

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΧΑΛΚΙΔΑΣ
ΜΑΘΗΜΑ: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧΑΝΩΝ ΙΙ (ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ)

ΕΞΑΜΗΝΙΑΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΤΣΙΟΜΠΑΝΟΥΔΗΣ ΜΑΡΙΟΣ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΤΡΩΟΥ:316008

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΑΥΛΩΝΙΤΗΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή.....	2
Ερωτήματα.....	2
Ερώτημα 1 α.....	2
Ερώτημα 1β	2
Σκοπός της εργασίας.....	2
Ερώτημα 1α.....	3
Ερώτημα 1β.....	13
Βιβλιογραφία.....	17

Εισαγωγή

Οι οδοντωτοί τροχοί επιτρέπουν την μετάδοση της κίνησης από έναν άξονα σε ένα άλλο, που μπορεί να είναι παράλληλο ή υπό γωνία. Η μετάδοση της κίνησης γίνεται με σταθερή ισχύ, αλλά με κατάλληλη επιλογή του μεγέθους των γραναζιών, μπορεί να γίνει μείωση στροφών με παράλληλη αύξηση της ροπής ή το αντίθετο.

Οι μετωπικοί οδοντωτοί τροχοί είναι η απλούστερη διάταξη. Αποτελούνται από ένα ζεύγος γραναζιών που εμπλέκονται στην περιφέρεια τους με τα δόντια του. Η μετάδοση γίνεται σε παράλληλους άξονες που απέχουν όσο το άθροισμα των διαμέτρων των δύο γραναζιών. Η διαστασιολόγηση των δύο γραναζιών γίνεται με βάση τις ανάγκες που καλείται να καλύψουν και τα φορτία που θα μεταφερθούν με αυτά.

Ερωτήματα

Ερώτημα 1^α

Να κατασκευαστεί μονοβάθμιος μειωτήρας στροφών με μετωπικούς τροχούς που έχουν κανονική και τυποποιημένη οδόντωση. Η σχέση μετάδοσης i_{12} της βαθμίδας να εκλεγεί από το διάστημα 3,1 – 5,9. Οι στροφές εξόδου είναι $n_{εξ} = 180 \text{ rpm}$. Η στρεπτική ροπή στην έξοδο του μειωτήρα μπορεί να εκλεγεί από το διάστημα $500 \text{ Nm} < T_{εξ} < 1000 \text{ Nm}$. (Να μην ληφθούν υπόψιν οι απώλειες ισχύος.) Ζητείται ο υπολογισμός των τροχών του μειωτήρα (Υπολογισμός του μειωτήρα).

Ερώτημα 1β

Ακτινικό έδρανο ολίσθησης ατράκτου δέχεται ακτινικό φορτίο $F = 25000 \text{ N}$ στις $n = 1000 \text{ rpm}$. Η διάμετρος της ατράκτου, εντός του εδράνου είναι $d = 110 \text{ mm}$. Το πλάτος του εδράνου ολίσθησης είναι $b = 100 \text{ mm}$. Το υλικό του εδράνου είναι λευκό μέταλλο (κράμα μολύβδου – κασσίτερου LgPbSb 12 κατά DIN 1703). Να γίνει έλεγχος πίεσης επιφάνειας για το έδρανο. Να υπολογίσετε το πιθανό διάκενο S μεταξύ ατράκτου και εδράνου και να

επιλέξετε την κατάλληλη συναρμογή μεταξύ των παραπάνω στοιχείων.

Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της εργασίας είναι η σωστή διαστασιολόγηση εξαρτημάτων για μετάδοση κίνησης, ώστε να καλύπτουν τις ανάγκες και τα φορτία της εργασίας που καλούνται να εκτελέσουν. Ειδικότερα καλούμαστε να υπολογίσουμε ένα ζεύγος γραναζιών για χρήση μειωτήρα και ένα ακτινικό έδρανο ολίσθησης.

Ερώτημα 1^α

Να κατασκευαστεί μονοβάθμιος μειωτήρας στροφών με μετωπικούς τροχούς που έχουν κανονική και τυποποιημένη οδόντωση. Η σχέση μετάδοσης i_{12} της βαθμίδας να εκλεγεί από το διάστημα 3,1-5,9. Οι στροφές εξόδου είναι $n_{εξ}=180\text{rpm}$. Η στρεπτική ροπή στην έξοδο του μειωτήρα μπορεί να εκλεγεί από το διάστημα $500\text{ Nm} > T_{εξ} < 1000\text{ Nm}$. (Να μην ληφθούν υπόψη οι απώλειες ισχύος.)

Ζητείται ο υπολογισμός των τροχών του Μειωτήρα (Υπολογισμός του Μειωτήρα).

ΛΥΣΗ

Σκοπός της άσκησης: ο υπολογισμός ενός μονοβάθμιου μειωτήρα στροφών με οδοντωτούς τροχούς.

Επιμέρους στόχοι:

1. Υπολογισμός των διαστάσεων των οδοντωτών τροχών
2. Έλεγχος των οδοντωτών τροχών σε αντοχή θραύσης και σε πίεση επιφανείας

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Στροφές εξόδου: $n_{εξ} = 180\text{ rpm}$

Στρεπτική ροπή στην έξοδο του μειωτήρα: $500\text{ Nm} - 1000\text{ Nm}$: Επιλέγεται: $T_{ΕΞ} = 750\text{ Nm}$

Σχέση μετάδοσης: 3,1 - 5,9. Επιλέγεται: $i_{12} = 4,5$

- Υπολογισμός στροφών εισόδου στο μειωτήρα

$$i_{12} = n_{εισ}/n_{εξ} \Rightarrow n_{εισ} = n_1 = i_{12} \cdot n_{εξ} = 810\text{ rpm}$$

- Υπολογισμός στρεπτικής ροπής στην είσοδο του μειωτήρα

$$i_{12} = T_{ΕΞ}/T_{ΕΙΣ} \Rightarrow T_{ΕΙΣ} = T_1 = T_{ΕΞ}/i_{12} = 166,7\text{ Nm}$$

- Υπολογισμός ισχύος στην είσοδο του μειωτήρα

$$T_1 = 9550 \cdot (P_1/n_{\text{εισ}}) \Rightarrow P_1 = (T_1 \cdot n_1)/9550 = 14,14 \text{ KW} = P_2$$

Πρώτη εκτίμηση διαμέτρου

Θεωρούμε ότι το κινητήριο γρανάζι (πινιόν) τοποθετείται με σφήνα στην άτρακτο

Η διάμετρος της άτρακτου μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$d_{\text{shl}} = C_1 \cdot \sqrt[3]{T_1} \quad [1]$$

Θεωρώντας ότι το υλικό της άτρακτου είναι χάλυβας St60, ο συντελεστής C_1 είναι: 6,3

Συνεπώς από τη σχέση [1] έχουμε: $d_{\text{shl}} = C_1 \cdot \sqrt[3]{T_1} = 34,7 \text{ mm}$

Η αρχική διάμετρος για πινιόν τοποθετημένο με σφήνα είναι:

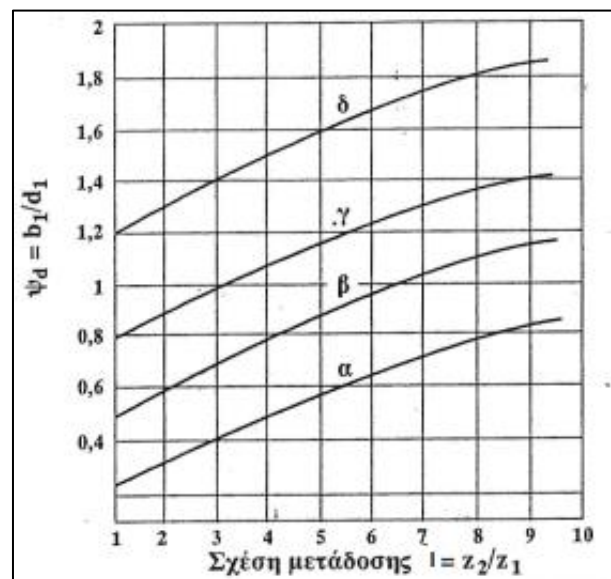
$$d_1 = 2 \cdot d_{\text{shl}} = 69,4 \text{ mm}$$

Δεύτερη εκτίμηση διαμέτρου

Η αρχική διάμετρος του πινιόν δίνεται από τη σχέση:

$$d_1 = \frac{20500}{\sigma_{Hl}} \sqrt[3]{\frac{P_1 \cdot \sigma_{Hl}}{\psi_d \cdot n_1} \frac{i_{12} + 1}{i_{12}}} \quad [mm] \quad [2]$$

Από το **σχήμα 1**, για $i_{12} = 4,5$ και καμπύλη β επιλέγεται: $\psi_d = 0,81$.



Σχήμα 1: Λόγος του πλάτους προς τη διάμετρο του πινιόν ψ_d . (Στεργίου, 2002).

Για τους τροχούς (πινιόν και συνεργαζόμενο), από τον **πίνακα 1** επιλέγεται υλικό χάλυβας κατασκευών St70 με:

$\sigma_{F1} = 510 \text{ N/mm}^2$ (δυναμική αντοχή στον πόδα).

$\sigma_{H1} = 460 \text{ N/mm}^2$ (δυναμική αντοχή σε πίεση επιφανείας) και

Εφαρμόζοντας την σχέση [2] έχουμε:

$$d_3 = \frac{20500}{(460 \text{ N/mm}^2)} \sqrt[3]{\frac{(14,14 \text{ KW}) \cdot (460 \text{ N/mm}^2) \cdot 4,5 + 1}{(0,81) \cdot (810 \text{ rpm})}} \cdot \frac{4,5 + 1}{4,5} = 102,35 \text{ mm}$$

Επιλέγεται η μεγαλύτερη διάμετρος: **$d_1 = 102,35 \text{ mm}$**

***Πίνακας 1: Υλικά για οδοντωτούς τροχούς με ενδεικτικές τιμές αντοχής
(Στεργίου, 2002)***

Ομάδα υλικού	Σύμβολο υλικού κατά DIN (παλαιό)	Σκληρότητα του τροχού στην επιφάνεια N/mm ²	Δυναμική αντοχή	
			στον πόδα σε επαναλαμβανόμενο φορτίο σ_{FE} N/mm ²	σε πίεση επιφανείας σ_{Hc} N/mm ²
Χυτοσίδηρος με δισκοειδή γραφίτη	GG-20	1800 HB	80	300
	GG25	2200 HB	110	360
Χυτοσίδηρος με σφαιροειδή γραφίτη	GGG-40	1800 HB	370	370
	GGG-60	2500 HB	450	490
	GGG-80	3200 HB	500	610
Μαύρος μαλακτός χυτοσίδηρος	GTS-35	1500 HB	330	320
	GTS-65	2200 HB	410	460
Χυτοχάλυβες	GS-52	1600 HB	280	320
	GS-60	1750 HB	320	380
Χάλυβες κατασκευών	St50	1600 HB	320	370
	St60	1900 HB	350	430
	St70	2080 HB	510	460
Βελτιωμένοι χάλυβες	C45	1850 HV10	410	530
	34CrMo4	2700 HV10	520	530
	42CrMo4	3000 HV10	570	600
	34CrNiMo6	3100 HV10	610	630
Βελτιωμένοι χάλυβες, βαμμένοι με φλόγα ή επαγωγικά	C45	4200 HV10	620	710
	16MnCr5	5600 HV10	650	770
	42CrMo4	6100 HV10	680	830
	34Cr4	6500 HV10	900	1350
Βελτιωμένοι χάλυβες εναζωτομένοι	42CrMo4	5500 HV10	770	1070
	16MnCr5	5500 HV10	810	1100
	31CrMoV9	7800 HV10	840	1230
Χάλυβες επιφανειακής βαφής	16MnCr5	7200 HV10	860	1470
	15CrNi6	7200 HV10	920	1490
	17CrNiMo6	7400 HV10	1000	1510

Η περιφερειακή ταχύτητα του πινιόν υπολογίζεται:

$$u_3 = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot n_1}{60000} = \frac{\pi \cdot (102,35\text{mm}) \cdot (810\text{rpm})}{60000} = 4,34\text{m/s}$$

Ο αριθμός δοντιών του κινητήριου τροχού μπορεί να εκλεγεί συναρτήσει της περιφερειακής ταχύτητας u ως εξής:

- $z = 20 \div 25$ για μεγάλες περιφερειακές ταχύτητες ($u > 5$ m/s)
- $z = 18 \div 22$ για μέσες περιφερειακές ταχύτητες ($u = 1 \div 5$ m/s)
- $z = 15 \div 20$ για μικρές περιφερειακές ταχύτητες ($u < 1$ m/s)

Επιλέγεται αριθμός δοντιών για το πινιόν: $z_1 = 21$

Το modul των τροχών δίνεται από τη σχέση:

$$m = d_1/z_1 = (102,35\text{mm})/21 = 4,87 \text{ mm.}$$

Από τον **πίνακα 2** επιλέγεται τυποποιημένη τιμή για το modul: **m = 5mm**.

Πίνακας 2: Τιμές modul σε mm κατά DIN 780 (Στεργίου, 2002)

Σειρά 1	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.16	0.20	0.25	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.25
	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25	32	40	50	60
Σειρά 2	0.055	0.07	0.09	0.11	0.14	0.18	0.22	0.28	0.35	0.45	0.55	0.65	0.75	0.85	0.95	1.125	1.375
	1.75	2.25	2.75	3.5	4.5	5.5	7	9	11	14	18	22	28	36	45	55	70

Η τιμή της αρχικής διαμέτρου του πινιόν για τυποποιημένη τιμή του modul είναι:

$$d_1 = m \cdot z_1 = (5\text{mm}) \cdot (21) = 105 \text{ mm.}$$

$$\text{Τότε: } z_2 = i_{12} \cdot z_1 = 4,5 \cdot 21 = 94,5 \approx 95 \text{ δόντια}$$

$$\text{Η τελική τιμή της σχέσης μετάδοσης είναι: } i_{12} = z_2/z_1 = 4,52$$

Το πλάτος b_1 του τροχού εκλέγεται σαν μέσος όρος των σχέσεων:

$$b_1' = \psi_d \cdot d_1 = (0,81) \cdot (105\text{mm}) = 85 \text{ mm}$$

$$b_1'' = \psi_m \cdot m = (20) \cdot (5\text{mm}) = 100 \text{ mm}$$

όπου ψ_m είναι συντελεστής που εξαρτάται από την κατασκευή της οδόντωσης και την ποιότητα έδρασης των αξόνων και λαμβάνεται $\psi_m = 20$.

$$\text{οπότε: } b_1 = 93 \text{ mm}$$

Η αρχική διάμετρος του συνεργαζόμενου τροχού είναι: $d_2 = m \cdot z_2 = 5\text{mm} \cdot 95 = 475 \text{ mm}$

Το πλάτος b_2 του συνεργαζόμενου τροχού είναι: $b_2 = b_1 - 5\text{mm} = 88 \text{ mm}$

ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΘΡΑΥΣΗ

Η τάση στον πόδα του οδόντα του πινιόν σ_{F1} υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\sigma_{F1} = \frac{F_t}{b_1 \cdot m} \cdot K_A \cdot K_V \cdot K_{Fa} \cdot Y_{Fa1} \cdot Y_{Sa} \cdot Y_\epsilon \leq \sigma_{FP1} \cong \frac{\sigma_{Fl1}}{S_F} \quad [N / mm^2] \quad [3]$$

Η περιφερειακή δύναμη F_t δίνεται από τη σχέση:

$$F_t = 2000 \frac{T_1}{d_1} = 2000 \frac{(166,7Nm)}{(105mm)} = 3175 N$$

Συντελεστής εφαρμογής: $K_A = 1,25$ (Πίνακας 3).

Πίνακας 3: Συντελεστής εφαρμογής K_A για μειωτήρες με γρανάζια (Στεργίου, 2002)

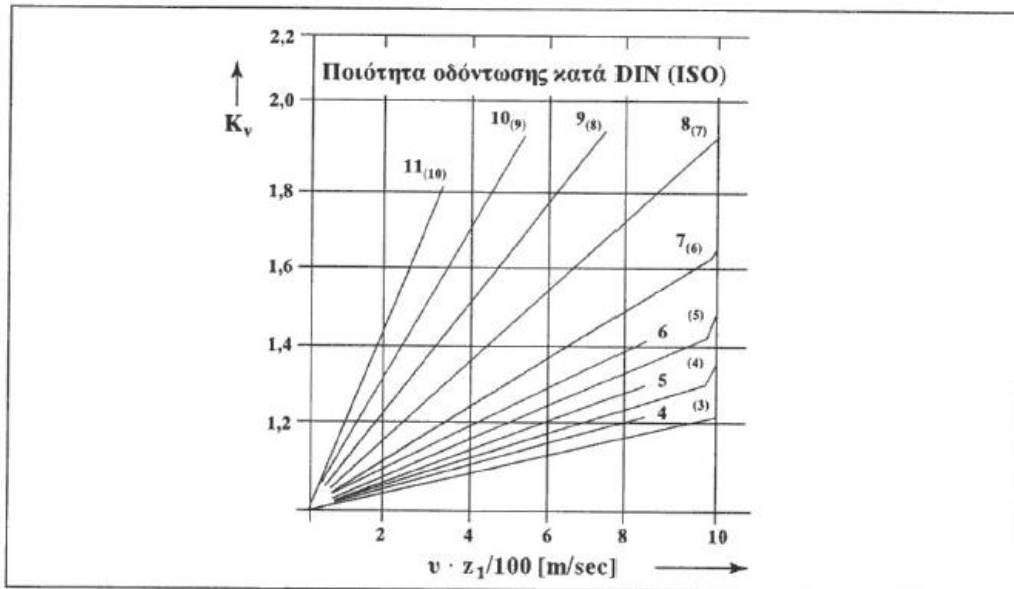
Εργομηχανή	Κινητήρια μηχανή		
	Ομοιόμορφη κίνηση	Ελαφρές κρούσεις	Κρούσεις μέσου μεγέθους
	Ηλεκτρο-κινητήρας, ατμοστρόβιλος	Πολυκύλινδρη εμβολοφόρος μηχανή	Μονοκύλινδρη εμβολοφόρος μηχανή
Λειτουργία ομοιόμορφη π.χ. Γεννήτριες, μειωτήρες πρόωσης, μεταφορικές ταινίες, ελαφρά αναβατώρια και βαρούλκα, στροβιλοφυσητήρες και συμπιεστές, αναδευτήρες και αναμικτήρες για υλικά με ομοιόμορφη πυκνότητα.	1,0 (1,25)	1,25 (1,5)	1,5 (1,75)
Λειτουργία με μέτριες κρούσεις π.χ. Κύριες μεταδόσεις κίνησης σε εργαλειομηχανές, βαριά αναβατώρια, συστήματα περιστροφής γερανών, ανεμιστήρες ορυχείων, αναδευτήρες και αναμικτήρες για υλικά με ακανόνιστη πυκνότητα, εμβολοφόρες αντλίες με πολλούς κυλίνδρους, αντλίες διανομής.	1,25 (1,5)	1,5 (1,75)	1,75 (2,0)
Λειτουργία με ισχυρές κρούσεις, π.χ. Διατρητικά - διαμορφωτικά μηχανήματα, ψαλίδια, ζυμωτήρια ελαστικού, μηχανές ελάστρων και μεταλλουργείων, εκσκαφείς με πτύο, βαριές κεντροφύγες, βαριές αντλίες διανομής.	1,75 (2,0)	2,0 (2,25)	2,25 (2,5)

Για την επιλογή του συντελεστή K_V χρειάζεται να υπολογιστεί η περιφερειακή ταχύτητα u του τροχού. Η περιφερειακή ταχύτητα είναι:

$$u_1 = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot n_1}{60000} = \frac{\pi \cdot (105mm) \cdot (810rpm)}{60000} = 4,45 m/s$$

$$u_1 \cdot z_1 / 100 = 0,94 \approx 1$$

Για ποιότητα οδόντωσης 8 κατά DIN 3990 από το **σχήμα 2** προσδιορίζεται: $K_V = 1,1$



Σχήμα 2: Συντελεστής δυναμικών καταπονήσεων K_v . (Στεργίου, 2002).

K_{Fa} : μετωπικός συντελεστής κατανομής φορτίου για θραύση. Για ευθείς οδόντες με συντελεστή ασφάλειας $S_F \leq 2$ και ποιότητα οδόντωσης 8 ή μικρότερη λαμβάνεται ίσος με $K_{Fa} \approx 1$. (Στεργίου, 2002)

Υπολογισμός συντελεστή μορφής Y_{Fa}

για το πινιόν: $Y_{Fa1} = 2,85$ για μηδενική μετατόπιση ($x=0$) και $z_1=21$ (Σχήμα 3)

για το συνεργαζόμενο: $Y_{Fa2} = 2,2$ για μηδενική μετατόπιση ($x=0$) και $z_2=95$ (Σχήμα 3)

Υπολογισμός συντελεστή διόρθωσης της τάσης: Y_{Sa}

για το πινιόν: $Y_{Sa1} = 1,60$ για μηδενική μετατόπιση ($x=0$) και $z_1=21$ (Σχήμα 4).

για το συνεργαζόμενο: $Y_{Sa2} = 1,87$ για μηδενική μετατόπιση ($x=0$) και $z_2=95$ (Σχήμα 4).

Υπολογισμός συντελεστή επικάλυψης Y_ϵ

βαθμός επικάλυψης: $\epsilon_\alpha = 1,67$ για $z_1=21$ και $i=4,52$ (Σχήμα 5).

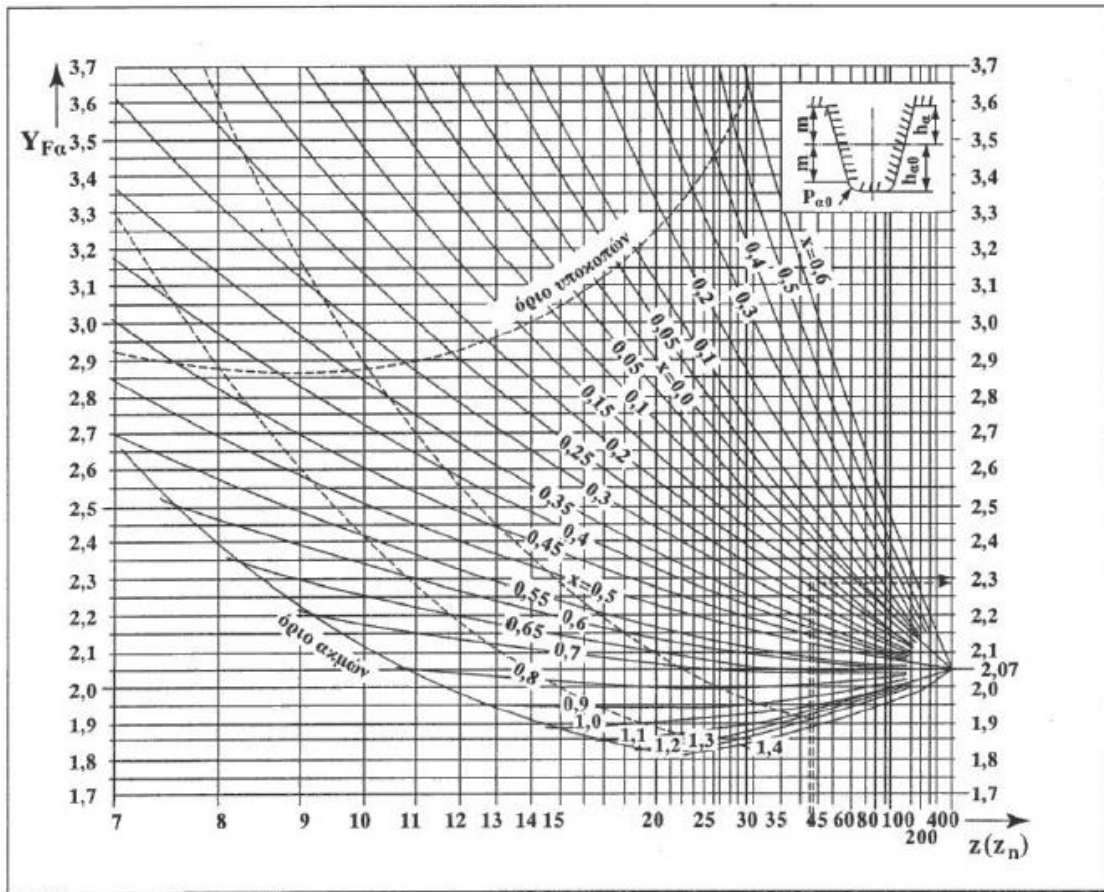
Ο συντελεστής επικάλυψης δίνεται από τη σχέση: $Y_\epsilon = 0,25 + 0,75/\epsilon_\alpha = 0,70$

Εφαρμόζοντας την εξίσωση [3] έχουμε:

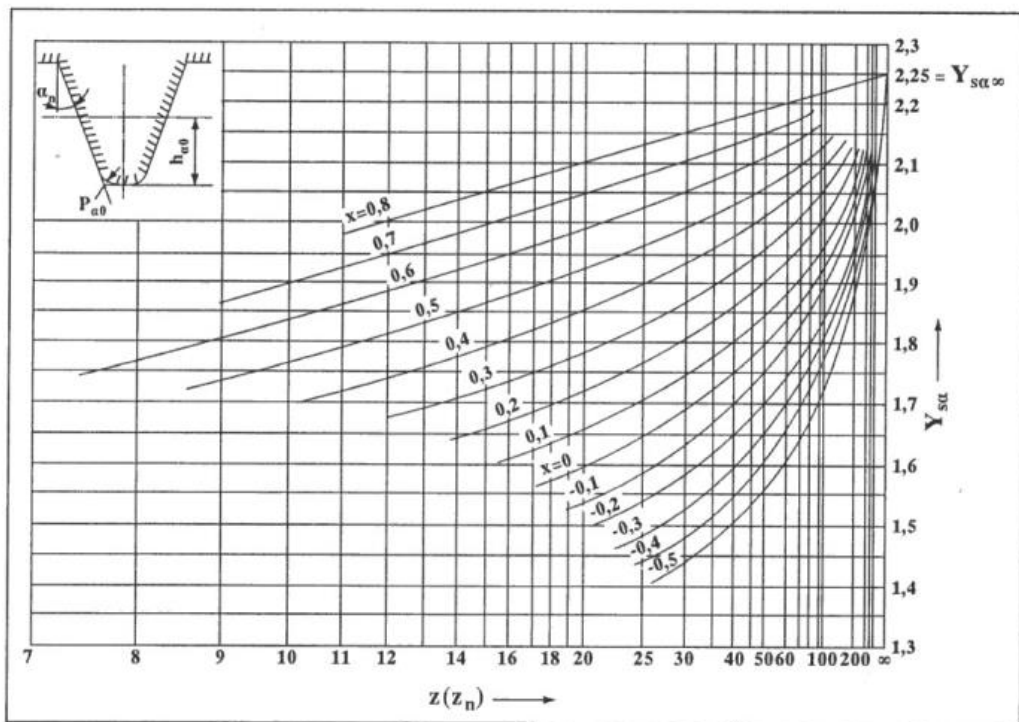
$$\text{Για το πινιόν: } \sigma_{F1} = \frac{(3175N)}{(93mm) \cdot (5mm)} \cdot 1,25 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 2,85 \cdot 1,6 \cdot 0,70 = 30 \text{ N / mm}^2$$

$$\text{Για το συνεργαζόμενο: } \sigma_{F2} = \frac{(3175N)}{(88mm) \cdot (5mm)} \cdot 1,25 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 2,2 \cdot 1,87 \cdot 0,70 = 29 \text{ N / mm}^2$$

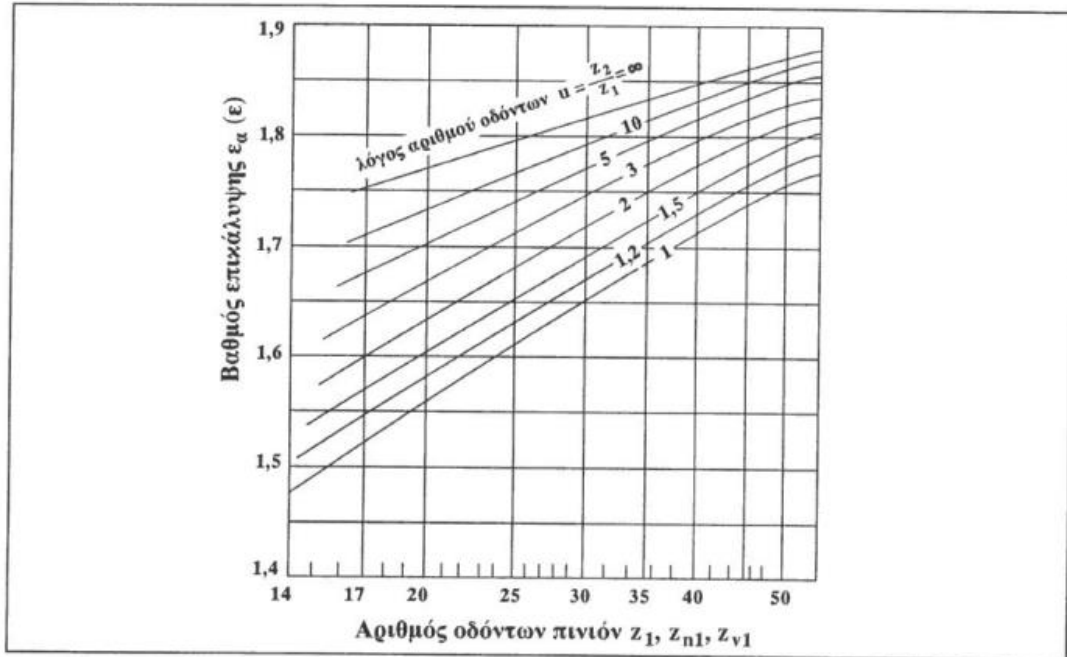
Συντελεστής ασφάλειας: $S_F = 1,6$



Σχήμα 3: Συντελεστής μορφής Y_{Fa} για εξωτερική οδόντωση. (Στεργίου, 2002).



Σχήμα 4: Συντελεστής διόρθωσης τάσης Y_{Sa} για εξωτερική οδόντωση. (Στεργίου, 2002).



Σχήμα 5: Βαθμός επικάλυψης ϵ_α σε τροχούς χωρίς μετατόπιση για εξωτερική οδόντωση. (Στεργίου, 2002).

$$\sigma_{FP1} = \sigma_{F1}/S_F = (510\text{N/mm}^2)/1,6 = 319 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{F1} = 30 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{FP1} = 319 \text{ N/mm}^2 \text{ ok!}$$

$$\sigma_{FP2} = \sigma_{F2}/S_F = (510\text{N/mm}^2)/1,6 = 319 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{F2} = 29 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{FP1} = 319 \text{ N/mm}^2 \text{ ok!}$$

ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΠΙΕΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

Για την επιφανειακή πίεση σ_H στα σημεία επαφής των οδόντων πρέπει να ισχύει η σχέση:

$$\sigma_H = \sqrt{\left(\frac{F_t}{b_{\min} \cdot d_3} \cdot \frac{i_2 + 1}{i_2} \cdot K_A \cdot K_V \cdot K_{Ha} \right)} \cdot Z_H \cdot Z_M \cdot Z_\epsilon \leq \sigma_{HP} \cong \frac{\sigma_{Hl}}{S_H} \quad [N / mm^2] \quad [4]$$

Όπου

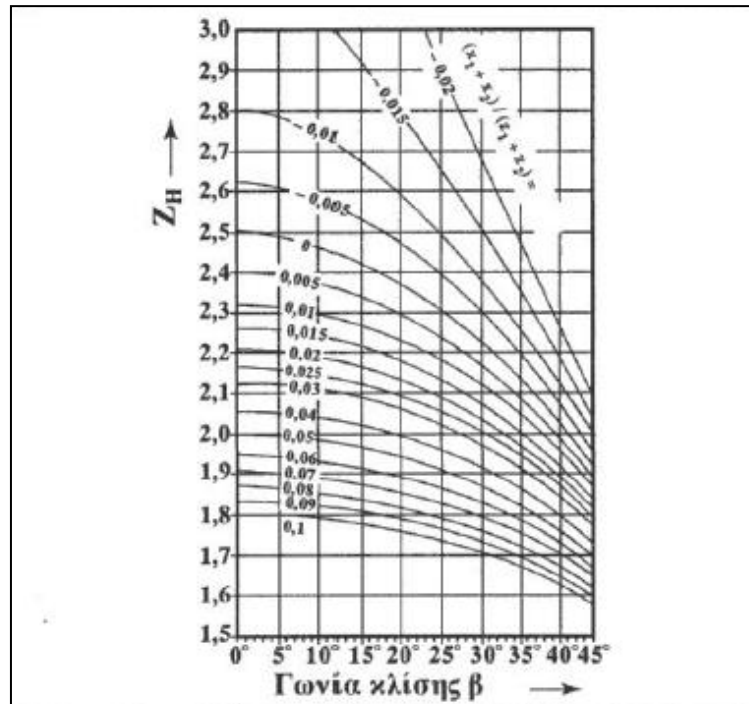
$b_{\min}=88 \text{ mm}$, το μικρότερο πλάτος.

$K_A = 1,25$ (Πίνακας 3).

$K_V = 1,1$ (σχήμα 2).

K_{Ha} : μετωπικός συντελεστής κατανομής φορτίου για πίεση επιφάνειας. Για ευθείς οδόντες με συντελεστή ασφάλειας $S_H \leq 1,3$ και ποιότητα οδόντωσης 8 ή μικρότερη λαμβάνεται ίσος με $K_{Ha} \approx 1$. (Στεργίου, 2002)

Συντελεστής ζώνης: $Z_H = 2,5$ για γωνία κλίσης δοντιών $\beta = 0^\circ$ και $(x_1 + x_2)/(z_1 + z_2) = 0$ (Σχήμα 6).



Σχήμα 6: Συντελεστής ζώνης Z_H . (Στεργίου, 2002).

Συντελεστής υλικού: $Z_M = 189,8$ για υλικό τροχού 1 χάλυβας και υλικό τροχού 2 χάλυβας (Πίνακας 4).

Πίνακας 4: Συντελεστής υλικού Z_M (Στεργίου, 2002)

Τροχός 1		Τροχός 2		
Υλικό	Μέτρο ελαστικότητας N/mm ²	Υλικό	Μέτρο ελαστικότητας N/mm ²	Z _M √N/mm ²
Χάλυβας	206000	Χάλυβας	206000	189,8
		Χυτοχάλυβας	202000	188,9
		Χυτοσίδηρος με σφαιροειδή γραφίτη	173000	181,4
		Χυτός κασιτερούχος ορείχαλκος	103000	155,0
		Κασιτερούχος ορείχαλκος	113000	159,8
Χυτοσίδηρος με δισκοειδή γραφίτη (φαιός χυτοσίδηρος)	126000 έως 118000	Χυτοσίδηρος με δισκοειδή γραφίτη (φαιός χυτοσίδηρος)	118000	165,4 έως 162,0
				Χυτοχάλυβας
Χυτοσίδηρος με σφαιροειδή γραφίτη	173000	Χυτοσίδηρος με σφαιροειδή γραφίτη	173000	180,5
		Χυτοσίδηρος με δισκοειδή γραφίτη (φαιός χυτοσίδηρος)	118000	161,4
Χυτοσίδηρος με δισκοειδή γραφίτη (φαιός χυτοσίδηρος)	126000 έως 118000	Χυτοσίδηρος με σφαιροειδή γραφίτη	173000	173,9
		Χυτοσίδηρος με δισκοειδή γραφίτη (φαιός χυτοσίδηρος)	118000	156,6
Χάλυβας	206000	Χυτοσίδηρος με δισκοειδή γραφίτη (φαιός χυτοσίδηρος)	118000	146,0 έως 143,7
		Σκληρό πλέγμα με ν = 0,5	7850 i.M.	56,4

Υπολογισμός συντελεστή επικάλυψης Y_ε

$\varepsilon_a = 1,67$ (Σχήμα 5).

$$Z_\varepsilon = \sqrt{\frac{4 - \varepsilon_a}{3}} = \sqrt{\frac{4 - 1,67}{3}} = 0,88$$

Συντελεστής ασφάλειας: $S_H = 1,4$

Εφαρμόζοντας την εξίσωση [4] έχουμε:

$$\sigma_H = \sqrt{\left(\frac{(3175N)}{(88mm) \cdot (105mm)} \cdot \frac{4,52 + 1}{4,52} \cdot 1,25 \cdot 1,1 \cdot 1 \right)} \cdot 2,5 \cdot 189,8 \cdot 0,88 = 317,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{HP} = \sigma_{Hmin} / S_F = (460 \text{ N/mm}^2) / 1,4 = 328,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_H = 317,6 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{HP} = 328,6 \text{ N/mm}^2 \text{ ok!}$$

Η επιλογή του υλικού είναι σωστή!

Ερώτημα 1β

Ακτινικό έδρανο ολίσθησης ατράκτου δέχεται ακτινικό φορτίο $F=25000\text{N}$ στις $n=1000\text{rpm}$. Η διάμετρος της ατράκτου, εντός του εδράνου είναι $d=110\text{mm}$. Το πλάτος του εδράνου ολίσθησης είναι $b=100\text{mm}$. Το υλικό του εδράνου είναι λευκό μέταλλο (κράμα μολύβδου–κασσιτέρου LgPbSb12 κατά DIN1703).

Να γίνει ο έλεγχος πίεσης επιφανείας για το έδρανο.

Να υπολογίσετε το πιθανό διάκενο S μεταξύ ατράκτου και εδράνου και να επιλέξετε την κατάλληλη συναρμογή μεταξύ των παραπάνω στοιχείων.

ΛΥΣΗ

Σκοπός της άσκησης είναι η μελέτη ενός ακτινικού εδράνου ολίσθησης (κουζινέτου) με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά λειτουργίας και κατασκευής. Για την επίλυση της άσκησης θα πρέπει να επιτευχθούν οι παρακάτω στόχοι:

1. Έλεγχος σε πίεση επιφανείας του εδράνου
2. Υπολογισμός διάκενου μεταξύ ατράκτου και εδράνου
3. Επιλογή κατάλληλης συναρμογής μεταξύ ατράκτου και εδράνου

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Ακτινικό φορτίο: $F = 25000 \text{ N}$

Στροφές εδράνου: $n = 1000 \text{ rpm}$

Διάμετρος ατράκτου: $d = 110 \text{ mm}$

Πλάτος εδράνου: $b = 100 \text{ mm}$

Υλικό εδράνου: λευκό μέταλλο (κράμα μολύβδου – κασσιτέρου LgPbSb12 κατά DIN1703).

1. Έλεγχος σε πίεση επιφανείας

Η μέση πίεση επιφανείας υπολογίζεται:

$$p_m = \frac{F}{d \cdot b} = \frac{25000\text{N}}{(110\text{mm}) \cdot (100\text{mm})} \Rightarrow p_m = 2,3 \text{ N/mm}^2$$

Η μέγιστη επιτρεπόμενη μέση πίεση προσδιορίζεται από τον **πίνακα 1**. Για κράματα Sn και Pb έχουμε: $p_{\text{μεπ}} = 5 \text{ N/mm}^2$

Έτσι: $p_m = 2,3 \text{ N/mm}^2 < p_{\text{μεπ}} = 5 \text{ N/mm}^2$

Συνεπώς το έδρανο φορτίζεται κανονικά!

**Πίνακας 1: Ενδεικτικές τιμές για μέγιστη επιτρεπόμενη μέση πίεση $p_{μεπ}$
(Στεργίου, 2003)**

Ομάδα υλικών εδράνων	Ενδεικτικές τιμές $p_{μεπ}$ σε N/mm^2 max
Κράματα Sn και Pb	5 (15)
Κράματα Cu-Pb	7 (20)
Κράματα Cu-Sn	7 (25)
Κράματα Al-Sn	7 (18)
Κράματα Al-Zn	7 (20)

Η μέγιστη πίεση λίπανσης είναι:

$$p_{max} = 6 \cdot p_m \Rightarrow p_{max} = 6 \cdot 2,3 \Rightarrow p_{max} = 13,8 N / mm^2$$

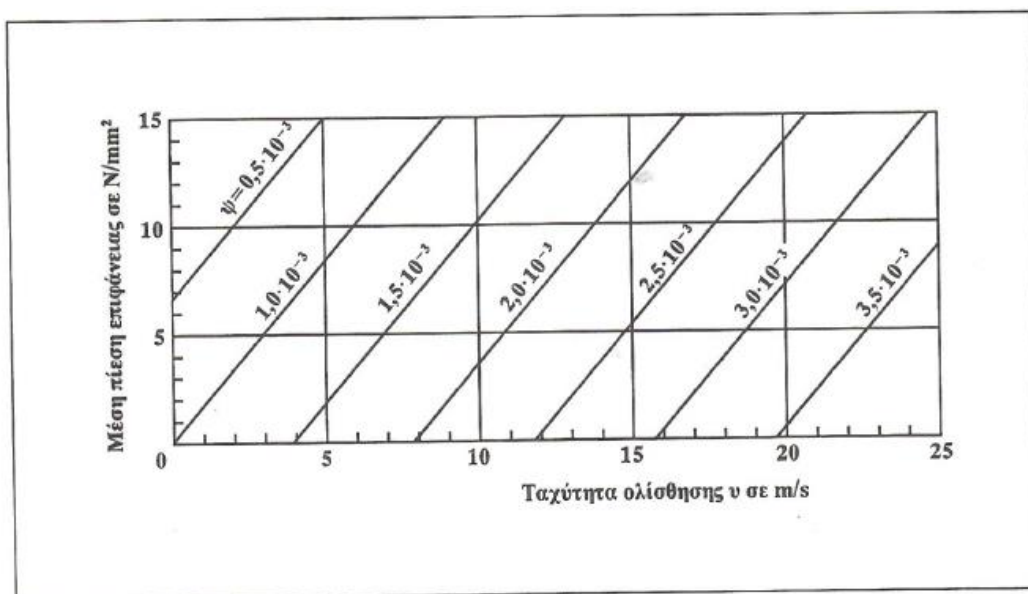
2. Υπολογισμός διάκενου μεταξύ ατράκτου και εδράνου

Η ταχύτητα ολίσθησης του εδράνου υπολογίζεται:

$$u = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60000} = \frac{\pi \cdot (110mm) \cdot (1000rpm)}{60000} \Rightarrow u = 5,8 \text{ m/s}$$

Από το **σχήμα 1**, για $u = 5,8 \text{ m/s}$ και $p_m = 2,3 \text{ N/mm}^2$ επιλέγεται το μέσο σχετικό διάκενο:

$$\psi = 1,5 \cdot 10^{-3}$$



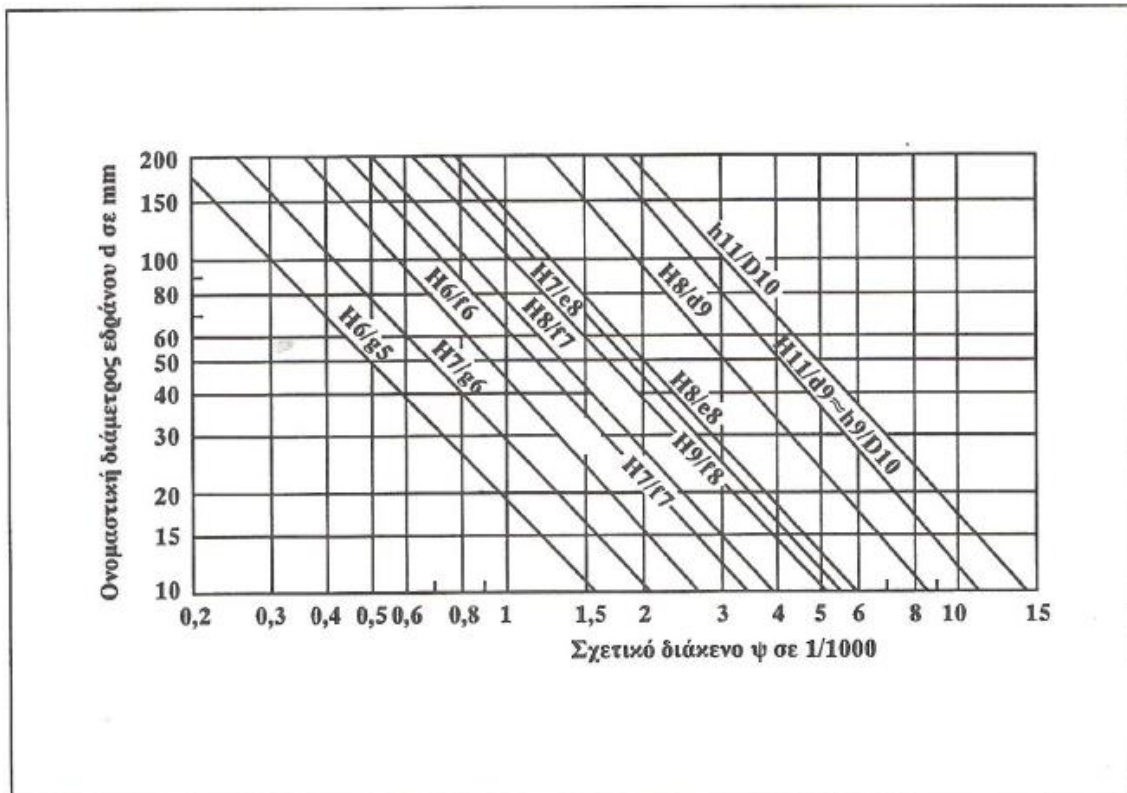
Σχήμα 1: Εκλογή του (μέσου) σχετικού διάκενου ψ . (Στεργίου, 2003).

Το απόλυτο διάκενο S υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\psi = S/d \Rightarrow S = \psi \cdot d = (1,5 \cdot 10^{-3}) \cdot (110 \text{ mm}) \Rightarrow \mathbf{S = 0,165 \text{ mm}}$$

3. Επιλογή συναρμογής μεταξύ ατράκτου και εδράνου

Από το **σχήμα 2**, για $\psi = 1,5 \cdot 10^{-3}$ και $d = 110 \text{ mm}$, επιλέγεται η συναρμογή βασικού τρύματος **H8/d9**.



Σχήμα 2: Συναρμογές για έδρανα ολίσθησης συναρτήσει του (μέσου) σχετικού διάκενου ψ . (Στεργίου, 2003).

Από τον **πίνακα 2**, για $d = 110 \text{ mm}$, προσδιορίζονται οι αποκλίσεις άξονα (ατράκτου) και τρύματος (εδράνου)

Για τον άξονα $d9$:

Άνω απόκλιση: $-120 \mu\text{m}$

Κάτω απόκλιση: $-207 \mu\text{m}$

Για το τρύμα $H8$:

Άνω απόκλιση: $54 \mu\text{m}$

Κάτω απόκλιση: $0 \mu\text{m}$

Πίνακας 2: Συναρμογές για το σύστημα βασικού τρύματος (Στεργίου, 2003)

Πεδίο ανοχών	H8	zc6	zh6	za6	z5	x8	u8	z8	s8	h8	h9	f7	f8	d8	d9	e9	b9	h9	zc3	zb9	za9	x9	y9	u9	t9	h8	h9	h11	f8	e9	d10	c10	c11	h10
άνω του 1	+14	+34	+54	-	+40	+34	-	-	+28	0	0	-8	-14	-20	-26	-30	-34	-38	+25	+85	+65	-	+51	+45	-	-14	-25	-60	-14	-20	-60	-60	-140	
έως 3	0	+60	+40	-	+20	+20	-	-	+14	-14	-25	-16	-20	-28	-35	-45	-55	-65	0	+60	+40	-	+26	+20	-	0	0	0	-6	-14	-20	-60	-60	-140
άνω του 3	+18	+98	+68	-	+53	+46	-	-	+37	0	0	-10	-10	-20	-30	-40	-50	-60	+30	+110	+80	-	+65	+58	-	0	0	0	-10	-20	-30	-70	-70	-140
έως 6	0	+80	+50	-	+35	+28	-	-	+19	-18	-30	-22	-28	-38	-50	-60	-70	-80	0	+80	+50	-	+35	+28	-	-18	-30	-75	-28	-50	-78	-118	-145	-188
άνω του 6	+22	+119	+89	+74	+64	+56	-	-	+45	0	0	-13	-13	-25	-40	-60	-90	-130	+36	+133	+103	-	+78	+70	-	0	0	0	-13	-25	-40	-80	-80	-150
έως 10	0	+97	+67	+52	+42	+34	-	-	+23	-22	-36	-28	-35	-47	-76	-116	-186	0	+97	+67	-	+47	+34	-	-22	-36	-90	-35	-61	-98	-138	-170	-208	
άνω του 10	+157	+117	+91	+77	+67	-	-	-	+55	0	0	-16	-16	-32	-50	-95	-150	+43	+130	+90	-	+93	+83	-	0	0	0	-16	-32	-50	-95	-95	-150	
έως 14	+27	+130	+90	+64	+50	+40	-	-	+28	-27	-43	-34	-43	-59	-93	-138	-193	0	+193	+151	-	+103	+88	-	-27	-43	-110	-43	-75	-120	-165	-205	-220	
άνω του 14	0	+177	+135	+104	+87	+72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+218	+162	+118	-	+60	+45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
έως 18	+150	+108	+77	+60	+45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+150	+108	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
άνω του 18	+221	+169	+131	+106	+87	-	-	-	+68	0	0	-20	-20	-40	-65	-110	-160	+52	+240	+188	+150	-	+125	+106	-	0	0	0	-20	-40	-65	-110	-110	-160
έως 24	0	+251	+193	+151	+121	+97	+81	-	+35	-33	-32	-41	-53	-73	-117	-162	+212	0	+270	+212	+170	+140	+116	+100	-	-33	-52	-130	-53	-92	-149	-194	-240	-244
άνω του 24	0	+218	+160	+118	+88	+64	+48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+218	+160	+118	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
έως 30	+239	+187	+151	+119	+99	-	-	-	+82	0	0	-25	-25	-50	-80	-120	-170	+62	+336	+262	+210	+174	+142	+122	-	0	0	0	-25	-50	-80	-120	-120	-170
άνω του 30	0	+200	+148	+112	+83	+60	-	-	+43	-39	-62	-50	-64	-89	-142	-192	-242	0	+274	+200	+148	+112	+80	+60	-	-39	-62	-160	-64	-112	-180	-130	-130	-180
έως 40	+281	+219	+175	+136	+109	-	-	-	+59	-46	-74	-60	-76	-106	-174	-224	-274	+74	+479	+374	+300	+246	+196	+161	-	0	0	0	-30	-60	-100	-140	-140	-190
άνω του 40	0	+242	+180	+136	+97	+70	-	-	+105	-46	-74	-60	-76	-106	-174	-224	-274	0	+405	+300	+226	+172	+122	+87	-	-46	-74	-190	-76	-134	-220	-150	-150	-200
έως 50	+346	+272	+218	+168	+133	-	-	-	+125	-71	-101	-87	-106	-146	-200	-250	-300	+87	+532	+422	+345	+265	+211	-	-	-46	-74	-190	-76	-134	-220	-150	-150	-200
άνω του 50	0	+320	+256	+192	+148	+102	-	-	+166	-54	-87	-71	-90	-126	-180	-240	-300	+87	+487	+397	+297	+231	+184	-	-	-46	-74	-190	-76	-134	-220	-150	-150	-200
έως 65	+46	+300	+236	+172	+122	+87	-	-	+166	-54	-87	-71	-90	-126	-180	-240	-300	+87	+400	+310	+210	+144	+108	-	-	-46	-74	-190	-76	-134	-220	-150	-150	-200
άνω του 65	0	+389	+312	+232	+178	+124	-	-	+166	-54	-87	-71	-90	-126	-180	-240	-300	+87	+487	+397	+297	+231	+184	-	-	-46	-74	-190	-76	-134	-220	-150	-150	-200
έως 80	+54	+364	+284	+204	+150	+104	-	-	+166	-54	-87	-71	-90	-126	-180	-240	-300	+87	+400	+310	+210	+144	+108	-	-	-46	-74	-190	-76	-134	-220	-150	-150	-200
άνω του 80	0	+428	+311	+233	+185	+135	-	-	+166	-54	-87	-71	-90	-126	-180	-240	-300	+87	+487	+397	+297	+231	+184	-	-	-46	-74	-190	-76	-134	-220	-150	-150	-200
έως 100	+63	+478	+343	+253	+197	+143	-	-	+166	-54	-87	-71	-90	-126	-180	-240	-300	+87	+487	+397	+297	+231	+184	-	-	-46	-74	-190	-76	-134	-220	-150	-150	-200
άνω του 100	0	+428	+311	+233	+185	+135	-	-	+166	-54	-87	-71	-90	-126	-180	-240	-300	+87	+487	+397	+297	+231	+184	-	-	-46	-74	-190	-76	-134	-220	-150	-150	-200
έως 120	+63	+478	+343	+253	+197	+143	-	-	+166	-54	-87	-71	-90	-126	-180	-240	-300	+87	+487	+397	+297	+231	+184	-	-	-46	-74	-190	-76	-134	-220	-150	-150	-200
άνω του 120	0	+428	+311	+233	+185	+135	-	-	+166	-54	-87	-71	-90	-126	-180	-240	-300	+87	+487	+397	+297	+231	+184	-	-	-46	-74	-190	-76	-134	-220	-150	-150	-200
έως 140	+63	+478	+343	+253	+197	+143	-	-	+166	-54	-87	-71	-90	-126	-180	-240	-300	+87	+487	+397	+297	+231	+184	-	-	-46	-74	-190	-76	-134	-220	-150	-150	-200
άνω του 140	0	+428	+311	+233	+185	+135	-	-	+166	-54	-87	-71	-90	-126	-180	-240	-300	+87	+487	+397	+297	+231	+184	-	-	-46	-74	-190	-76	-134	-220	-150	-150	-200
έως 160	+63	+478	+343	+253	+197	+143	-	-	+166	-54	-87	-71	-90	-126	-180	-240	-300	+87	+487	+397	+297	+231	+184	-	-	-46	-74	-190	-76	-134	-220	-150	-150	-200
άνω του 160	0	+428	+311	+233	+185	+135	-	-	+166	-54	-87	-71	-90	-126	-180	-240	-300	+87	+487	+397	+297	+231	+184	-	-	-46	-74	-190	-76	-134	-220	-150	-150	-200
έως 180	+63	+478	+343	+253	+197	+143	-	-	+166	-54	-87	-71	-90	-126	-180	-240	-300	+87	+487	+397	+297	+231	+184	-	-	-46	-74	-190	-76	-134	-220	-150	-150	-200
άνω του 180	0	+428	+311	+233	+185	+135	-	-	+166	-54	-87	-71	-90	-126	-180	-240	-300	+87	+487	+397	+297	+231	+184	-	-	-46	-74	-190	-76	-134	-220	-150	-150	-200
έως 200	+63	+478	+343	+253	+197	+143	-	-	+166	-54	-87	-71	-90	-126	-180	-240	-300	+87	+487	+397	+297	+231	+184	-	-	-46	-74	-190	-76	-134	-220	-150	-150	-200
άνω του 200	0	+428	+311	+233	+185	+135	-	-	+166	-54	-87	-71	-90	-126	-180	-240	-300	+87	+487	+397	+297	+231	+184	-	-	-46	-74	-190	-76	-134	-220	-150	-150	-200
έως 225	+72	+457	+330	+252	+202	+147	-	-	+166	-54	-87	-71	-90	-126	-180	-240	-300	+87	+487	+397	+297	+231	+184	-	-	-46	-74	-190	-76	-134	-220	-150	-150	-200
άνω του 225	0	+385	+258	+189	+130	+87	-	-	+166	-54	-87	-71	-90	-126	-180	-240	-300	+87	+487	+397	+297	+231	+184	-	-	-46	-74	-190	-76	-134	-220	-150	-150	-200
έως 250	+81	+497	+356	+268	+212	+143	-	-	+166	-54	-87	-71	-90	-126	-180	-240	-300	+87	+487	+397	+297	+231	+184	-	-	-46	-74	-190	-76	-134	-220	-150	-150	-200
άνω του 250	0	+425	+294	+196	+140	+97	-	-	+166	-54	-87	-71	-90	-126	-180	-240	-300	+87	+487	+397	+297	+231	+184	-	-	-46	-74	-190	-76	-134	-220	-150	-150	-200
έως 280	+81	+497	+356	+268	+212	+143	-	-	+166	-54	-87	-71	-90	-126	-180	-240	-300	+87	+487	+397	+297	+231	+184	-	-	-46	-74	-190	-76	-134	-220	-150	-150	-200
άνω του 280	0	+425	+294	+196	+140	+97	-	-	+166	-54	-87	-71	-90	-126	-180	-240	-300	+87	+487	+397	+297	+231	+184	-	-	-46	-74	-190	-76	-134	-220	-150		

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Σημειώσεις μαθήματος Στοιχεία Μηχανών και Στοιχεία Μηχανών 2

Στεργίου, Ι. & Στεργίου Κ. (2002). *Στοιχεία Μηχανών ΙΙ*. Αθήνα: Σύγχρονη Εκδοτική.

Στεργίου, Ι. & Στεργίου Κ. (2003). *Στοιχεία Μηχανών Ι*. Αθήνα: Σύγχρονη Εκδοτική.