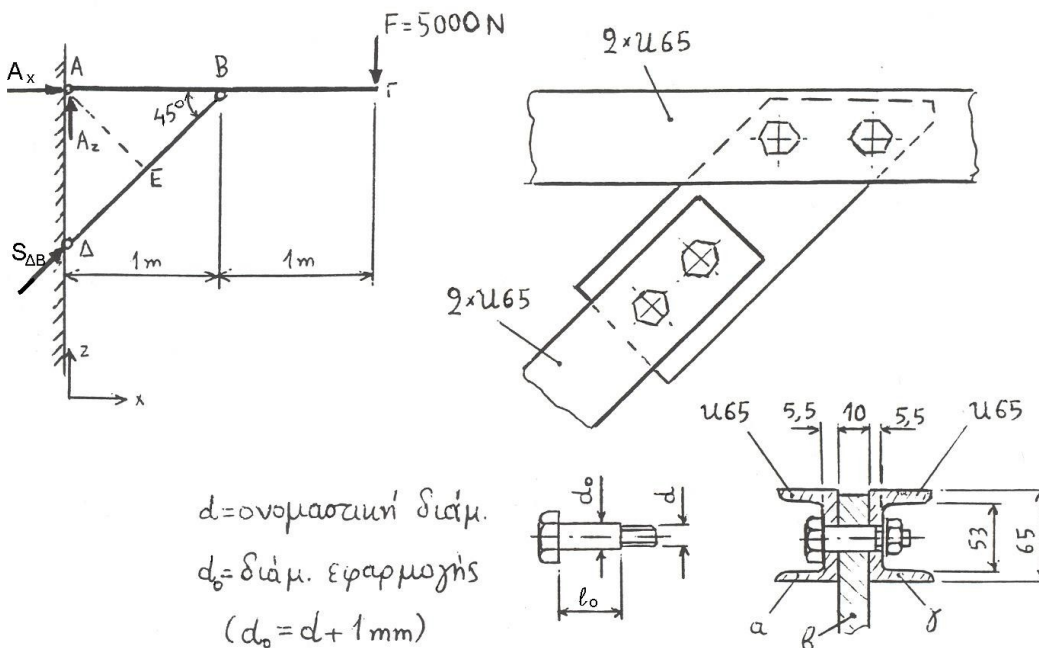
$$M_{\text{αν}} = 0,2 F_v d_2 = 0,2 * 21.380 \text{ N} * 9,026 \text{ mm} = 38.600 \text{ Nmm}$$

(Ο τύπος είναι προσεγγιστικός. Το αποτέλεσμα είναι σχεδόν ίδιο μ' εκείνο του τύπου (6-1)).

6.2 Η σύνδεση στον κόμβο Β της κατασκευής επιτυγχάνεται με εφαρμοστούς κοχλίες όπως δείχνει το σχήμα. Να προσδιορισθεί η κατάλληλη διάμετρος των κοχλίων.

(Υλικό κοχλίων: 4.6. Υλικό ράβδων: St 37.

Μέγεθος κοχλίων: τουλάχιστον M6. Μήκος λείου κορμού: $l_0 = 20 \text{ mm}$)



Λύση:

Η κοχλιοσύνδεση καταπονείται σε διάτμηση από τη δύναμη $S_{\Delta B}$, η οποία υπολογίζεται από την εξίσωση "Άθροισμα των ροπών ως προς Α = μηδέν":

$$F \text{ (ΑΓ)} - S_{\Delta B} \text{ (ΑΕ)} = 0 \Rightarrow S_{\Delta B} = F \frac{\text{(ΑΓ)}}{\text{(ΑΕ)}} = 5000 \text{ N} * \frac{2 \text{ m}}{0,707 \text{ m}} = 14.100 \text{ N}$$

(Σημ: $(\text{ΑΕ}) = (\text{ΑΒ}) \sin 45^\circ = 0,707 \text{ m}$)

Η διατμητική δύναμη σε κάθε κοχλία ξεχωριστά είναι $F_8 = S_{\Delta B} / 2 = 7.050 \text{ N}$

$$A_K > \frac{F_v}{\sigma_{\varepsilon\pi}} = \frac{23.600 \text{ N}}{100 \text{ N/mm}^2} = 236 \text{ mm}^2$$

Από τον πιν. 6.14 διαλέγουμε τον κοχλία Tr24x5 (με τραπεζοειδές σπείρωμα, ονομαστική διάμετρο $d=24\text{mm}$ και βήμα $P=5\text{mm}$). Τα υπόλοιπα στοιχεία του είναι $A_K = 269 \text{ mm}^2$, $d_2=21,5\text{mm}$, $d_3=18,5\text{mm}$, $\beta_1=15^\circ$.

-Εξωτερική διάμετρος αξονικού εδράνου:

Πρέπει να ισχύει $F_v/A < p_{\varepsilon\pi}'$

όπου A είναι η επιφάνεια του εδράνου, για την οποία ισχύει

$$A = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$$

και $p_{\varepsilon\pi}'$ είναι η επιτρεπόμενη πίεση στο έδρανο, για την οποία θα δεχθούμε την τιμή $p_{\varepsilon\pi}' = 50 \text{ N/mm}^2$.

Επομένως πρέπει

$$\frac{F_v}{A} < p_{\varepsilon\pi}' \Rightarrow A > \frac{F_v}{p_{\varepsilon\pi}'} \Rightarrow \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) > \frac{F_v}{p_{\varepsilon\pi}'} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow D > \sqrt{\frac{4 F_v}{\pi p_{\varepsilon\pi}'} + d^2} = \sqrt{\frac{4 * 23600 \text{ N}}{\pi * 50 \text{ N/mm}^2} + 24^2 \text{ mm}^2} = 34,3 \text{ mm} \rightarrow 35 \text{ mm}$$

(Επειδή ο κοχλίας έχει διάμετρο 24mm , πρέπει η εσωτερική διάμετρος του εδράνου να είναι επίσης $d=24\text{mm}$).

Εκλέγεται λοιπόν έδρανο με εσωτερική διάμετρο $d=24\text{mm}$ και εξωτερική $D=35\text{mm}$.

-Ροπή στον κοχλία, δύναμη στο χερούλι:

Η ροπή λόγω αντιστάσεων στο σπείρωμα είναι ίση με

$$M_{\sigma\pi} \approx F_v \frac{d_2}{2} \left(\frac{P}{\pi d_2} + \frac{\mu}{\cos(\beta_1)} \right) = 23600 \text{ N} * \frac{21,5 \text{ mm}}{2} \left(\frac{5 \text{ mm}}{\pi 21,5 \text{ mm}} + \frac{0,12}{\cos(15^\circ)} \right) \approx 50.300 \text{ Nmm}$$

Η ροπή λόγω τριβής στο κεφάλι του κοχλίας είναι ίση με

$$M_{\text{κεφ}} = F_v \frac{d_A}{2} \mu$$

όπου $d_A = (D+d)/2 = (35+24)\text{mm}/2 = 29,5\text{mm}$

Άρα

$$M_{\text{κεφ}} = 23.600 \text{ N} \frac{29,5 \text{ mm}}{2} 0,12 \approx 41.800 \text{ Nmm}$$

Η συνολική ροπή είναι

$$M_{\text{αν}} = M_{\sigma\pi} + M_{\text{κεφ}} = 50.300 \text{ Nmm} + 41.800 \text{ Nmm} = 92.100 \text{ Nmm}$$

και γι' αυτήν πρέπει ακόμη να ισχύει

$$M_{\text{αν}} = F_\chi L_\chi$$

Άρα

$$F_\chi = M_{\text{αν}} / L_\chi = 92.100 \text{ Nmm} / 200 \text{ mm} = 460,5 \text{ N}$$

Η δύναμη αυτή είναι πολύ μεγάλη. Για να την μειώσουμε μπορούμε εί-

τε να αυξήσουμε το μήκος του μοχλού L_x είτε να βελτιώσουμε τη λίπανση ώστε να ισχύει μικρότερος συντελεστής τριβής (π.χ. $\mu=0,08$).

-Αντοχή του κορμού του κοχλίου στις φορτίσεις:

Πρέπει να βρούμε την ακριβή τιμή της πραγματικής τάσης και να την συγκρίνουμε με την επιτρεπόμενη.

Η πραγματική τάση (ισοδύναμη) ισούται με $\sqrt{\sigma_v = \sigma_z^2 + 3\tau_t^2}$, όπου σ_z είναι η εφελκυστική τάση, ίση με

$$\sigma_z = \frac{F}{A_k} = \frac{23.600 \text{ N}}{269 \text{ mm}^2} = 88 \text{ N/mm}^2$$

ενώ τ_t είναι η στρεπτική τάση, ίση με

$$\tau_t = \frac{M_t}{0,2d_3^3} = \frac{50.300 \text{ Nmm}}{0,2 * 18,5^3 \text{ mm}^3} = 39,7 \text{ N/mm}^2$$

(Σ' αυτόν τον κοχλίο ισχύει $M_t = M_{\sigma\pi} = 50.300 \text{ Nmm}$. Σε άλλες περιπτώσεις η στρεπτική ροπή M_t υπολογίζεται με άλλη σχέση.)

Επομένως η ισοδύναμη τάση είναι

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_z^2 + 3\tau_t^2} = \sqrt{88^2 + 3 * 39,7^2} \text{ N/mm}^2 = 112 \text{ N/mm}^2$$

Η επιτρεπόμενη τάση, όπως ήδη αναφέρθηκε, είναι $\sigma_{\sigma\pi} = 100 \text{ N/mm}^2$

Αρα ο κορμός του κοχλίου δεν αντέχει στις φορτίσεις, αφού $\sigma_v > \sigma_{\sigma\pi}$. Θα έπρεπε λοιπόν να είχε εκλεγεί κοχλίας μεγέθους Tr28x5. Στα επόμενα όμως οι υπολογισμοί θα συνεχισθούν με τον παραπάνω κοχλίο Tr24x5.

-Αντοχή σε λυγισμό:

Λόγω του τρόπου στήριξης: $L_k = L = 250 \text{ mm}$

(δηλ. το ελεύθερο μήκος λυγισμού L_k ισούται με την απόσταση περικοιλίου-εδράνου).

Η ακτίνα αδράνειας είναι

$$i = d_3/4 = 18,5 \text{ mm}/4 = 4,625 \text{ mm}$$

και ο βαθμός λυγηρότητας είναι

$$\lambda = L_k/i = 250 \text{ mm} / 4,625 \text{ mm} = 54$$

Επειδή ο βαθμός λυγηρότητας $\lambda=54$ είναι μικρότερος από την οριακή τιμή $\lambda_e=96$ (βλ. πίνακα 3.3), άρα η κρίσιμη τάση λυγισμού πρέπει να υπολογισθεί από τον τύπο του Tetmajer (βλ. τύπο (3-11) και πίν. 3.3):

$$\sigma_k = (335 - 0,62 \lambda) \text{ N/mm}^2 = (335 - 0,62 * 54) \text{ N/mm}^2 = 301,5 \text{ N/mm}^2$$

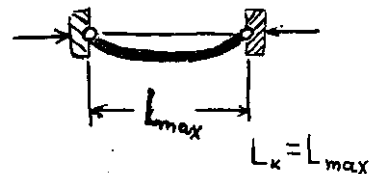
Σύμφωνα με τον τύπο (3-12) λαμβάνεται επιθυμητός συντελεστής ασφάλειας σε λυγισμό ίσος με $S_k = 1,75$

Πρέπει να ισχύει (βλ. τύπο (3-13)):

$$\sigma_z < (\sigma_k/S_k) \Rightarrow 88 \text{ N/mm}^2 < (301,5 / 1,75) \text{ N/mm}^2 \Rightarrow 88 < 172$$

Η ανισότητα ισχύει, άρα ο κοχλίας αντέχει σε λυγισμό.

(Σημ: Ο υπολογισμός σε λυγισμό αναφέρεται στην υποθετική περίπτωση που ο κοχλίας θα ήταν τοποθετημένος σε άλλο μηχάνημα και θα λειτουργούσε με θλιπτικό φορτίο. Στο μηχάνημα του σχήματος το φορτίο είναι πάντοτε εφελκυστικό).



- Υψος περικοχλίου:

Από τον τύπο (6-49) με $p_{επ}=25 \text{ N/mm}^2$, παίρνουμε:

$$\frac{F P}{m (\pi d_2 H_1)} <p_{επ} \Rightarrow m> \frac{F P}{p_{επ} (\pi d_2 H_1)} = \frac{23.600 \text{ N} * 5\text{mm}}{25 \text{ N/mm}^2 (\pi 21,5\text{mm} * 2,5\text{mm})} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m = 28\text{mm}$$

(Εδώ $H_1 = \text{ύψος δοντιού του σπειρώματος} = 2,5\text{mm}$, βλ. πιν. 6.14)

-Βαθμός απόδοσης του κοχλίου:

Ο βαθμός απόδοσης υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο (6-4):

$$\eta = \frac{W_{ωφ}}{W_{κατ}} = \frac{F P}{2\pi M_{αν}} = \frac{23.600 \text{ N} * 5\text{mm}}{2\pi 92.100\text{mm}} = 20\%$$

6.4 Ο κατακόρυφος στύλος του σχήματος, ύψους $h=5\text{m}$ και διαμέτρου $D=200\text{mm}$, δέχεται πίεση ανέμου ίση με $p=1000 \text{ N/m}^2$. Η στήριξη στο έδαφος γίνεται με τέσσερις κοχλίες M10 από υλικό 6.8, που συσφίγγονται με κοινό κλειδί. Να υπολογισθούν οι δυνάμεις που ενεργούν στους κοχλίες.

Λύση:

Η επιφάνεια που προβάλλει στον άνεμο είναι $A = h D = 5\text{m} * 0,2\text{m} = 1\text{m}^2$.

Η δύναμη λόγω του ανέμου είναι

$$F_{ανεμ} = p A = 1.000 \text{ N/m}^2 * 1\text{m}^2 = 1.000 \text{ N}$$

και εξασκείται σε ύψος

$$h/2 = 2,5\text{m} = 2.500\text{mm}.$$

Η ροπή της ανεμοπίεσης ως προς το σημείο O της θεμελίωσης είναι

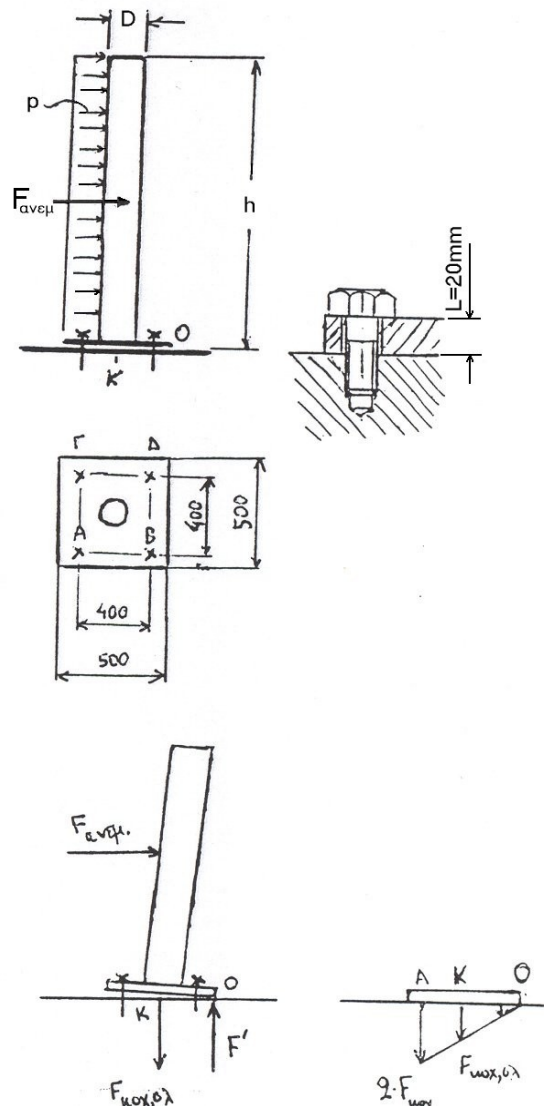
$$M = F_{ανεμ} (h/2) = 1.000 \text{ N} * 2.500\text{mm} = 2,5 * 10^6 \text{ Nmm}.$$

Αυτού του είδους η φόρτιση ονομάζεται καμπτική φόρτιση της κοχλιοσύνδεσης. Το σημείο O ονομάζεται σημείο ανατροπής.

Η ροπή ανατροπής αντισταθμίζεται από ένα ζεύγος δυνάμεων: τη θλιπτική δύναμη F' στο σημείο ανατροπής O και τη συνισταμένη των εξωτερικών αξονικών δυνάμεων των κοχλιών $F_{κοχ,A}$, $F_{κοχ,B}$, $F_{κοχ,Γ}$, $F_{κοχ,Δ}$.

$$\text{Ισχύει: } F_{κοχ,A} = F_{κοχ,Γ}, \quad F_{κοχ,B} = F_{κοχ,Δ}$$

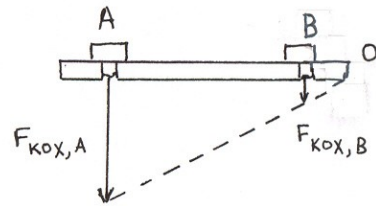
$$\text{και } F_{κοχ,A} / F_{κοχ,B} = (OA) / (OB)$$



οπότε $M = 2 F_{\text{κοχ},A} (OA) + 2 F_{\text{κοχ},B} (OB) \Rightarrow$

$$\Rightarrow F_{\text{κοχ},A} \cong M / (2 (OA)) = 2,5 \cdot 10^6 \text{ Nmm} / (2 * 450\text{mm}) = 2780 \text{ N}$$

(Το $2 F_{\text{κοχ},B} (OB)$ αγνοήθηκε γιατί και το $F_{\text{κοχ},B}$ είναι μικρό εν σχέσει προς το $F_{\text{κοχ},A}$ και το (OB) εν σχέσει προς το (OA)).



Θα δεχθούμε λοιπόν ότι η κοχλιοσύνδεση αντέχει αν ο κάθε κοχλίας μπορεί να αντέξει σε εξωτερική αξονική δύναμη ίση με $F = 2780 \text{ N}$ και σε διατμητική δύναμη

$$F_{\delta} = F_{\text{ανεμ}} / 4 = 1000 \text{ N} / 4 = 250 \text{ N}$$

(η δύναμη του ανέμου μοιράζεται εξίσου στους τέσσερις κοχλίες).

6.5 Το τύμπανο ενός βαρούλκου είναι συνδεδεμένο με τον κινητήριο οδοντοτροχό με $z=12$ κοχλίες. Να βρεθεί η κατάλληλη διάμετρος των κοχλιών ώστε η σύνδεση να αντέχει έναντι ολίσθησης με περιθώριο υπερφόρτισης έως το διπλάσιο του ονομαστικού φορτίου.

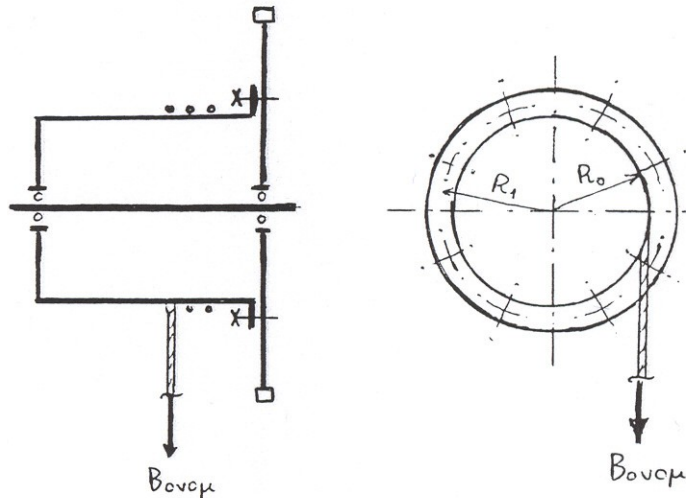
Υλικό κοχλιών: 8.8 ή καλύτερο.

Σύσφιξη με ροπόκλειδο.

Ονομ. φορτίο: $B_{\text{ονομ}} = 24.000 \text{ N}$

Ακτίνα τυμπάνου: $R_0 = 200\text{mm}$

Ακτίνα κύκλου κοχλιών: $R_1 = 250\text{mm}$



Λύση:

6.5.1 Φορτίσεις του κοχλίας:

Εφόσον λαμβάνεται υπόψη και η υπερφόρτιση, το μέγιστο φορτίο του βαρούλκου είναι $B = 2 * 24.000 \text{ N} = 48.000 \text{ N}$.

Επειδή το φορτίο εφαρμόζεται μακριά από τον άξονα περιστροφής, καταπονεί τη σύνδεση σε διάτμηση και στρέψη.

Οι δυνάμεις λόγω διάτμησης είναι όλες ίσες

$$\text{με } F_{\delta}' = B/z = 48.000 \text{ N} / 12 = 4.000 \text{ N}$$

Οι δυνάμεις λόγω στρέψης είναι όλες ίσες με F_{τ}' και ικανοποιούν τη συνθήκη

$$\Sigma (F_{\tau}' R_1) = M_{\tau} \Rightarrow z F_{\tau}' R_1 = B R_0,$$

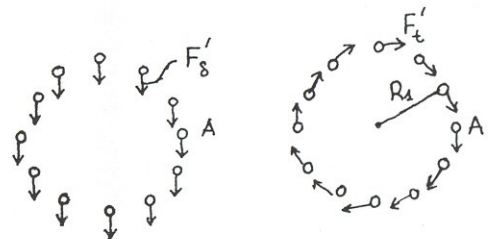
επομένως

$$F_{\tau}' = (B/z) * (R_0/R_1) = (48.000 \text{ N} / 12) * (200\text{mm}/250\text{mm}) = 3.200 \text{ N}$$

Η δυσμενέστερη φόρτιση εμφανίζεται στον κοχλία Α, όπου οι F_{δ}' , F_{τ}' είναι ομόρροπες και η συνισταμένη τους ισούται με το αριθμητικό τους άθροισμα:

$$F_{\delta} = F_{\delta}' + F_{\tau}' = 4.000 \text{ N} + 3.200 \text{ N} = 7.200 \text{ N}$$

Η εξωτερική αξονική δύναμη F είναι μηδέν.



6.5.2 Βοηθητικά μεγέθη για τον υπολογισμό μελέτης:

Συνολική ψυχρή καθίζηση: $f_z = 6\mu\text{m} = 0,006\text{mm}$ (συνηθισμένη μέση τιμή)

Η τάση που αντιστοιχεί σε απώλεια προέντασης είναι κατά προσέγγιση

$$\sigma_z = E \frac{f_z}{\ell_k + 8\text{mm}} = 210 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2 * \frac{0,006 \text{ mm}}{20 \text{ mm} + 8 \text{ mm}} = 45 \text{ N/mm}^2$$

Από τον πίν. 6.4 των σημειώσεων εκλέγεται συντελεστής προέντασης $\alpha_{\pi}=1,25$

Οι τιμές αντοχής (για υλικό κοχλία 8.8) είναι:

$$\sigma_s = 640 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{πιν. 6.2}),$$

$$p_{\text{επ}} = 420 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{πιν. 6.7, για υλικό σωμάτων St50}).$$

6.5.3 Υπολογισμός μελέτης:

Η απαιτούμενη απομένουσα συμπίεση των τεμαχίων (με την υπόθεση ότι ο συντελεστής τριβής είναι $\mu=0,1$) είναι

$$F_{\kappa, \alpha\pi} = (F_0 / \mu) * 1,1 = (7.200 \text{ N} / 0,1) * 1,1 = 79.200 \text{ N}$$

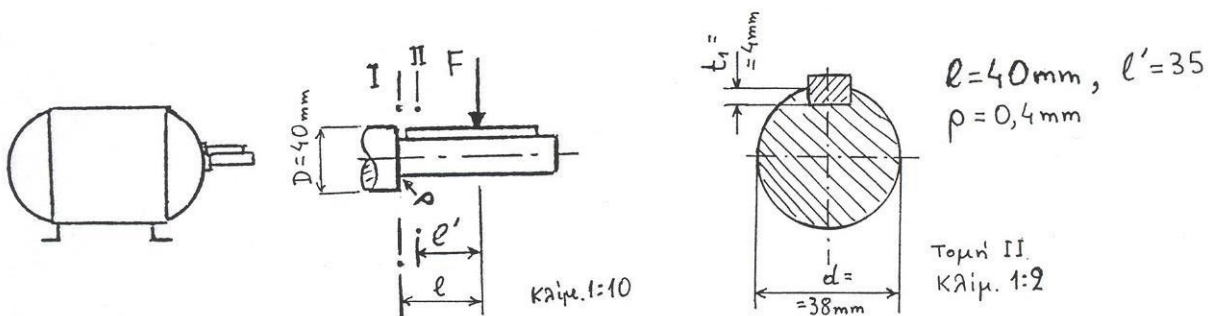
Άρα η διατομή πυρήνα πρέπει να είναι

$$A_{\kappa} \geq \frac{\alpha_{\pi} (F_{\kappa, \alpha\pi} + F)}{0,8 \sigma_s - \alpha_{\pi} \sigma_z} = \frac{1,25 (79.200 \text{ N} + 0)}{(0,8 * 640 - 1,25 * 45) \text{ N/mm}^2} = 217 \text{ mm}^2$$

Επομένως χρειάζονται κοχλίες M20 (βλ. πιν. 6.8 σημειώσεων).

Κεφ. 7: Ατράκτοι

7.1 Ένας κινητήρας αποδίδει ονομαστική ισχύ $N_{ov}=5,5 \text{ kW}$ στην περι-στροφική ταχύτητα $n_{ov}=1450 \text{ Σ/min}$. Η ροπή ανατροπής $M_{t, \alpha\pi}$ ισούται με 2,4 επί την ονομαστική ροπή, η κάθετη δύναμη F επιτρέπεται να είναι έως το πολύ 3.000 N, οι διαστάσεις της ατράκτου είναι όπως στο σχήμα και το υλικό της ατράκτου είναι χάλυβας St60. Να ελεγχθεί η αντοχή της ατράκτου στις θέσεις I και II.



Λύση:

Η ονομαστική στρεπτική ροπή είναι

$$M_{t, \alpha\pi} = \frac{9,55 \text{ Σ/min} \quad \text{N} \quad 9,55 \text{ Σ/min} \quad 5.500 \text{ W}}{1 \text{ rad/s} \quad \text{n} \quad 1 \text{ rad/s} \quad 1450 \text{ Σ/min}} = 36,2 \text{ Nm}$$

Η ροπή ανατροπής είναι

$$M_{t, \alpha\pi} = 2,4 M_{t, \alpha\pi} = 2,4 * 36,2 \text{ Nm} = 86,9 \text{ Nm} = 86.900 \text{ Nmm}$$

Ο έλεγχος αντοχής θα γίνει με βάση τη ροπή ανατροπής, που είναι

πολύ μεγαλύτερη από την ονομαστική. Δεν θα ληφθεί υπόψη συντελεστής κρούσεων, για να μην συμπεριληφθεί και άλλη (μη απαραίτητη) προσαύξηση στο φορτίο της ατράκτου.

Ο έλεγχος αντοχής για τη θέση I είναι ο εξής:

Η ροπή κάμψης στη θέση I είναι

$$M_b = F L = 3.000 \text{ N} * 40\text{mm} = 120.000 \text{ Nmm}$$

Σύμφωνα με τους τύπους που παίρνουμε από τον πίνακα 7.7, οι ροπές αντίστασης σε στρέψη και κάμψη είναι αντίστοιχα:

$$W_t = 0,2 d^3 = 0,2 * 38^3 \text{mm}^3 = 10974 \text{mm}^3$$

$$W_b = 0,1 d^3 = 0,1 * 38^3 \text{mm}^3 = 5487 \text{mm}^3$$

Οι τάσεις λόγω στρέψης και κάμψης (ονομαστικές) είναι αντίστοιχα:

$$\tau_t = M_{t,av} / W_t = 86.900 \text{ Nmm} / 10974 \text{mm}^3 = 7,9 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_b = M_b / W_b = 120.000 \text{ Nmm} / 5487 \text{mm}^3 = 21,9 \text{ N/mm}^2$$

Επειδή η άτρακτος δεν έχει εφελκυσμό ($\sigma_z = 0$), άρα ο συντελεστής σταθερότητας ορθών τάσεων είναι $R_b = 0$.

Θα θεωρηθεί ότι η στρέψη δρα ως κυματοειδής δυναμική φόρτιση, άρα ο συντελεστής σταθερότητας στρεπτικών τάσεων είναι $R_t = 0,5$.

Από το σχήμα 7.5 λαμβάνεται για τον λόγο καταπόνησεως $\alpha_o = 0,7$.

Η παράσταση $\sqrt{3} \alpha_o \tau_t = \sqrt{3} * 0,7 * 7,9 \text{ N/mm}^2 = 9,6 \text{ N/mm}^2$ είναι μικρότερη από την καμπτική τάση ($\sigma = 21,9 \text{ N/mm}^2$), άρα η άτρακτος φορτίζεται κυρίως σε κάμψη.

Η ισοδύναμη τάση είναι

$$\sigma_{vo} = \sqrt{(\sigma_z + \sigma_b)^2 + 3(\alpha_o \tau_t)^2} = \sqrt{(0 + 21,9)^2 + 3 * (0,7 * 7,9)^2} \text{ N/mm}^2 = 23,9 \text{ N/mm}^2$$

και το ημιεύρος της τάσης είναι

$$\sigma_{va} = \sigma_{vo} (1 - R_b) = 23,9 \text{ N/mm}^2 * (1 - 0) = 23,9 \text{ N/mm}^2$$

Η θέση της ατράκτου όπου πρέπει να κάνουμε τον υπολογισμό φέρει διαβάθμιση. Υπολογίζουμε τον συντελεστή μορφής από το σχ. 7.11.β: Με $D/d = 40\text{mm}/38\text{mm} = 1,05$ και $\rho/d = 0,4\text{mm}/38\text{mm} = 0,010$ παίρνουμε $\alpha_{kb} = 2,4$.

Η σχετική πτώση τάσης είναι

$$\chi = \frac{2}{d} + \frac{2}{\rho} = \frac{2}{38 \text{ mm}} + \frac{2}{0,4 \text{ mm}} = 5,05 \text{ mm}^{-1},$$

άρα ο συντελεστής αντιστήριξης είναι $\eta_\chi = 1,4$ (από τον πιν. 7.6, με $\chi = 5 \text{ mm}^{-1}$ και όριο ροής 315 N/mm^2 , όσο το όριο ροής του St60).

Για διάμετρο 38 mm , ο συντελεστής μεγέθους προκύπτει $\beta_o = 1,03$ (από τον πιν. 7.2)

Αν δεχθούμε ότι η τραχύτητα της ατράκτου είναι $6,3 \mu\text{m}$ (όση επιτυγχάνεται με προσεκτική αποπεράτωση τόννευσης, βλ. πιν. 7.3), και επειδή το όριο θραύσεως του St60 είναι 600 N/mm^2 , παίρνουμε από τον πίνακα 7.3 για τον συντελεστή επιφάνειας $\beta_1 = 0,93$.

Από τον πίνακα 7.1 παίρνουμε τις τιμές της αντοχής του υλικού: $\sigma_w = 255 \text{ N/mm}^2$ (αρχική δυναμική αντοχή) και $\sigma_{bs} = 380 \text{ N/mm}^2$ (όριο ροής σε κάμψη). Η τελική δυναμική αντοχή είναι

$$\sigma = \frac{\beta_0 \beta_1 \eta_x \sigma_w}{\alpha_{kb}} = \frac{1,03 * 0,93 * 1,4 * 255 \text{ N/mm}^2}{2,4} = 142 \text{ N/mm}^2$$

Για να αντέχει η άτρακτος σε δυναμική φόρτιση, πρέπει

$$\sigma_{AG} < \frac{\sigma_{AG}}{1,7} \quad \text{δηλαδή} \quad 23,9 \text{ N/mm}^2 < \frac{142 \text{ N/mm}^2}{1,7}$$

πράγμα που επαληθεύεται διότι το δεύτερο μέλος της ανισότητας είναι ίσο με $83,8 \text{ N/mm}^2$.

Για να αντέχει σε στατική φόρτιση, πρέπει

$$\sigma_{vo} < \frac{\sigma_{bs}}{1,3} \quad \text{δηλαδή} \quad 23,9 \text{ N/mm}^2 < \frac{380 \text{ N/mm}^2}{1,3}$$

πράγμα που επίσης επαληθεύεται.

Άρα η άτρακτος αντέχει στη θέση I.

Ο έλεγχος αντοχής για τη θέση II είναι ο εξής:

Η ροπή κάμψης στη θέση II είναι

$$M_b = F L' = 3.000 \text{ N} * 35 \text{ mm} = 105.000 \text{ Nmm}$$

Στη θέση II η άτρακτος έχει σφηναύλακα με σφήνα. Σύμφωνα με τον πίνακα 7.7, υπολογίζουμε πρώτα τα βοηθητικά μεγέθη

$$d - t_1 = 38 \text{ mm} - 4 \text{ mm} = 34 \text{ mm}, \quad d_m = \frac{d + (d - t_1)}{2} = \frac{38 + 34}{2} \text{ mm} = 36 \text{ mm}$$

και με βάση αυτά υπολογίζουμε τις ροπές αντίστασης σε στρέψη και κάμψη αντίστοιχα:

$$W_t = 0,2 (d - t_1)^3 = 0,2 * 34^3 \text{ mm}^3 = 7861 \text{ mm}^3$$

$$W_b = 0,1 d_m^3 = 0,1 * 36^3 \text{ mm}^3 = 4665 \text{ mm}^3$$

Οι τάσεις λόγω στρέψης και κάμψης (ονομαστικές) είναι αντίστοιχα:

$$\tau_t = M_{t,av} / W_t = 86.900 \text{ Nmm} / 7861 \text{ mm}^3 = 11,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_b = M_b / W_b = 120.000 \text{ Nmm} / 4665 \text{ mm}^3 = 25,7 \text{ N/mm}^2$$

Όπως και στη θέση I, ισχύει $R_b=0$, $R_t=0,5$, $\alpha_o=0,7$

Η παράσταση $\sqrt{3} \alpha_o \tau_t = \sqrt{3} * 0,7 * 11,0 \text{ N/mm}^2 = 13,3 \text{ N/mm}^2$ είναι μικρότερη από την καμπτική τάση ($\sigma_b=25,7 \text{ N/mm}^2$), άρα και στη θέση II η άτρακτος φορτίζεται κυρίως σε κάμψη.

Η ισοδύναμη τάση είναι

$$\sigma_{vo} = \sqrt{(\sigma_z + \sigma_b)^2 + 3(\alpha_o \tau_t)^2} = \sqrt{(0 + 25,7)^2 + 3 * (0,7 * 11,0)^2} \text{ N/mm}^2 = 29,0 \text{ N/mm}^2$$

και το ημικριός της τάσης είναι

$$\sigma_{va} = \sigma_{vo} (1 - R_b) = 29,0 \text{ N/mm}^2 * (1 - 0) = 29,0 \text{ N/mm}^2$$

Λόγω του σφηναύλακα, ο συντελεστής μορφής είναι $\alpha_{kb}=4,0$ και η ακτίνα καμπυλότητας στο βάθος του σφηναύλακα πρέπει να ληφθεί ίση

με $\rho=0,25\text{mm}$ (βλ. σχ. 7.13, περίπτωση 5).

Η σχετική πτώση τάσης είναι

$$\chi_b = \frac{2}{d} + \frac{2}{\rho} = \frac{2}{38 \text{ mm}} + \frac{2}{0,25 \text{ mm}} = 8,05 \text{ mm}^{-1},$$

άρα ο συντελεστής αντιστήριξης είναι $\eta_x=1,49$ (από τον πιν. 7.6, με $\chi_b=8 \text{ mm}^{-1}$ και όριο ροής 315 N/mm^2 , όσο το όριο ροής του St60).

Όπως και στη θέση I, ισχύει $\beta_0=1,03$, $\beta_1=0,93$ και $\sigma_w=255 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_{bs}=380 \text{ N/mm}^2$.

Η τελική δυναμική αντοχή είναι

$$\sigma_{AG} = \frac{\beta_0 \beta_1 \eta_x \sigma_w}{\alpha_{kb}} = \frac{1,03 * 0,93 * 1,49 * 255 \text{ N/mm}^2}{4,0} = 91 \text{ N/mm}^2$$

Για να αντέχει η άτρακτος σε δυναμική φόρτιση, πρέπει

$$\sigma_{va} < \frac{\sigma_{AG}}{1,7} \quad \text{δηλαδή} \quad 25,7 \text{ N/mm}^2 < \frac{91 \text{ N/mm}^2}{1,7}$$

πράγμα που επαληθεύεται διότι το δεύτερο μέλος της ανισότητας είναι ίσο με $53,5 \text{ N/mm}^2$.

Για να αντέχει σε στατική φόρτιση, πρέπει

$$\sigma_{vo} < \frac{\sigma_{AG}}{1,3} \quad \text{δηλαδή} \quad 25,7 \text{ N/mm}^2 < \frac{380 \text{ N/mm}^2}{1,3}$$

πράγμα που επίσης επαληθεύεται.

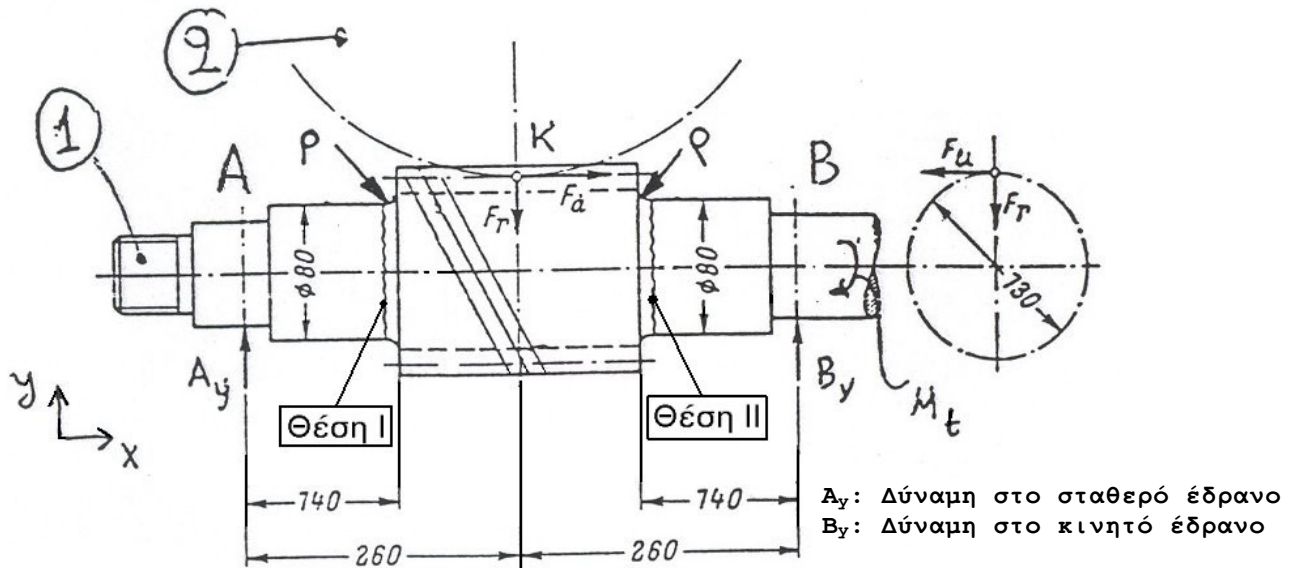
Άρα η άτρακτος αντέχει και στη θέση II.

Άσκηση 7.3

Η άτρακτος του σχήματος είναι η άτρακτος εισόδου της κίνησης σ' έναν μειωτήρα με ατέρμονα κοχλία. Ο ατέρμονας βρίσκεται στη θέση K και έχει μέση διάμετρο $d_{m1}=130\text{mm}$. Η ροπή στρέψης που τον κινεί είναι $M_t=900 \text{ Nmm}$. Αποδεικνύεται ότι ο κινούμενος τροχός εξασκεί στον ατέρμονα τις δυνάμεις: περιφερειακή $F_u=13.850 \text{ N}$, αξονική $F_a = 75.370 \text{ N}$, ακτινική $F_r=27.890 \text{ N}$

Να ελεγχθεί η αντοχή της άτρακτου στη θέση II.

(Υλικό: Χάλυβας St60. Συντ. κρούσεων: $C_s=1,3$. Τραχύτητα επιφάνειας: $R_z=6,3\mu\text{m}$. Ακτίνα καμπυλότητας διαβάθμισης: $\rho=4\text{mm}$.)



Λύση:

Στο επίπεδο $x-y$ οι δυνάμεις στηρίξεως υπολογίζονται ως εξής:

$$\Sigma M_A = 0 \Rightarrow$$

$$F_\alpha \left(\frac{d_{m1}}{2} \right) + F_r \alpha - B_y (\alpha + \beta) = 0 \Rightarrow$$

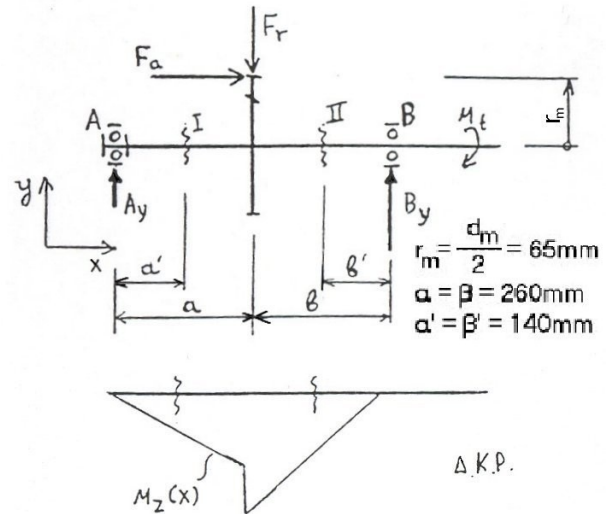
$$B_y = F_\alpha \frac{65}{(\alpha + \beta)} + F_r \frac{260}{(\alpha + \beta)} =$$

$$= 75.370 \text{ N} * \frac{65}{520} + 27.890 \text{ N} * \frac{260}{520}$$

$$= 23.370 \text{ N}$$

$$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow A_y = F_r - B_y =$$

$$= 27.890 \text{ N} - 23.370 \text{ N} = 4.520 \text{ N}$$



Οι ροπές κάμψης στο επιπ. $x-y$ είναι:

- αριστερά του τροχού στο K:

$$M_{\text{επιπ. } x-y \text{ K αρ}} = A_y \alpha = 4.520 \text{ N} * 260\text{mm} = 1.175.200 \text{ Nmm}$$

- δεξιά του τροχού στο K (μέγιστη καμπτική ροπή):

$$M_{\text{επιπ. } x-y \text{ K δεξ}} = B_y \beta = 23.370 \text{ N} * 260\text{mm} = 6.076.200 \text{ Nmm}$$

- στη θέση II (εκεί που ζητείται ο υπολογισμός αντοχής):

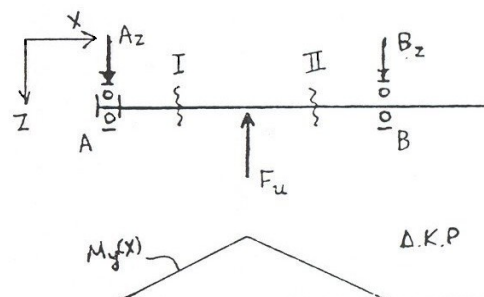
$$M_{\text{επιπ. } x-y \text{ II}} = B_y \beta' = 23.370 \text{ N} * 140\text{mm} = 3.271.800 \text{ Nmm}$$

Στο επίπεδο $x-z$, λόγω συμμετρίας ισχύει:

$$A_z = B_z = F_u / 2 = \dots = 6.925 \text{ N}$$

Οι ροπές κάμψης στο επιπ. $x-z$ είναι

- στη θέση του τροχού στο K (μέγιστη καμπτική ροπή):



$$M_{\text{επιπ x-z K}} = A_z \alpha = 6.925 \text{ N} * 260 \text{ mm} = 1.800.500 \text{ Nmm}$$

- στη θέση II (εκεί που ζητείται ο υπολογισμός αντοχής):

$$M_{\text{επιπ x-z II}} = B_z \beta' = 6.925 \text{ N} * 140 \text{ mm} = 969.500 \text{ Nmm}$$

Η συνολική ροπή κάμψης στη θέση II είναι

$$M_{\text{bII}} = \sqrt{(M_{\text{επιπ x-y II}})^2 + (M_{\text{επιπ x-z II}})^2} = \sqrt{3.271.800^2 + 969.500^2} \text{ Nmm} = 3.412.400 \text{ Nmm}$$

Η θέση II φορτίζεται σε κάμψη και στρέψη. Οι επιμέρους τάσεις (συμπεριλαμβανομένου και του συντελεστή κρούσεων) είναι

$$\sigma_b = C_s \frac{M_{\text{bII}}}{0,1 d^3} = 1,3 * \frac{3.412.400 \text{ Nmm}}{0,1 * 80^3 \text{ mm}^3} = 86,7 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_t = C_s \frac{M_t}{0,2 d^3} = 1,3 * \frac{900.000 \text{ Nmm}}{0,2 * 80^3 \text{ mm}^3} = 11,4 \text{ N/mm}^2$$

Στη θέση II η άτρακτος δεν έχει εφελκυσμό ($\sigma_z=0$). Άρα ισχύει $R_b=0$. Θα υποθέσουμε ότι η στρέψη είναι κυματοειδής, άρα $R_t=0,5$ και $\alpha_o=0,7$. Η παράσταση $\sqrt{3} \alpha_o \tau_t = \sqrt{3} * 0,7 * 11,4 \text{ N/mm}^2 = 13,8 \text{ N/mm}^2$ είναι μικρότερη από την καμπτική τάση ($\sigma_b=86,7 \text{ N/mm}^2$), άρα η άτρακτος φορτίζεται κυρίως σε κάμψη.

Η ισοδύναμη τάση (ανώτερη τιμή) είναι

$$\sigma_{\text{vo}} = \sqrt{\sigma_b^2 + 3(\alpha_o \tau_t)^2} = \sqrt{86,7^2 + 3*(0,7*11,4)^2} \text{ N/mm}^2 = 87,8 \text{ N/mm}^2$$

Το ημιεύρος διακύμανσης της τάσης είναι

$$\sigma_{\text{va}} = \sigma_{\text{vo}} (1-R_b) = 87,8 \text{ N/mm}^2 * (1,0-0,0) = 87,8 \text{ N/mm}^2$$

Από το σχ. 7.8 των σημειώσεων, με $D/d=130\text{mm}/80\text{mm}=1,625$ και $\rho/d=4\text{mm}/80\text{mm}=0,05$, προκύπτει ο συντελεστής μορφής για κάμψη:

$$\alpha_{\text{kb}}=2,1$$

$$\text{Σχετική πτώση τάσης: } \chi_b = \frac{2}{d} + \frac{2}{\rho} = \frac{2}{80\text{mm}} + \frac{2}{4\text{mm}} = 0,525\text{mm}^{-1}$$

- Με βάση το χ_b και το όριο ροής του St 60-2 ($\sigma = 315 \text{ N/mm}^2$), από τον πιν. 7.3 προκύπτει συντελ. αντιστήριξης $\eta_x = 1,1$

- Συντελ. μεγέθους: $\beta_o = 0,94$ (από τον πιν. 7.4, με βάση τη διάμετρο ατράκτου $d=80\text{mm}$)

- Συντελ. επιφάνειας: $\beta_1 = 0,93$ (από τον πιν. 7.5, με βάση το όριο θραύσης του St 60-2 ($\sigma_B=570 \text{ N/mm}^2$) και την τραχύτητα $R_z=6,3\mu\text{m}$)

- Τιμές αντοχής υλικού: $\sigma_w=255 \text{ N/mm}^2$ και $\sigma_{\text{bs}}=380 \text{ N/mm}^2$ (βλ πιν 7.1)

$$\text{Τελική δυν. αντοχή: } \sigma_{\text{AG}} = \frac{\beta_o \beta_1 \eta_x \sigma_w}{\alpha_{\text{kb}}} = \frac{0,94 * 0,93 * 1,1 * 255 \text{ N/mm}^2}{2,1}$$

$$\text{δηλ } \sigma_{\text{AG}} = 116,8 \text{ N/mm}^2$$

Έλεγχος σε δυναμική φόρτιση: πρέπει $\sigma_{\text{va}} < \frac{\sigma_{\text{AG}}}{1,7}$

δηλ. $87,8 \text{ N/mm}^2 < ((116,8 \text{ N/mm}^2)/1,7)$ που δεν επαληθεύεται, διότι το δεξιό μέλος είναι $68,7 \text{ N/mm}^2$. Άρα δεν αντέχει σε δυναμική φόρ-

τιση.

Έλεγχος σε στατική φόρτιση: πρέπει $\sigma_{vo} < \frac{\sigma_{bs}}{1,3}$

δηλ $87,8 \text{ N/mm}^2 < ((380 \text{ N/mm}^2)/1,3)$ που επαληθεύεται, διότι το δεξιό μέλος είναι $292,3 \text{ N/mm}^2$. Άρα αντέχει σε στατική φόρτιση.

Κεφ. 8, 9: Σφήνες - Πολύσφηνα - Σύνδεσμοι

8.1 Ο συμπλέκτης του σχήματος πρέπει να μπορεί να μεταφέρει ροπή $M_t=150 \text{ Nm}$. Ζητούνται:

α) Οι διαστάσεις του σφήνα που συνδέει την κινητήρια άτρακτο (11) με την πλήμνη (10), και ο έλεγχος της αντοχής του.

β) Οι διαστάσεις του πολυσφήνου που συνδέει τον δίσκο (1) με την κινούμενη άτρακτο (12) (να εκλεγεί πολυσφηνό με ορθογώνιους σφήνες ελαφράς σειράς). Επίσης ο έλεγχος της αντοχής του πολυσφήνου.

γ) Εάν πρέπει να ολισθήσει υπό φορτίο ο δίσκος (1) κατά μήκος της άτρακτου (12), πόση αξονική δύναμη απαιτείται; (Να ληφθεί υπόψη μόνο η τριβή στο πολυσφηνό).

δ) Ο σφόνδυλος (2) συνδέεται με την πλήμνη (10) με τους κοχλίες (13).

Εάν χρησιμοποιηθούν κοχλίες συσφίξεως M8 από υλικό 6.8, να προσδιοριστεί η κατάλληλη ροπή συσφίξεως των κοχλιών (σύσφιξη με ροπόκλειδο) και να βρεθεί πόσοι κοχλίες απαιτούνται για τη μεταφορά της ροπής.

ε) Εάν αντί των κοχλιών συσφίξεως του ερωτήματος (δ) χρησιμοποιηθούν κοχλίες εφαρμογής διαμέτρου $\Phi 9/\text{M}8$, από υλικό 8.8, συναρμολογημένοι όπως στο διπλανό σχήμα, πόσοι κοχλίες απαιτούνται;

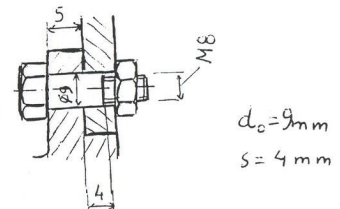
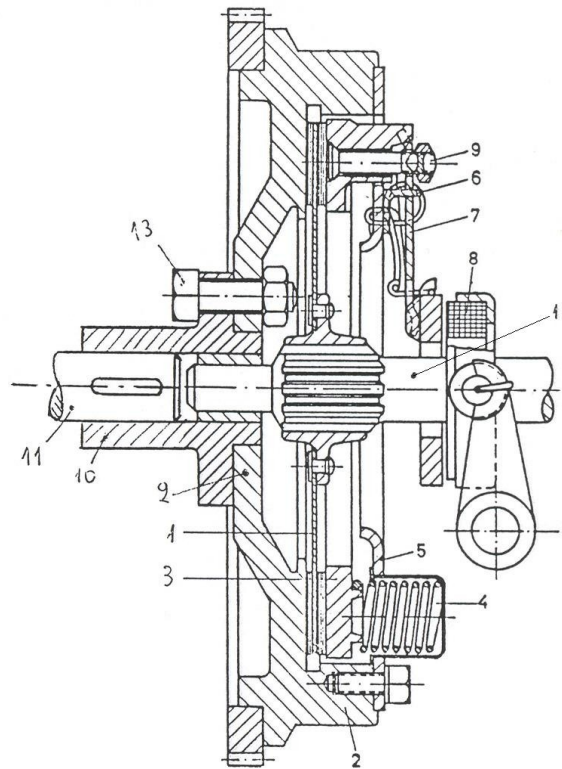
Υλικό ατράκτων (11), (12) και πλήμνης (10): Χάλυβας St 50.

Υλικό σφονδύλου (2): Χάλυβας St 37.

Διάμετρος ατράκτων (11) και (12): κάποια κατάλληλη διάμετρος μεταξύ 27mm και 30mm.

Τα κέντρα των κοχλιών (13) βρίσκονται σε κύκλο διαμέτρου $D_L=50\text{mm}$.

Συντελεστές ελαστικών παραμορφώσεων των κοχλιών (13): $\phi = 0,14$



και $\delta_F = 0,40 \cdot 10^{-3} \text{ } \mu\text{m/N}$

Συντελεστής τριβής $\mu=0,1$. Φόρτιση: κυματοειδής στρέψη.

Λύση:

9.1.α) Σφήνας

Για την κινητήρια άτρακτο (11) εκλέγεται η διάμετρος $d=30\text{mm}$. Από τον πιν. 8.7 του βιβλίου προκύπτει ότι οι εγκάρσιες διαστάσεις του σφήνα πρέπει να είναι $b \times h = 10\text{mm} \times 8\text{mm}$ και οι σφηνάυλακες να έχουν βάθος $t_1=5\text{mm}$ (στην άτρακτο) και $t_2=3,3\text{mm}$ (στην πλήμνη)

Το μήκος του σφήνα υπολογίζεται από τις συστάσεις του πίνακα 8.3. Για την περίπτωση του οδηγού σφήνα και για υλικό πλήμνης χάλυβα λαμβάνεται από τον πίνακα 8.3 ο συντελεστής $\kappa=1,8$, άρα το μήκος του σφήνα λαμβάνεται

$$L' = \kappa d = 1,8 * 30\text{mm} = 54\text{mm}$$

Το ωφέλιμο μήκος του σφήνα θα είναι

$$L_{\omega\phi} = L' - b = (54-10)\text{mm} = 44\text{mm}$$

Από τον πίνακα 8.6, για άβαφο χάλυβα και δυναμική φόρτιση του σφήνα, λαμβάνεται η επιτρεπόμενη πίεση ίση με $p_{επ}=100 \text{ N/mm}^2$.

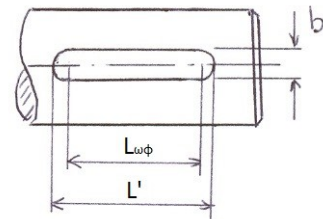
(Αιτιολόγηση: η φόρτιση λαμβάνεται δυναμική επειδή η εκφώνηση ορίζει ότι είναι κυματοειδής)

Για να αντέχει ο σφήνας πρέπει:

$$\frac{2 M_t}{d (h-t_1) L_{\omega\phi}} < p_{επ} \Rightarrow \frac{2 * 150.000 \text{ Nmm}}{30\text{mm} * (8-5)\text{mm} * 44\text{mm}} < 100 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow 75,8 \text{ N/mm}^2 < 100 \text{ N/mm}^2$$

Η ανισότητα ισχύει, άρα ο σφήνας αντέχει.



9.1.β) Πολύσφηνο

Από τον πιν. 8.4 εκλέγεται πολύσφηνο κατά DIN 5462 με εσωτερική διάμετρο $d_1=28\text{mm}$, εξωτερική $d_2=32\text{mm}$, πλάτος σφηνών $b=7\text{mm}$ και $n=6$ σφήνες. Για το πολύσφηνο αυτό, η μέση διάμετρος και το ύψος δοντιού είναι αντίστοιχα:

$$d_m = (d_1 + d_2) / 2 = (28\text{mm} + 32\text{mm}) / 2 = 30\text{mm}$$

$$h = (d_2 - d_1) / 2 = (32\text{mm} - 28\text{mm}) / 2 = 2\text{mm}$$

Το μήκος του πολυσφήνου υπολογίζεται από τις συστάσεις του πίνακα 8.3. Για την περίπτωση του πολυσφήνου κατά DIN 5462 και για υλικό πλήμνης χάλυβα λαμβάνεται από τον πίνακα 8.3 ο συντελεστής $\kappa=0,9$, άρα το μήκος του πολυσφήνου θα είναι

$$L = \kappa d_m = 0,9 * 30\text{mm} = 27\text{mm}$$

Δεχόμαστε ότι το πολύσφηνο θα έχει εσωτερική κέντρωση, άρα ο συντελεστής κατανομής φορτίου θα είναι $\kappa=0,75$.

Η επιτρεπόμενη πίεση λαμβάνεται $p_{επ}=100 \text{ N/mm}^2$, όση ίσχυε και για τον σφήνα, και με την ίδια αιτιολόγηση.

Για να αντέχει το πολύσφηνο πρέπει:

$$\frac{2 M_t}{L d_m h \kappa n} < p_{επ} \Rightarrow \frac{2 * 150.000 \text{ Nmm}}{27\text{mm} * 30\text{mm} * 2\text{mm} * 0,75 * 6} < 100 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow 41,2 \text{ N/mm}^2 < 100 \text{ N/mm}^2$$

Η ανισότητα ισχύει, άρα το πολύσφηνο αντέχει.

9.1.γ) Αξονική δύναμη για ολίσθηση εξαρτημάτων συνδεδεμένων με πολύσφηνο

Η αξονική δύναμη πρέπει να αντισταθμίζει την τριβή στα δόντια του πολυσφηνου. Υπολογίζεται από τον τύπο:

$$F = \mu \frac{2 M_t}{d_m} = 0,1 \frac{2 * 150.000 \text{ Nmm}}{30\text{mm}} = 1.000 \text{ N}$$

9.1.δ) Μετάδοση ροπής μέσω κοχλιών συσφίξεως

Η ροπή M_t φορτίζει τον κάθε κοχλία της σύνδεσης με διατμητική δύναμη ίση με

$$F_\delta = \frac{2 M_t}{z D_L} \quad (\text{βλ τύπο (9-1) βιβλίου)}$$

όπου z είναι ο (ακόμη άγνωστος) αριθμός των κοχλιών και D_L η διάμετρος του κύκλου στον οποίο τοποθετούνται.

Οι κοχλίες της σύνδεσης δεν έχουν εφελκυστική φόρτιση:

$$F = 0, \quad \text{άρα και} \quad \Delta F = 0, \quad F - \Delta F = 0, \quad v = 0$$

Βοηθητικά υπολογίζουμε την απώλεια προέντασης λόγω ψυχρής καθίζησης:

$$F_z = f_z \frac{\Phi}{\delta_F} = 6\mu\text{m} \frac{0,14}{0,40 * 10^{-3} \mu\text{m/N}} = \frac{6 * 0,14}{0,40} * 1000 \text{ N} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_z = 2100 \text{ N}$$

(όπου για την f_z τέθηκε η συνηθισμένη μέση τιμή $f_z = 6\mu\text{m}$)

Άλλα στοιχεία των κοχλιών είναι:

$$A_s = 36,6 \text{ mm}^2 \quad (\text{βλ. πιν. 6.8})$$

$$A_p = 42 \text{ mm}^2 \quad (\text{βλ. πιν. 6.10})$$

$\Lambda = 0,394$ (βλ. πιν. 6.11 για την περίπτωση του κοχλία M8, και με την υπόθεση ότι ο συντελεστής τριβής στο σπείρωμα είναι $\mu = 0,1$)

$\alpha_n = 1,25$ (για σύσφιξη με ροπόκλειδο, βλ. πιν. 6.4)

$\sigma_s = 480 \text{ N/mm}^2$ (όριο ροής του υλικού των κοχλιών, βλ. πιν. 6.2)

$p_{en} = 260 \text{ N/mm}^2$ (επιτρ. πίεση του υλικού του σφονδύλου (St37) που δέχεται πίεση από τους κοχλίες, βλ. πιν. 6.7)

Για να βρούμε τα ζητούμενα, μπορούμε πρώτα απ' όλα να επιλύσουμε ως προς F_v τον έλεγχο αντοχής του κοχλία σε πλαστική παραμόρφωση:

$$\frac{F_v}{A_s} \sqrt{(1+v)^2 + \Lambda} \leq 0,9 \sigma_s \Rightarrow F_v \leq \frac{0,9 \sigma_s A_s}{\sqrt{(1+v)^2 + \Lambda}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_v \leq \frac{0,9 * 480\text{N/mm}^2 * 36,6\text{mm}^2}{\sqrt{(1+0)^2 + 0,394}} = 13.392 \text{ N}$$

Πρέπει να ελεγχθεί αν γι' αυτή την τιμή της δύναμης αντέχει σε πλαστική καθίζηση το υλικό που βρίσκεται κάτω απ' το κεφάλι του κοχλίου. Πρέπει να ισχύει:

$$\frac{F_v + \Delta F}{A_p} \leq p_{\varepsilon\pi} \Rightarrow \frac{(13.392 + 0)\text{N}}{42\text{mm}^2} \leq 260\text{N/mm}^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 319\text{N/mm}^2 \leq 260\text{N/mm}^2$$

Παρατηρούμε ότι η ανισότητα αυτή δεν επαληθεύεται. Πρέπει λοιπόν να χρησιμοποιηθούν κοχλίες με φλαντζωτό κεφάλι κατά DIN 6922, με $A_p=171\text{mm}^2$, για τους οποίους το αριστερό μέλος της παραπάνω ανισότητας θα έχει την αριθμητική τιμή

$$13.392\text{N} / 171\text{mm}^2 = 78,3 \text{ N/mm}^2$$

οπότε η ανισότητα θα επαληθεύεται.

Με τα μέχρι τώρα δεδομένα μπορούμε να λύσουμε τον τύπο (6-26) ως προς $F_{κ, \alpha\pi}$:

$$F_v = \alpha_{\pi} (F_{κ, \alpha\pi} + F_z + (F - \Delta F)) \Rightarrow F_{κ, \alpha\pi} = (F_v / \alpha_{\pi}) - F_z - (F - \Delta F) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_{κ, \alpha\pi} = (13.392 \text{ N} / 1,25) - 2.100 \text{ N} - 0 = 8.613 \text{ N}$$

Κατόπιν μπορούμε να επιλύσουμε τη σχέση $F_{\delta} - F_{κ, \alpha\pi}$ ως προς F_{δ} :

$$F_{κ, \alpha\pi} = \frac{F_{\delta}}{\mu} * 1,1 \Rightarrow F_{\delta} = \frac{\mu F_{κ, \alpha\pi}}{1,1} = \frac{0,1 * 8.613 \text{ N}}{1,1} = 783 \text{ N}$$

Και τέλος, μπορούμε να επιλύσουμε τη σχέση $z - F_{\delta}$ ως προς τον αριθμό των κοχλιών z :

$$F_{\delta} = \frac{2 M_t}{z D_L} \Rightarrow z = \frac{2 M_t}{F_{\delta} D_L} = \frac{2 * 150.000 \text{ Nmm}}{783 \text{ N} * 50\text{mm}} = 7,7$$

Επομένως πρέπει να εκλεγεί αριθμός κοχλιών $z=8$.

Η αναγκαία ροπή συσφίξεως υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο (6-2):

$$M_{\alpha\pi} = 0,2 F_v d_2 = 0,2 * 13.392 \text{ N} * 7,188\text{mm} = 19.252 \text{ Nmm}$$

9.1.ε) Μετάδοση ροπής μέσω κοχλιών εφαρμογής

Η ροπή M_t φορτίζει τον κάθε κοχλίο της σύνδεσης με διατμητική δύναμη ίση με F_{δ} , και ισχύει και εδώ ο τύπος (9-1) του βιβλίου (βλ. αρχή της παραγ. 9.1.δ).

Οι κοχλίες εφαρμογής αντέχουν αν ισχύουν ταυτόχρονα οι τύποι (6-38), (6-39). Εδώ στην αρχή των υπολογισμών μας θα επιλύσουμε και τους δύο τύπους ως προς F_{δ} :

$$\frac{F_{\delta}}{m A} < \tau_{\varepsilon\pi} \Rightarrow F_{\delta} < \tau_{\varepsilon\pi} m A = (0,5 \sigma_s) m \left(\frac{\pi}{4} d_o^2 \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_{\delta} < 0,5 * 480 \text{ N/mm}^2 \left(\frac{\pi}{4} \right) 9^2\text{mm}^2 = 15.260 \text{ N}$$

$$\frac{F_{\delta}}{s \cdot d_o} < \sigma_{\ell, \varepsilon\pi} \Rightarrow F_{\delta} < \sigma_{\ell, \varepsilon\pi} \cdot s \cdot d_o = (0,6 \sigma_B) \cdot s \cdot d_o \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_{\delta} < 0,6 \cdot 370 \text{ N/mm}^2 \cdot 9\text{mm} \cdot 4\text{mm} = 7.992 \text{ N}$$

Στα παραπάνω έγιναν δεκτές οι τιμές:

$\tau_{\varepsilon\pi} = 0,5 \sigma_s$ = επιτρεπόμενη διατμητική τάση σε επαναλαμβανόμενη φόρτιση, $\sigma_s = 480 \text{ N/mm}^2$ = όριο ροής για το υλικό του κοχλίου, το 6.8,

$m = 1$ επειδή ο κοχλίας είναι μονής τομής (βλ. σχ. 6.22)

$A = (\pi/4)d_o^2$ = διατομή του παχύτερου μέρους του κορμού, που φορτίζεται σε διάτμηση,

$\sigma_{L, \varepsilon\pi} = 0,6 \sigma_B$ = επιτρεπόμενη πίεση στα τοιχώματα της οπής, για επαναλαμβανόμενη φόρτιση, $\sigma_B = 370 \text{ N/mm}^2$ = όριο θραύσης του ασθενέστερου από τα υλικά της σύνδεσης, δηλ. του St37

s, d_o : όπως στο σχήμα της εκφώνησης

Ως τιμή του F_{δ} εκλέγεται η μικρότερη από τις δύο οριακές τιμές που βρέθηκαν παραπάνω, και προκύπτει:

$$F_{\delta} < 7.992 \text{ N} \Rightarrow \frac{2 M_t}{z D_L} < 7.992 \text{ N} \Rightarrow z > \frac{2 M_t}{7.992 \text{ N} D_L} =$$

$$= \frac{2 \cdot 150.000 \text{ Nmm}}{7.992 \text{ N} \cdot 50\text{mm}} = 0,75$$

Επομένως θα αρκούσε έστω και ένας κοχλίας εφαρμογής για να μεταφέρει τη ροπή. Επειδή όμως οι κοχλίες εφαρμογής πρέπει να εξασφαλίζουν και την αποτελεσματική αξονική συγκράτηση των εξαρτημάτων, πρέπει να τοποθετηθούν τουλάχιστον $z=3$ κοχλίες (οι οποίοι μπορούν να έχουν μικρότερη διάμετρο).

8.2 Στο σχήμα παριστάνεται το ελεύθερο άκρο της ατράκτου εξόδου (1) από έναν μειωτήρα (3), συναρμολογημένο πάνω σε έναν οδοντοτροχό (2). Η άτρακτος πρέπει να διαβιβάζει στρεπτική ροπή $T=200\text{Nm}$ στον οδοντοτροχό. Μεταξύ ατράκτου (1) και οδοντοτροχού (2) παρεμβάλλεται ο σφήνας (3).

Αν η άτρακτος έχει διάμετρο $d=40\text{mm}$, να βρεθούν:

α) οι εγκάρσιες διαστάσεις του σφήνα

β) οι διαστάσεις L, s της πλήμνης και τα μήκη $L', L_{\omega\phi}$ του σφήνα

γ) αν αντέχει ή όχι ο σφήνας

Υλικό ατράκτου St50, υλικό οδοντοτροχού St50

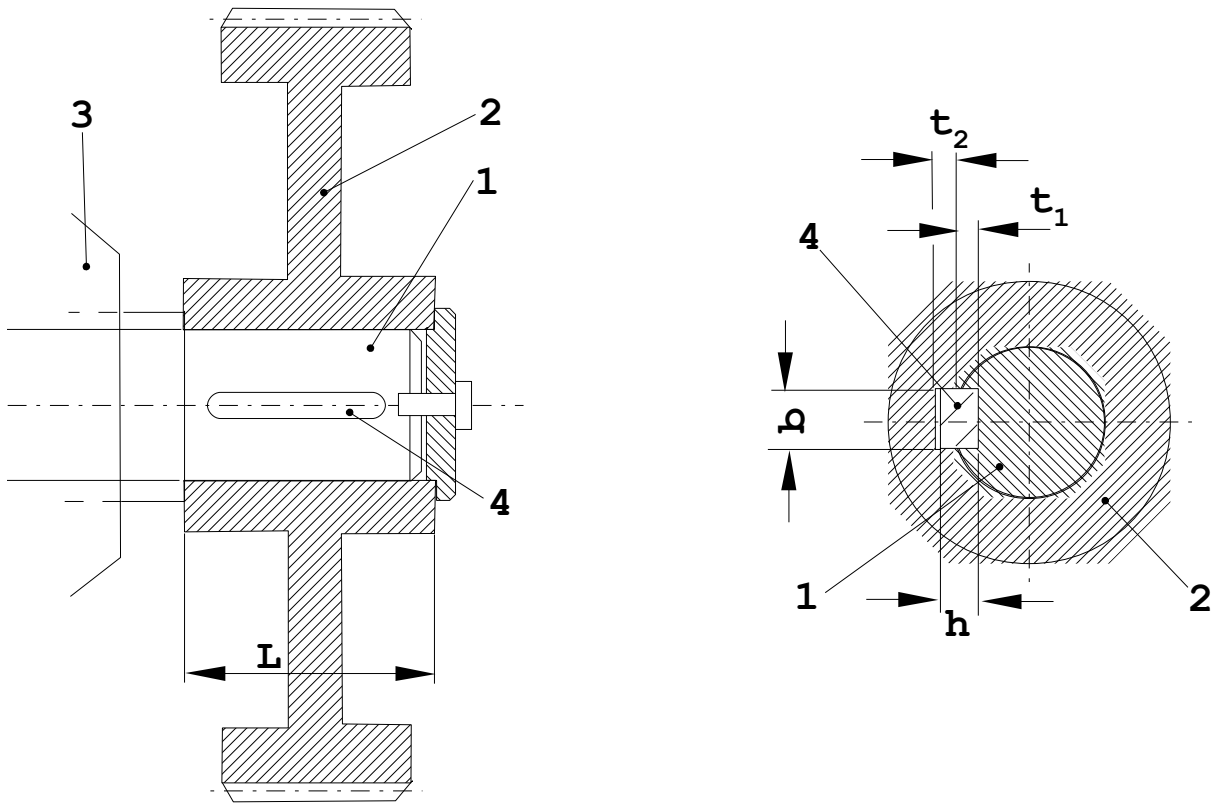
Η στρέψη ενεργεί ως δυναμική φόρτιση

Λύση:

α) Εγκάρσιες διαστάσεις του σφήνα είναι οι b, h, t_1, t_2 που φαίνονται στο σχήμα. Σύμφωνα με τον πίν. 8.7, με βάση τη διάμετρο $d=40\text{mm}$ πρέπει να εκλεγούν:

$b=12\text{mm}$, $h=8\text{mm}$, $t_1=5\text{mm}$, $t_2=3,3\text{mm}$

Αυτές οι διαστάσεις του σφήνα καθορίζονται από την τυποποίηση και πρέπει οπωσδήποτε να τηρηθούν.



β) Διαστάσεις πλήμνης κτλ:

Οι διαστάσεις της πλήμνης δεν είναι υποχρεωτικές, υπάρχουν όμως στον πιν. 8.3 οι συστάσεις:

- το μήκος να εκλεγεί ίσο με $L = x D$ όπου x =αριθμητικός συντελεστής από τον πίνακα 8.3 του βιβλίου και D =διάμετρος της ατράκτου

- και αντίστοιχα το πάχος να εκλεγεί ίσο με $s = y D$

Από τον πιν. 8.3 για οδηγό σφήνα και για χαλύβδινο τροχό εκλέγουμε $x=1,8$ $y=0,4$

άρα $L = x D = 1,8 * 40\text{mm} = 72\text{mm}$

$s = y D = 0,4 * 40\text{mm} = 16\text{mm}$

Το μήκος L' του σφήνα πρέπει να εκλεγεί λίγο μικρότερο από το L . Εκλέγεται $L=63\text{mm}$ (βλ. τυποποιημένα μήκη στον πιν. 8.7)

Το λεγόμενο ωφέλιμο μήκος του σφήνα υπολογίζεται με τη σχέση

$$L_{\omega\phi} = L' - b = (63 - 12)\text{mm} = 51\text{mm}$$

γ) Έλεγχος αντοχής:

Από τον πιν. 8.6 εκλέγεται επιτρεπόμενη πίεση, για άβαφο χάλυβα και δυναμική φόρτιση, ίση με $p_{επ}=10\text{kp/mm}^2=100\text{N/mm}^2$

Σύμφωνα με τον τύπο (8-2) πρέπει να ισχύει

$$\frac{2 T}{d (h-t_1) L_{\omega\phi}} < p_{\varepsilon\pi} \Rightarrow \frac{2 * 200.000 \text{ Nmm}}{40\text{mm} * (8-5)\text{mm} * 51\text{mm}} < 100\text{N/mm}^2$$

$$\Rightarrow 65,4 < 100$$

Η ανισότητα ισχύει, άρα ο σφήνας αντέχει.

Κεφ. 9. Συμπλέκτες

9.1 Για τον συμπλέκτη της προηγούμενης άσκησης να καθορισθούν οι κατάλληλες διαστάσεις του δίσκου τριβής και η δύναμη που πρέπει να εξασκούν τα ελατήρια (Υλικό τριβής: σκληρό πλέγμα αμιάντου).

Λύση:

Η σχέση κάθετης δύναμης F - μεταβιβαζόμενης ροπής M_t για συμπλέκτη με δίσκους είναι:

$$M_t = z \mu F (D_m/2) \quad (\alpha)$$

Η σχέση κάθετης δύναμης F - επιφανειακής πίεσης p είναι:

$$F = p A = p (\pi/4) (D_1^2 - D_2^2) = p (\pi D_m b) \quad (\beta)$$

Από τα δύο άγνωστα μεγέθη D_m , b το ένα μπορεί να εκλεγεί εμπειρικά, ενώ το άλλο πρέπει να βρεθεί σύμφωνα με τις σχέσεις (α) και (β).

Εκλέγεται λοιπόν, σύμφωνα με την εμπειρία,

$$b = 0,2 D_m$$

και από τις σχέσεις (α) και (β) παίρνουμε

$$M_t = z \mu (p \pi D_m b) (D_m/2) = z \mu (p \pi D_m 0,2 * D_m) (D_m/2) = 0,1 \pi z \mu p D_m^3 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow D_m = \sqrt[3]{\frac{M_t}{0,1 \pi z \mu p}}$$

Σύμφωνα με τις συστάσεις του βιβλίου εκλέγονται οι τιμές: του συντελεστή τριβής $\mu=0,25$ και της πίεσης πάνω στα υλικά τριβής $p = 20 \text{ N/cm}^2 = 0,2 \text{ N/mm}^2$. Το z είναι ο αριθμός των τριβόμενων ζευγών επιφανειών, εδώ $z=2$. Προκύπτει λοιπόν:

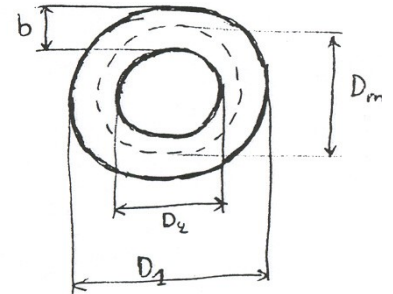
$$D_m = \sqrt[3]{\frac{150.000 \text{ Nmm}}{0,1 * \pi * 2 * 0,25 * 0,2 \text{ N/mm}^2}} = 168 \text{ mm}$$

Κάνουμε στρογγύλευση σε $D_m=170\text{mm}$.

Ισχύει $b = 0,2 D_m = 0,2 * 170\text{mm} = 34\text{mm}$ και στρογγυλεύουμε σε $b=35\text{mm}$.

Τελικά προκύπτει για τις ζητούμενες διαστάσεις:

$$D_1 = D_m + b = 170\text{mm} + 35\text{mm} = 205\text{mm}, \quad D_2 = D_m - b = 170\text{mm} - 35\text{mm} = 135\text{mm}$$



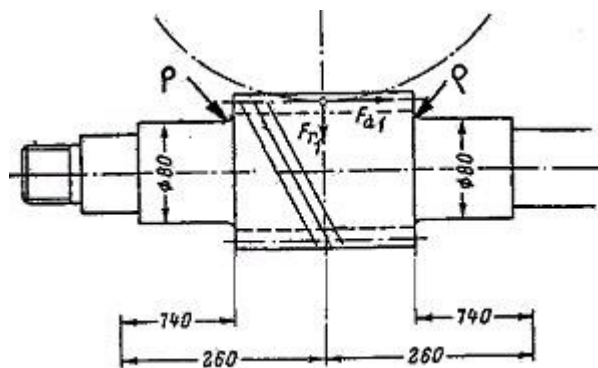
Η δύναμη των ελατηρίων (=κάθετη δύναμη F που δημιουργεί την τριβή) υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση (α):

$$(α) \Rightarrow F = \frac{2 M_t}{z \mu D_m} = \frac{2 * 150.000 \text{ Nmm}}{2 * 0,25 * 170\text{mm}} = 3.530 \text{ N}$$

Κεφ. 10. Εδρανα κυλίσεως (ρουλεμάν)

10.2 Αν η άτρακτος της άσκησης 7.3 στηρίζεται με ένα δίσφαιρο έδρανο λοξής επαφής στη θέση Α (σταθερό έδρανο, δηλαδή άρθρωση) και ένα απλό ένσφαιρο σειράς 63 στη θέση Β (κινητό έδρανο, δηλαδή κύλιση), να βρεθούν οι συμβολικοί αριθμοί των εδράνων και οι διάρκειες ζωής τους.

(Δίδεται η διάμετρος της ατράκτου στις θέσεις Α και Β, ίση με 75mm και η περιστροφική της ταχύτητα, ίση με 900 Σ/min).



Λύση:

Από τον πίνακα 10.10 βρίσκουμε τα στοιχεία του δίσφαιρου εδράνου της θέσης Α: πρέπει να είναι το έδρανο 3215 με διάμετρο οπής $d=75\text{mm}$, που έχει δυναμική αντοχή $C = 7.800\text{kp} \approx 78.000\text{N}$

Όμοια από τον πίνακα 10.10 βρίσκουμε τα στοιχεία του απλού ένσφαιρου εδράνου της θέσης Β: πρέπει να είναι το έδρανο 6315 με διάμετρο οπής $d=75\text{mm}$, που έχει δυναμική αντοχή $C = 8.500\text{kp} \approx 85.000\text{N}$

Το έδρανο Α δέχεται τις ακτινικές δυνάμεις $A_y=4.520\text{N}$, $A_z=6.920\text{N}$ καθώς και την αξονική $F_\alpha=A_x=75.370\text{N}$. Η συνολική ακτινική δύναμη στο έδρανο είναι $F_{rA} = \sqrt{A_y^2 + A_z^2} = \sqrt{4.520^2 + 6.920^2} \text{ N} = 8.265 \text{ N}$

Η αναλογία αξονικού προς ακτινικό φορτίο είναι $F_\alpha/F_r = 75.370/8.265 = 9,1$, δηλαδή πολύ μεγαλύτερη από την οριακή τιμή $e=0,95$ για δίσφαιρα λοξά έδρανα (πιν 10.4). Άρα οι συντελεστές βαρύτητας πρέπει να ληφθούν $X=0,6$ και $Y=1,07$ (από τον πιν. 10.4, για έδρανο γωνιώδους επαφής δίσφαιρο και περίπτωση $F_\alpha/F_r > e$).

Το ισοδύναμο φορτίο του εδράνου Α είναι:

$$P = X F_{rA} + Y F_{\alpha} = 0,6 * 8.265N + 1,07 * 75.370N = 85.600 N$$

Η διάρκεια ζωής του εδράνου Α σε ώρες, είναι:

$$(C/P)^3 * 10^6 \Sigma \quad (78.000N/85.600N)^3 * 10^6 \Sigma$$

$$L_h = \frac{\text{-----}}{n * 60 \text{ min/h}} = \frac{\text{-----}}{900 \Sigma/\text{min} * 60 \text{ min/h}} = 14 \text{ h}$$

(Σημ.: Ο εκθέτης λήφθηκε ίσος με 3, επειδή το έδρανο είναι ένσφαιρο).

Αυτή η διάρκεια ζωής είναι πολύ μικρή (στον πιν. 10.6 αναφέρεται ότι η επιθυμητή διάρκεια ζωής των εδράνων σε μειωτήρες στροφών είναι από 8.000 έως 15.000 ώρες). Η πολύ μικρή διάρκεια ζωής οφείλεται στο πολύ μεγάλο αξονικό φορτίο του εδράνου. Πρέπει λοιπόν να χρησιμοποιηθεί στη θέση Α ένας συνδυασμός ακτινικού εδράνου κανονικού μεγέθους με αξονικό έδρανο μεγάλου μεγέθους, που θα αντέχει ικανοποιητικά στη φόρτιση.

Το έδρανο Β δέχεται τις ακτινικές δυνάμεις $B_y=23.370N$, $B_z=6.920N$ ενώ η αξονική του είναι $F_{\alpha}=0$. Η συνολική ακτινική δύναμη στο έδρανο είναι $F_{rB} = \sqrt{B_y^2 + B_z^2} = \sqrt{23.370^2 + 6.920^2} N = 24.370 N$

Με $F_{\alpha}/F_r=0$ προκύπτει $X=1$ και $Y=0$ (από τον πιν. 10.4 για ένσφαιρα έδρανα και περίπτωση $F_{\alpha}/F_r < e$).

Το ισοδύναμο φορτίο του εδράνου Α είναι:

$$P = X F_{rA} + Y F_{\alpha} = 1 * 24.370N + 0 * 0 = 24.370 N$$

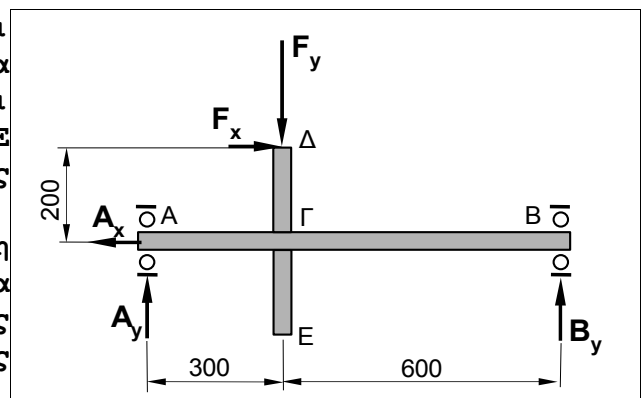
Η διάρκεια ζωής του εδράνου Α σε ώρες, είναι:

$$(C/P)^3 * 10^6 \Sigma \quad (85.000N/24.370N)^3 * 10^6 \Sigma$$

$$L_h = \frac{\text{-----}}{n * 60 \text{ min/h}} = \frac{\text{-----}}{900 \Sigma/\text{min} * 60 \text{ min/h}} = 785 \text{ h}$$

Και αυτή η διάρκεια ζωής είναι πολύ μικρή. Πρέπει στη θέση Β να χρησιμοποιηθεί π.χ. κυλινδρικό ή βαρελωτό έδρανο, το οποίο έχει μεγαλύτερη δυναμική αντοχή C και συνεπώς πετυχαίνει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

10.3 Στο σκαρίφημα παριστάνεται μία άτρακτος ΑΓΒ με στηρίξεις στα σημεία Α, Β. Στην άτρακτο είναι στερεωμένος ένας οδοντοτροχός ΔΓΕ που στο σημείο Δ φορτίζεται με τις δυνάμεις $F_y=1000N$ και $F_x=100N$. Αν στα σημεία των εδράνων Α, Β η άτρακτος έχει διάμετρο $d=40mm$, να βρεθούν κατάλληλα έδρανα κυλίσεως και να υπολογισθεί η διάρκεια ζωής τους σε εκατομμύρια στροφές



Λύση:

Τοποθετούμε στο σχήμα τις δυνάμεις στήριξης A_x , A_y , B_y και τις υπολογίζουμε:

$$\Sigma F_x=0 \Rightarrow A_x = F_x = 100N$$

$$\Sigma M_A = 0 \Rightarrow F_y \cdot 300\text{mm} + F_x \cdot 200\text{mm} - B_y \cdot (300\text{mm} + 600\text{mm}) = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow B_y = \frac{F_y \cdot 300\text{mm} + F_x \cdot 200\text{mm}}{300\text{mm} + 600\text{mm}} = \frac{1000\text{N} \cdot 300\text{mm} + 100\text{N} \cdot 200\text{mm}}{900\text{mm}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow B_y = 355,5 \text{ N}$$

$$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow A_y = F_y - B_y = 1000\text{N} - 355,5\text{N} = 644,4 \text{ N}$$

Με βάση τη διάμετρο της ατράκτου στη θέση των εδράνων εκλέγεται ότι τα έδρανα θα είναι του τύπου 6308 με:

- στατικό φορτίο $C_o = 2.600\text{kp} \approx 26.000\text{N}$
- δυναμικό φορτίο $C = 3.150\text{kp} \approx 31.500\text{N}$

(βλ. πιν. 10.8)

Για το έδρανο Α ισχύει:

- Δύναμη στην ακτινική κατεύθυνση: $F_r = A_y = 644,4 \text{ N}$
- Δύναμη στην αξονική κατεύθυνση: $F_\alpha = A_x = 100,0 \text{ N}$

Επειδή $F_\alpha / C_o = 100 / 26.000 \approx 0,004$ άρα πρέπει να επιλέξουμε τους συντελεστές X, Y από τη δεύτερη γραμμή του πιν. 10.4. Σ' αυτήν ισχύει $e = 0,24$.

Η αναλογία αξονικού προς ακτινικό φορτίο είναι $F_\alpha / F_r = 100 / 644,4 = 0,155$, άρα ισχύει $F_\alpha / F_r < e$, άρα ισχύουν οι αριστερές στήλες του πίνακα: $X = 1$ και $Y = 0$.

Το ισοδύναμο φορτίο του εδράνου είναι

$$P = X F_r + Y F_\alpha = 1 F_r + 0 F_\alpha = F_r = 644,4 \text{ N}$$

Η διάρκεια ζωής του εδράνου σε εκατομμύρια στροφές είναι:

$$L = \left(\frac{C}{P} \right)^3 = \left(\frac{31.500}{644,4} \right)^3 = 116.805$$

Για το έδρανο Β ισχύει:

- Δύναμη στην ακτινική κατεύθυνση: $F_r = B_y = 355,5 \text{ N}$
- Δύναμη στην αξονική κατεύθυνση: $F_\alpha = B_x = 0 \text{ N}$

Επειδή $F_\alpha = 0$ άρα το ισοδύναμο φορτίο του εδράνου είναι

$$P = F_r = 355,5 \text{ N}$$

Η διάρκεια ζωής του εδράνου σε εκατομμύρια στροφές είναι:

$$L = \left(\frac{C}{P} \right)^3 = \left(\frac{31.500}{355,5} \right)^3 = 695.685$$