

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΑΝΔΡΕΑΣ ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧΑΝΩΝ Ι

Θ Ε Ω Ρ Ι Α

ΠΑΤΡΑ 2019

ΕΙΔΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

- **ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ**

Ήλοι, Κοχλίες, σφήνες, πείροι, συγκολλήσεις, μαλακές κολλήσεις, κολλήσεις με κόλλα.

- **ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΔΡΑΣΗΣ**

Έδρανα ολισθήσεως (κουζινέτα), έδρανα κυλίσεως (ρουλεμάν).

- **ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ**

Άξονες, άτρακτοι, ιμάντες, αλυσίδες, οδοντωτοί τροχοί (γρανάζια), συμπλέκτες, μειωτήρες στροφών, κιβώτια ταχυτήτων (σασμάν), διαφορικά.

- **ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΥΓΡΩΝ ΚΑΙ ΑΕΡΙΩΝ**

Σωληνώσεις, εξαρτήματα σωληνώσεων (βάννες, βαλβίδες, καμπύλες, τάφ, ρυθμιστές πίεσης κ.ά.).

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

- **ΣΥΝΑΡΜΟΓΕΣ**

Ανοχές συναρμογών, τυποποίηση ISO, ποιότητα επιφανειών.

- **ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΕ ΑΝΤΟΧΗ**

Εφελκυσμός, θλίψη, λυγισμός, κάμψη, στρέψη, διάτμηση, πίεση επιφάνειας, σύνθετη καταπόνηση, δυναμική καταπόνηση.

- **ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΥΛΙΚΩΝ**

Χάλυβας κατασκευών, βελτιωμένος χάλυβας, χυτοχάλυβας, φαιός χυτοσίδηρος, λευκός χυτοσίδηρος.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

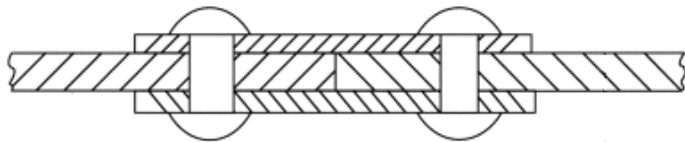
1. Ήλοι και Ηλώσεις



Ήλος με σφαιρική κεφαλή



Ήλος με επίπεδη κεφαλή



Σύνδεση με ήλους



Ήλωση δοκού



Σφύρα ηλώσεων



Ήλωση δοκών Γεφύρας



Ηλώσεις σε άτρακτο αεροσκάφους



Γέφυρα Σίδνεϋ με ηλώσεις

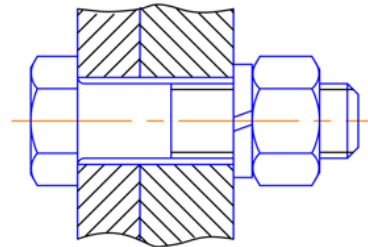


Γέφυρα Golden Gate με ηλώσεις

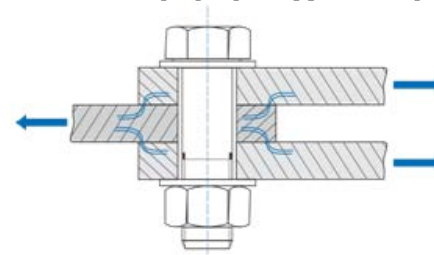
2. Κοχλίες και Κοχλιώσεις



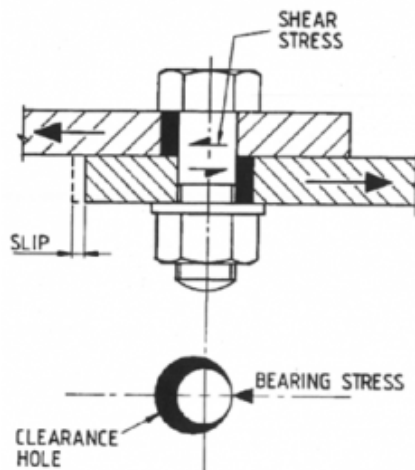
Κοχλίας



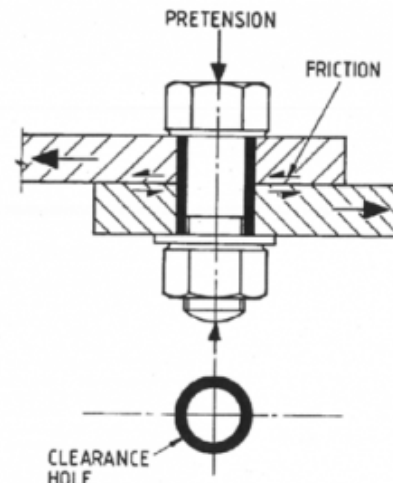
Μονότμητη κοχλίωση



Δίτμητη κοχλίωση



Συνήθης κοχλίωση



Προεντεταμένη κοχλίωση



Κοχλίωση δοκών



Κοχλίωση δοκών



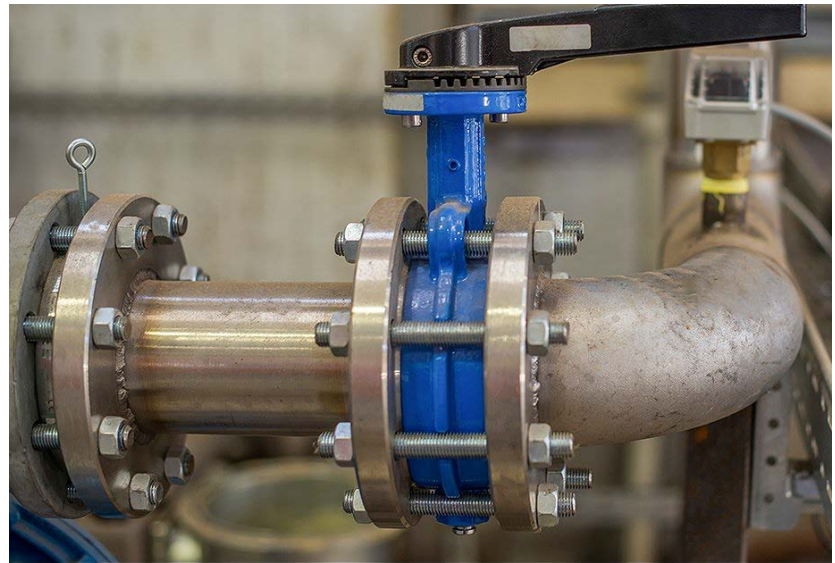
Κοχλίωση δοκών Γεφύρας



Γέφυρα με κοχλιώσεις



Σύνδεσμος με κοχλίες



Σύνδεση φλαντζών σωλήνων με κοχλίες



**Κλειδιά σύσφιγξης κοχλιών
(κοινά και πολύγωνα)**



Ρυθμιζόμενο κλειδί

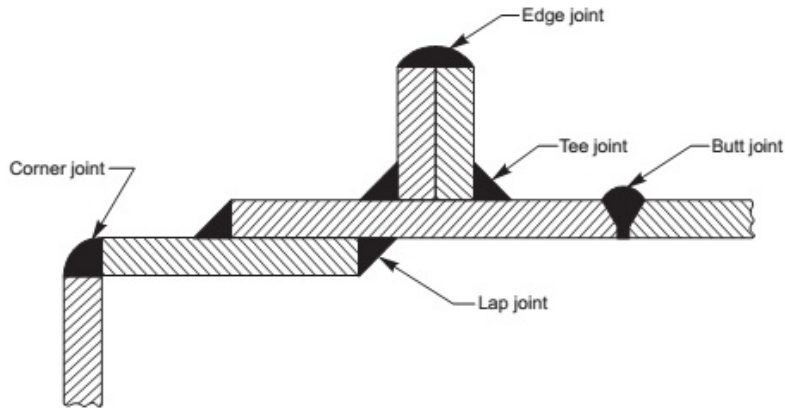


Κλειδί με κασάνια και καρυδάκια



Κλειδιά Allen

3. Συγκολλήσεις



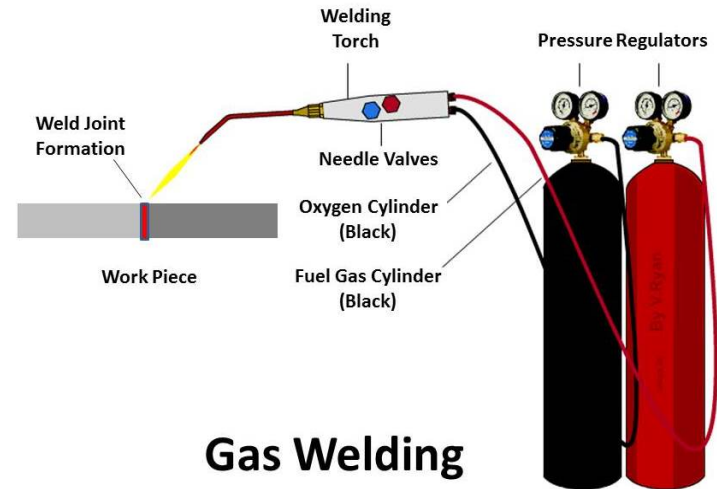
Διάφορες μορφές συγκολλήσεων



Συσκευή ηλεκτροσυγκόλλησης



Συσκευή σημειακών συγκολλήσεων



Gas Welding

Συσκευή οξυγονοκολλήσεων



Ηλεκτροσυγκόλληση σωλήνα δια χειρός



Ρομποτική Ηλεκτροσυγκόλληση



Συγκόλληση κοιλοδοκών με ενισχυτικά νεύρα



Γέφυρα με συγκολλημένες δοκούς

4. Άξονες και άτρακτοι



Άξονας με πολύσφηνο



Άξονας με σφηνόδρομο



Στροφαλοφόρος άξονας μηχανής



Άξονας ατμοστρόβιλου

5. Έδρανα κυλίσεως



Έδρανο κυλίσεως σφαιρικό



Έδρανο κυλίσεως κυλινδρικό



Έδρανο κυλίσεως κωνικό



Έδρανο κυλίσεως βελονοειδές

6. Έδρανα ολισθήσεως



Έδρανο ολισθήσεως με βάση



Δακτύλιος εδράνου ολισθήσεως



Διαιρούμενο έδρανο ολισθήσεως



Ωστικό έδρανο

7. Τροχαλίες και ιμάντες



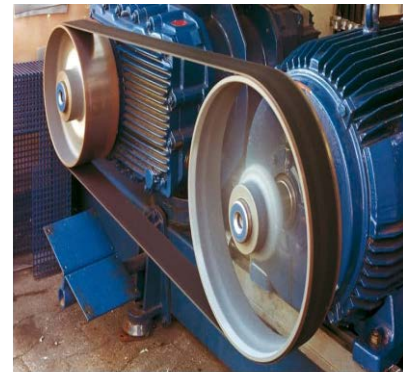
Τροχαλίες για τραπεζοειδείς ιμάντες



Τραπεζοειδείς ιμάντες



Επίπεδοι ιμάντες



Επίπεδος ιμάντας



Οδοντωτός ιμάντας



Ιμάντας χρονισμού



Πολλαπλός τραπεζοειδής ιμάντας

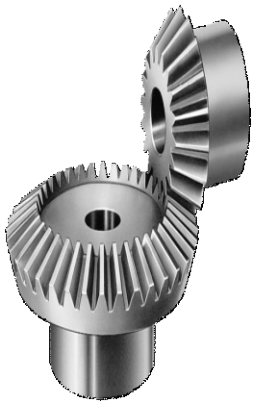
8. Οδοντωτοί τροχοί



**Μετωπικοί οδοντωτοί τροχοί
με ευθύγραμμα δόντια**



**Μετωπικός οδοντωτός τροχός
με ελικοειδή δόντια**



**Κωνικοί οδοντωτοί τροχοί
με ευθύγραμμα δόντια**



**Κωνικοί οδοντωτοί τροχοί
με ελικοειδή δόντια**



Διπλοί ελικοειδείς τροχοί

9. Αλυσίδες και αλυσοτροχοί



Μονή αλυσίδα κινήσεως



Αλυσοτροχός για μονή αλυσίδα

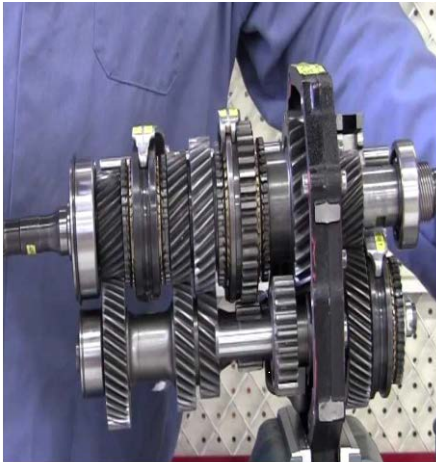


Διπλή αλυσίδα κινήσεως



Αλυσοτροχός για διπλή αλυσίδα

10. Κιβώτια ταχυτήτων, μειωτήρες



Κιβώτιο 4 ταχυτήτων αυτοκινήτου (χειροκίνητο)



Αυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων αυτοκινήτου



Μειωτήρας στροφών



Μειωτήρας στροφών γερανού



Μειωτήρας στροφών με σπύμονα-κορώνια

11. Διαφορικό



Διαφορικό αυτοκινήτου



Διαφορικό αυτοκινήτου

12. Συμπλέκτες, σύνδεσμοι



Δίσκος συμπλέκτη



Δίσκος και πλατύ συμπλέκτη



Ελαστικός σύνδεσμος

13. Σφήνες και πολύσφηνα



Διάφοροι σφήνες



Σφήνες ορθογωνικός



Πολύσφηνο



Σύνδεση οδοντωτού τροχού με πολύσφηνο

14. Ελατήρια



Σπείρωσιδες ελατήριο



Σπειρωσιδες ελατήριο



Ελατήριο με πολλαπλές λάμες (ανάρτηση οχημάτων)

15. Διάφορες μηχανές



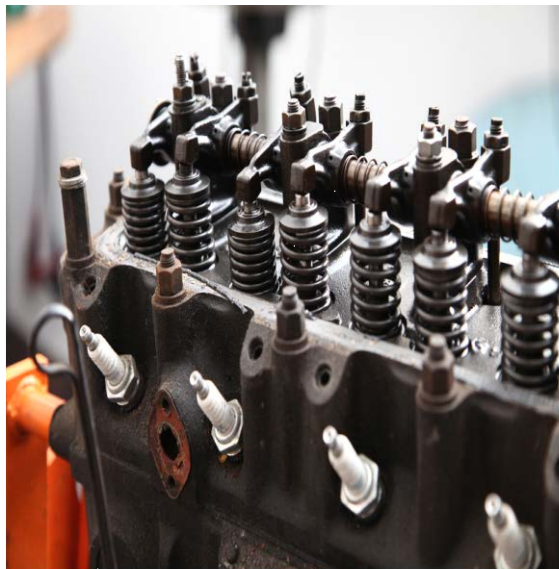
Μηχανή Χαρτοποιίας



Μηχανή αυτοκινήτου



Κινητήρας αυτοκινήτου



Εκκεντροφόρος και βαλβίδες κινητήρα αυτοκινήτου



Στροφαλοφόρος και έμβολα κινητήρα



Στροφαλοφόρος και έμβολα κινητήρα



Ατμοστρόβιλος και ηλεκτρογεννήτρια



Τοποθέτηση στροφείου ατμοστρόβιλου

ΓΕΝΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΗΧΑΝΩΝ

- **ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ**

Η βασικότερη απαίτηση όλων είναι να εξασφαλίζεται από την μηχανή η λειτουργία για την οποία κατασκευάστηκε.

- **ΑΦΑΛΕΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ**

Η μηχανή πρέπει να παρέχει ασφάλεια έναντι κινδύνων για τον άνθρωπο και για την ίδια την μηχανή.

- **ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ**

Η οικονομική κατασκευή καθορίζει την επιτυχή διάθεση του προϊόντος στην αγορά. Σ' αυτό συμβάλλει η χρησιμοποίηση τυποποιημένων ή έτοιμων τεμαχίων και υλικών που διατίθενται στην αγορά.

- **ΕΠΙΛΟΓΗ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ**

Τα υλικά κατασκευής πρέπει να επιλέγονται με τρόπο σωστό και ανάλογα με τις απαιτήσεις των ιδιοτήτων τους, όπως: αντοχή, ελαστικότητα, σκληρότητα, ανθεκτικότητα στην διάβρωση κ.λ.π.

- **ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι παραγωγής, όπως: χύτευση, κοπή και συγκόλληση, σφυρηλάτηση, έλαση, διαμόρφωση με πρέσσα κ.λ.π. Η μέθοδος παραγωγής επηρεάζει σημαντικά την διαμόρφωση των τεμαχίων και για την επιλογή της πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και ο αριθμός των ομοειδών τεμαχίων. Για παράδειγμα η χύτευση είναι πιο συμφέρουσα για μεγάλο αριθμό τεμαχίων.

- **ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΤΕΜΑΧΙΩΝ**

Κάθε τεμάχιο αναλόγως των απαιτήσεων υποβάλλεται σε κατεργασία για να πάρει την τελική μορφή του, την ακρίβεια των διαστάσεων και την κατάλληλη ποιότητα επιφάνειας. Όταν απαιτούνται συναρμογές, οι ανοχές πρέπει να επιλέγονται με προσοχή και να μην είναι μικρότερες από τις αναγκαίες τιμές, διότι οι υπερβολές συντελούν στην αύξηση του κόστους κατασκευής.

- **ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ**

Η συναρμολόγηση των τεμαχίων της μηχανής πρέπει να είναι απλή, διότι συμβάλλει στην μείωση του κόστους. Επίσης πρέπει να υπάρχει καλή πρόσβαση σε όλα τα εξαρτήματα της μηχανής για την εύκολη και γρήγορη αντικατάσταση φθαρμένων τεμαχίων.

- **ΧΕΙΡΙΣΜΟΣ ΜΗΧΑΝΗΣ**

Ο χειρισμός της μηχανής πρέπει να είναι απλός και ασφαλής για την υγεία των εργαζομένων. Γι' αυτό πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και οι κανόνες της εργονομίας. Να υπάρχουν κατάλληλες ενδείξεις στα στοιχεία χειρισμού (πινακίδες, σύμβολα, διαφορετικοί χρωματισμοί κ.ά.), καθώς και διατάξεις για παρεμπόδιση λανθασμένων χειρισμών.

- **ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ**

Η συντήρηση των μηχανών πρέπει να είναι σύντομη και εάν είναι δυνατόν να μην απαιτείται η διακοπή της λειτουργίας της όλης εγκατάστασης. Ο περιοδικός προληπτικός έλεγχος της μηχανής είναι απαραίτητος, διότι έτσι προσδιορίζεται ο χρόνος διακοπής της λειτουργίας για συντήρηση.

ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟΙ ΑΡΙΘΜΟΙ

Το 1870 ο Γάλλος αξιωματικός του Ναυτικού Renard δημιούργησε ακολουθίες τυποποιημένων αριθμών, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την τυποποίηση των διαστάσεων των μηχανολογικών κατασκευών και την διαβάθμιση των τεχνικών και φυσικών μεγεθών, όπως: ισχύς, στροφές, πίεση, διάμετρος κ.ά.

Οι βασικές ακολουθίες τυποποιημένων αριθμών είναι 4 και φέρουν τα ονόματα R5, R10, R20 και R40. Το R είναι από το όνομα του εφευρέτη Renard. Υιοθετήθηκαν από το DIN323 και από τον διεθνή οργανισμό τυποποίησης ISO. Όλες οι ακολουθίες τυποποιημένων αριθμών προκύπτουν με εφαρμογή γεωμετρικής προόδου, με πρώτο όρο το 1 και τελευταίο το 10, και με λόγο αντίστοιχα:

$$\mathbf{R5: } \sqrt[5]{10} = 1,60 \quad \mathbf{R10: } \sqrt[10]{10} = 1,25 \quad \mathbf{R20: } \sqrt[20]{10} = 1,12 \quad \mathbf{R40: } \sqrt[40]{10} = 1,06$$

Δηλαδή γίνεται υποδιαίρεση του διαστήματος των αριθμών 1 έως 10, σε 5, 10, 20, 40 μέρη, όπως δείχνει και ο επόμενος Πίνακας 1. Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου Renard είναι τα εξής:

1. Οι ακολουθίες αριθμών μπορούν να επεκτείνονται χρησιμοποιώντας πολλαπλάσια και υποπολλαπλάσια του 10.
2. Λόγω της γεωμετρικής προόδου το διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών αριθμών γίνεται μεγαλύτερο όσο μεγαλώνουν οι αριθμοί.
3. Κάθε ακολουθία έχει έναντι της προηγούμενης τον διπλάσιο αριθμό όρων, δηλαδή ανάμεσα σε δύο διαδοχικούς όρους μπαίνει και ένας επιπλέον.
4. Γινόμενα ή πηλίκια τυποποιημένων αριθμών είναι και αυτά τυποποιημένοι αριθμοί.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Ακολουθίες τυποποιημένων αριθμών Renard

R5	R10	R20	R40
$(\sqrt[5]{10})^0 = 1,00$	$(\sqrt[10]{10})^0 = 1,00$	$(\sqrt[20]{10})^0 = 1,00$	$(\sqrt[40]{10})^0 = 1,00$
		$(\sqrt[20]{10})^1 = 1,12$	$(\sqrt[40]{10})^1 = 1,06$
	$(\sqrt[10]{10})^1 = 1,25$	$(\sqrt[20]{10})^2 = 1,25$	$(\sqrt[40]{10})^2 = 1,12$
		$(\sqrt[20]{10})^3 = 1,40$	$(\sqrt[40]{10})^3 = 1,18$
		$(\sqrt[20]{10})^4 = 1,60$	$(\sqrt[40]{10})^4 = 1,25$
		$(\sqrt[20]{10})^5 = 1,80$	$(\sqrt[40]{10})^5 = 1,32$
		$(\sqrt[20]{10})^6 = 2,00$	$(\sqrt[40]{10})^6 = 1,40$
		$(\sqrt[20]{10})^7 = 2,24$	$(\sqrt[40]{10})^7 = 1,50$
$(\sqrt[5]{10})^1 = 1,60$	$(\sqrt[10]{10})^2 = 1,60$	$(\sqrt[20]{10})^8 = 1,60$	$(\sqrt[40]{10})^8 = 1,60$
		$(\sqrt[20]{10})^9 = 1,80$	1,70
	$(\sqrt[10]{10})^3 = 2,00$	$(\sqrt[20]{10})^{10} = 2,00$	1,80
		$(\sqrt[20]{10})^{11} = 2,24$	1,90
		$(\sqrt[20]{10})^{12} = 2,50$	2,00
		$(\sqrt[20]{10})^{13} = 2,80$	2,12
		$(\sqrt[20]{10})^{14} = 3,15$	2,24
		$(\sqrt[20]{10})^{15} = 3,55$	2,36
$(\sqrt[5]{10})^2 = 2,50$	$(\sqrt[10]{10})^4 = 2,50$	$(\sqrt[20]{10})^{16} = 2,50$	2,50
		$(\sqrt[20]{10})^{17} = 2,80$	2,65
	$(\sqrt[10]{10})^5 = 3,15$	$(\sqrt[20]{10})^{18} = 3,15$	2,80
		$(\sqrt[20]{10})^{19} = 3,55$	3,00
		$(\sqrt[20]{10})^{20} = 4,00$	3,15
		$(\sqrt[20]{10})^{21} = 4,50$	3,35
		$(\sqrt[20]{10})^{22} = 5,00$	3,55
		$(\sqrt[20]{10})^{23} = 5,60$	3,75
$(\sqrt[5]{10})^3 = 4,00$	$(\sqrt[10]{10})^6 = 4,00$	$(\sqrt[20]{10})^{24} = 4,00$	4,00
		$(\sqrt[20]{10})^{25} = 4,50$	4,25
	$(\sqrt[10]{10})^7 = 5,00$	$(\sqrt[20]{10})^{26} = 5,00$	4,50
		$(\sqrt[20]{10})^{27} = 5,60$	4,75
		$(\sqrt[20]{10})^{28} = 6,30$	5,00
		$(\sqrt[20]{10})^{29} = 7,10$	5,30
		$(\sqrt[20]{10})^{30} = 8,00$	5,60
		$(\sqrt[20]{10})^{31} = 9,00$	6,00
$(\sqrt[5]{10})^4 = 6,30$	$(\sqrt[10]{10})^8 = 6,30$	$(\sqrt[20]{10})^{32} = 6,30$	6,30
		$(\sqrt[20]{10})^{33} = 7,10$	6,70
	$(\sqrt[10]{10})^9 = 8,00$	$(\sqrt[20]{10})^{34} = 8,00$	7,10
		$(\sqrt[20]{10})^{35} = 9,00$	7,50
		$(\sqrt[20]{10})^{36} = 10,00$	8,00
		$(\sqrt[20]{10})^{37} = 11,22$	8,50
		$(\sqrt[20]{10})^{38} = 12,59$	9,00
		$(\sqrt[20]{10})^{39} = 14,13$	9,50
$(\sqrt[5]{10})^5 = 10,00$	$(\sqrt[10]{10})^{10} = 10,00$	$(\sqrt[20]{10})^{20} = 10,00$	$(\sqrt[40]{10})^{40} = 10,00$

ΑΝΟΧΕΣ ΚΑΙ ΣΥΝΑΡΜΟΓΕΣ

Για την σωστή συναρμογή των μηχανολογικών εξαρτημάτων απαιτείται ακρίβεια των διαστάσεων, η οποία προσδιορίζεται με βάση το σύστημα ανοχών. Οι ανοχές είναι τυποποιημένες κατά ISO.

ΟΡΙΣΜΟΙ

- Συναρμογή** είναι ο τρόπος συνεργασίας δύο τεμαχίων, όπως προκύπτει από τις διαφορές των διαστάσεών τους.
- Άξονας** είναι ο χαρακτηρισμός για εξωτερικές διαστάσεις.
- Οπή (ή τρύμα)** είναι ο χαρακτηρισμός για εσωτερικές διαστάσεις.

Για την διάκριση των διαφόρων μεγεθών χρησιμοποιούνται σύμβολα και δείκτες από την γερμανική ορολογία, ήτοι:

T = Toleranz (ανοχή)

IT = International Toleranz (διεθνής ανοχή)

A = Abstand (απόκλιση)

o = oben (άνω)

u = unten (κάτω)

B = Bohrung (οπή)

W = Welle (άξονας)

S = Spiel (χάρη)

- Ονομαστική διάσταση N** είναι η επιθυμητή διάσταση που αναγράφεται στο σχέδιο.
- Μηδενική γραμμή** είναι η γραμμή αναφοράς που αντιστοιχεί στην ονομαστική διάσταση και αποτυπώνεται κατά την γραφική σχεδίαση των ανοχών.
- Πραγματική διάσταση** είναι η διάσταση που διαπιστώνεται κατά την μέτρηση ενός τεμαχίου και η οποία περιέχει τις ανακρίβειες του οργάνου μέτρησης.
- Οριακές διαστάσεις** είναι η μέγιστη και η ελάχιστη διάσταση ανάμεσα στις οποίες πρέπει να βρίσκεται η πραγματική διάσταση.
- Άνω απόκλιση A_o** είναι η αλγεβρική διαφορά μεταξύ μέγιστης διάστασης και ονομαστικής διάστασης.
- Κάτω απόκλιση A_u** είναι η αλγεβρική διαφορά μεταξύ ελάχιστης διάστασης και ονομαστικής διάστασης.
- Πραγματική απόκλιση** είναι η αλγεβρική διαφορά μεταξύ πραγματικής διάστασης και ονομαστικής διάστασης.
- Ανοχή T** είναι η αλγεβρική διαφορά μεταξύ μέγιστης διάστασης και ελάχιστης διάστασης, ή αλλιώς η αλγεβρική διαφορά μεταξύ άνω Απόκλισης A_o και κάτω Απόκλισης A_u . Η Ανοχή T είναι απόλυτο μέγεθος χωρίς πρόσημο (πάντοτε θετικός αριθμός).
- Βασική ανοχή IT** είναι κάθε ανοχή T τυποποιημένη κατά το σύστημα ISO.
- Πεδίο ανοχών** είναι η γραφική απεικόνιση που περιορίζεται από την άνω και κάτω απόκλιση. Το πεδίο ανοχών είναι ένα μικρό ορθογώνιο, το ύψος του οποίου ισούται με το μέγεθος της ανοχής, ενώ η θέση του σε σχέση με την μηδενική γραμμή καθορίζεται από το επιθυμητό μέγεθος της ελευθερίας ή σύσφιγξης της συναρμογής.
- Βαθμίδες βασικής ανοχής (ή ποιότητες)** είναι μια ομάδα ανοχών για οριακές διαστάσεις και συναρμογές που αντιστοιχούν στο ίδιο επίπεδο ακρίβειας για όλες τις ονομαστικές διαστάσεις. Οι βαθμίδες είναι 20, ήτοι: IT01, IT0, IT1, IT2, IT3, IT4, IT5, IT6, IT7, IT8, IT9, IT10, ..., IT18. Στην γενική μηχανολογία χρησιμοποιούνται οι βαθμίδες IT5 έως IT11.

-Κλάση ανοχής είναι η ένδειξη που αποτελείται από ένα γράμμα που δείχνει την θέση του πεδίου ανοχών ως προς την μηδενική γραμμή και τον αριθμό της βαθμίδας της βασικής ανοχής, π.χ. H7, m6.

-Χάρη είναι η διαφορά των διαστάσεων οπής και άξονα όταν η πραγματική διάσταση της οπής είναι μεγαλύτερη.

-Μέγιστη χάρη S_o είναι η αλγεβρική διαφορά μεταξύ μέγιστης διάστασης οπής και ελάχιστης διάστασης άξονα, ή αλλιώς η αλγεβρική διαφορά μεταξύ άνω απόκλισης οπής και κάτω απόκλισης άξονα, ήτοι: $S_o = A_{oB} - A_{uW}$.

-Ελάχιστη χάρη S_u είναι η αλγεβρική διαφορά μεταξύ ελάχιστης διάστασης οπής και μέγιστης διάστασης άξονα, ή αλλιώς η αλγεβρική διαφορά μεταξύ κάτω απόκλισης οπής και άνω απόκλισης άξονα, ήτοι: $S_u = A_{uB} - A_{oW}$.

-Σύσφιγξη είναι η αρνητική χάρη.

-Ανοχή συναρμογής είναι η δυνατή διακύμανση της χάρης μεταξύ δύο τεμαχίων, δηλαδή το άθροισμα των ανοχών οπής και άξονα, ήτοι: $T_p = T_B + T_W$.

Οι ανοχές μετρώνται σε μm . Επειδή οι ονομαστικές διαστάσεις αποτελούν μια μεγάλη σειρά αριθμών έχουν χωριστεί σε περιοχές. Για κάθε περιοχή δίνονται οι τιμές των ανοχών που μπορούν να χρησιμοποιούνται στην πράξη. Στον Πίνακα 2 δίνονται οι τυποποιημένες ανοχές, κατά DIN ISO 286, ανάλογα με την βαθμίδα και την περιοχή ονομαστικών διαστάσεων.

Σημαντικό: Οι τιμές ανοχών T του Πίνακα 2 είναι ίσες με το ύψος του ορθογωνίου του πεδίου ανοχών.

Χαρακτηρισμός είδους συναρμογής: Όταν οι τιμές της μέγιστης και ελάχιστης χάρης είναι θετικές η συναρμογή είναι ελεύθερη, ενώ όταν είναι αρνητικές η συναρμογή είναι σφιχτή. Όταν οι τιμές είναι ετερόσημες η συναρμογή καλείται αμφίβολης σύσφιγξης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: Βασικές ανοχές T, σε μm

Ονομαστική διάσταση σε mm		Βαθμίδες ανοχών (ποιότητες) IT																
από	έως	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	3	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	1000	1400
3	6	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	1200	1800
6	10	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1500	2200
10	18	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800	2700
18	30	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100	3300
30	50	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500	3900
50	80	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000	4600
80	120	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500	5400
120	180	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000	6300
180	250	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600	7200
250	315	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200	8100
315	400	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5700	8900
400	500	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300	9700

IT = *International Tolerance*

ΜΕΓΕΘΟΣ ΑΝΟΧΗΣ

Οι τιμές του Πίνακα 2 προκύπτουν με βάση τον συντελεστή ανοχής i , ο οποίος για κάθε βαθμίδα είναι πολλαπλάσιο των τυποποιημένων αριθμών της σειράς R5. Δηλαδή για κάθε περιοχή ονομαστικών διαστάσεων εφαρμόζονται οι παρακάτω τιμές:

IT	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
T	.	.	.	7 <i>·i</i>	10 <i>·i</i>	16 <i>·i</i>	25 <i>·i</i>	40 <i>·i</i>	64 <i>·i</i>	100 <i>·i</i>	160 <i>·i</i>	250 <i>·i</i>	400 <i>·i</i>	640 <i>·i</i>	1000 <i>·i</i>	1600 <i>·i</i>	2500 <i>·i</i>

-Για ονομαστικές διαστάσεις $0 < N \leq 500$ mm λαμβάνεται:

$$i = 0,45 \cdot \sqrt[3]{D} + 0,001 \cdot D \quad \text{όπου} \quad D = \sqrt{D_1 \cdot D_2} \quad (i \text{ σε } \mu\text{m}, D, D_1, D_2 \text{ σε mm})$$

D_1 = αρχική τιμή περιοχής διαστάσεων, σε mm

D_2 = τελική τιμή περιοχής διαστάσεων, σε mm

Παράδειγμα

Έστω ονομαστική διάσταση άξονα $N = 65$ mm. Σύμφωνα με τον Πίνακα 2, η ονομαστική διάσταση ανήκει στην περιοχή $D_1 = 50$ mm έως $D_2 = 80$ mm. Ο γεωμετρικός μέσος D είναι: $D = \sqrt{50 \cdot 80} = 63,25$ mm. Ο συντελεστής ανοχής i είναι:

$$i = 0,45 \cdot \sqrt[3]{63,25} + 0,001 \cdot 63,25 = 1,856 \mu\text{m}$$

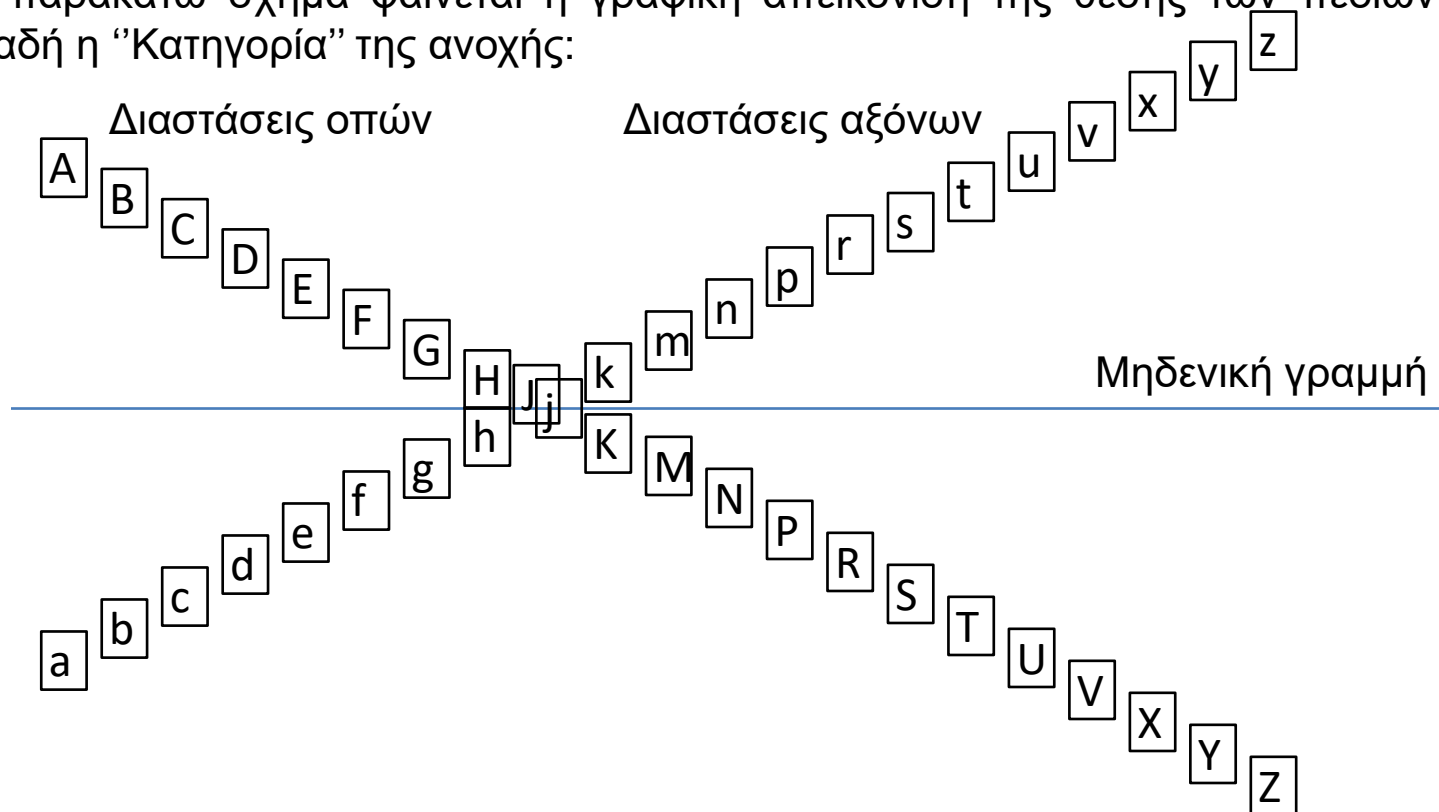
Για την βαθμίδα IT=8, η ανοχή T είναι: $T = 25 \cdot i = 25 \cdot 1,856 = 46,4 \approx 46 \mu\text{m}$

Για την βαθμίδα IT=10, η ανοχή T είναι: $T = 64 \cdot i = 64 \cdot 1,856 = 118,8 \approx 120 \mu\text{m}$

ΘΕΣΗ ΠΕΔΙΟΥ ΑΝΟΧΩΝ

Η θέση του πεδίου ανοχών σε σχέση με την μηδενική γραμμή καθορίζεται με βάση την τυποποίηση κατά DIN ISO 286 και χαρακτηρίζεται από ένα γράμμα του αγγλικού αλφαβήτου. Με κεφαλαία γράμματα από A έως Z συμβολίζονται τα πεδία ανοχών για οπές και με μικρά γράμματα a έως z συμβολίζονται τα πεδία ανοχών για άξονες. Για κάθε γράμμα δίνεται σε πίνακες η άνω ή κάτω απόκλιση της διάστασης (δες Πίνακα 3 και 4). Ο χαρακτηρισμός αυτός της θέσης του πεδίου καλείται “Κατηγορία” της ανοχής. Μετά το γράμμα ακολουθεί ο αριθμός βαθμίδας. Το ζεύγος γράμμα-αριθμός τοποθετείται μετά την ονομαστική διάσταση και έτσι προκύπτει ο πλήρης συμβολισμός της ανοχής ενός τεμαχίου, π.χ. Άξονας 25^Φh7, οπή 42^ΦF6.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η γραφική απεικόνιση της θέσης των πεδίων ανοχών, δηλαδή η “Κατηγορία” της ανοχής:



ΠΙΝΑΚΑΣ 3: Άνω και κάτω απόκλιση διαστάσεων αξόνων, σε μm

Όνομαστική διάσταση mm		Άνω απόκλιση A _{0W}						Κάτω απόκλιση A _{uW}																								
		c	d	e	f	g	h	js	j		k		m	n	p	r	s	t	u	x	z	za	zb	zc								
από	έως	Όλες οι ποιότητες						Απόκλιση = ± $\frac{IT}{Z}$ (η ανοχή IT από Πίνακα 5)	IT5 και IT6	IT7	IT4 έως IT7	άνω της IT7	Όλες οι ποιότητες																			
3	6	-70	-30	-20	-10	-4	0		-2	-4	+1	0	+4	+8	+12	+15	+19	-	+23	+28	+35	+42	+50	+80								
6	10	-80	-40	-25	-13	-5	0		-2	-5	+1	0	+6	+10	+15	+19	+23	-	+28	+34	+42	+52	+67	+97								
10	14	-95	-50	-32	-16	-6	0		-3	-6	+1	0	+7	+12	+18	+23	+28	-	+33	+40	+50	+64	+90	+130								
14	18																								+45	+60	+77	+108	+150			
18	24	-110	-65	-40	-20	-7	0		-4	-8	+2	0	+8	+15	+22	+28	+35	-	+41	+54	+73	+98	+136	+188								
24	30																								+41	+48	+64	+88	+118	+160	+218	
30	40	-120	-80	-50	-25	-9	0		-5	-10	+2	0	+9	+17	+26	+34	+43	+48	+60	+80	+112	+148	+200	+274								
40	50	-130																							+54	+70	+97	+136	+180	+242	+325	
50	65	-140	-100	-60	-30	-10	0		-7	-12	+2	0	+11	+20	+32	+41	+53	+66	+87	+122	+172	+226	+300	+405								
65	80	-150																							+43	+59	+75	+102	+146	+210	+274	+360
80	100	-170	-120	-72	-36	-12	0		-9	-15	+3	0	+13	+23	+37	+51	+71	+91	+124	+178	+258	+335	+445	+585								
100	120	-180																							+54	+79	+104	+144	+210	+310	+400	+525
120	140	-200	-145	-85	-43	-14	0		-11	-18	+3	0	+15	+27	+43	+63	+92	+122	+170	+248	+365	+470	+620	+800								
140	160	-210						+65																	+100	+134	+190	+280	+415	+535	+700	+900
160	180	-230						+68																	+108	+146	+210	+310	+465	+600	+780	+1000
180	200	-240	-170	-100	-50	-15	0	-13	-21	+4	0	+17	+31	+50	+77	+122	+166	+236	+350	+520	+670	+880	+1150									
200	225	-260																						+80	+130	+180	+258	+385	+575	+740	+960	+1250
225	250	-280																						+84	+140	+196	+284	+425	+640	+820	+1050	+1350
250	280	-300	-190	-110	-56	-17	0	-16	-26	+4	0	+20	+34	+56	+94	+158	+218	+315	+475	+710	+920	+1200	+1550									
280	315	-330																						+98	+170	+240	+350	+525	+790	+1000	+1300	+1700
315	355	-360	-210	-125	-62	-18	0	-18	-28	+4	0	+21	+37	+62	+108	+190	+268	+390	+590	+900	+1150	+1500	+1900									
355	400	-400																						+114	+208	+294	+435	+660	+1000	+1300	+1650	+2100
400	450	-440	-230	-135	-68	-20	0	-20	-32	+5	0	+23	+40	+68	+126	+232	+330	+490	+740	+1100	+1450	+1850	+2400									
450	500	-480																						+132	+252	+360	+540	+820	+1250	+1600	+2100	+2600

ΠΙΝΑΚΑΣ 4: Άνω και κάτω απόκλιση διαστάσεων **ΟΤΩΝ**, σε μm

Νομαστική διάσταση mm		Κάτω απόκλιση A _{υB}							Άνω απόκλιση A _{οB}													δ σε μm												
		C	D	E	F	G	H	Js	J	K	M	N	P...ZC	P	R	S	T	U	X	Z	ZA							ZB	ZC					
πρό	έως	Όλες οι ποιότητες							IT6	IT7	IT8	έως IT8	έως IT8	έως IT8	έως IT7	Όλες οι ποιότητες άνω της IT7													IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8
3	6	+70	+30	+20	+10	+4	0	Απόκλιση = ± $\frac{IT}{2}$ (η ανοχή IT από Πίνακα 5)	+5	+6	+10	-1+δ	-4+δ	-8+δ	Τιμές όπως οι διδόμενες για τις ποιότητες άνω της IT7 αυξημένες κατά δ	-12	-15	-19	-	-23	-28	-35	-42	-50	-80	1	1,5	1	3	4	6			
6	10	+80	+40	+25	+13	+5	0		+5	+8	+12	-1+δ	-6+δ	-10+δ		-15	-19	-23	-	-28	-34	-42	-52	-67	-97	1	1,5	2	3	6	7			
10	14	+95	+50	+32	+16	+6	0		+6	+10	+15	-1+δ	-7+δ	-12+δ		-18	-23	-28	-	-33	-40	-50	-64	-90	-130	1	2	3	3	7	9			
14	18								+8	+12	+20	-2+δ	-8+δ	-15+δ		-22	-28	-35	-	-41	-54	-73	-98	-136	-188	1,5	2	3	4	8	12			
18	24	+110	+65	+40	+20	+7	0		+8	+12	+20	-2+δ	-8+δ	-15+δ		-26	-34	-43	-48	-60	-80	-112	-148	-200	-274	1,5	3	4	5	9	14			
24	30								+10	+14	+24	-2+δ	-9+δ	-17+δ		-32	-41	-53	-66	-87	-122	-172	-226	-300	-405	2	3	5	6	11	16			
30	40	+120	+80	+50	+25	+9	0		+10	+14	+24	-2+δ	-9+δ	-17+δ		-37	-51	-71	-91	-124	-178	-258	-335	-445	-585	2	4	5	7	13	19			
40	50	+130							+13	+18	+28	-2+δ	-11+δ	-20+δ		-43	-59	-75	-102	-146	-210	-274	-360	-480	3	4	6	7	15	23				
50	65	+140	+100	+60	+30	+10	0		+13	+18	+28	-2+δ	-11+δ	-20+δ		-43	-65	-100	-134	-190	-280	-415	-535	-700	-900	3	4	6	7	15	23			
65	80	+150							+16	+22	+34	-3+δ	-13+δ	-23+δ		-50	-80	-130	-180	-258	-385	-575	-740	-960	-1250	3	4	6	9	17	26			
80	100	+170	+120	+72	+36	+12	0		+16	+22	+34	-3+δ	-13+δ	-23+δ		-56	-94	-158	-218	-315	-475	-710	-920	-1200	-1550	4	4	7	9	20	29			
100	120	+180							+18	+26	+41	-3+δ	-15+δ	-27+δ		-56	-98	-170	-240	-350	-525	-790	-1000	-1300	-1700	4	5	7	11	21	32			
120	140	+200	+145	+85	+43	+14	0		+18	+26	+41	-3+δ	-15+δ	-27+δ		-62	-108	-190	-268	-390	-590	-900	-1150	-1500	-1900	4	5	7	11	21	32			
140	160	+210							+22	+30	+47	-4+δ	-17+δ	-31+δ		-68	-122	-166	-236	-350	-520	-670	-880	-1150	5	5	7	13	23	34				
160	180	+230	+170	+100	+50	+15	0		+22	+30	+47	-4+δ	-17+δ	-31+δ		-68	-126	-232	-330	-490	-740	-1100	-1450	-1850	-2400	5	5	7	13	23	34			
180	200	+240							+25	+36	+55	-4+δ	-20+δ	-34+δ		-68	-132	-252	-360	-540	-820	-1250	-1600	-2100	-2600	5	5	7	13	23	34			
200	225	+260	+190	+110	+56	+17	0		+25	+36	+55	-4+δ	-20+δ	-34+δ		-62	-114	-208	-294	-435	-660	-1000	-1300	-1650	-2100	4	5	7	11	21	32			
225	250	+280							+29	+39	+60	-4+δ	-21+δ	-37+δ		-62	-114	-208	-294	-435	-660	-1000	-1300	-1650	-2100	4	5	7	11	21	32			
250	280	+300	+210	+125	+62	+18	0		+25	+36	+55	-4+δ	-20+δ	-34+δ		-62	-114	-208	-294	-435	-660	-1000	-1300	-1650	-2100	4	5	7	11	21	32			
280	315	+330							+29	+39	+60	-4+δ	-21+δ	-37+δ		-62	-114	-208	-294	-435	-660	-1000	-1300	-1650	-2100	4	5	7	11	21	32			
315	355	+360	+230	+135	+68	+20	0	+29	+39	+60	-4+δ	-21+δ	-37+δ	-62	-114	-208	-294	-435	-660	-1000	-1300	-1650	-2100	4	5	7	11	21	32					
355	400	+400						+33	+43	+66	-5+δ	-23+δ	-40+δ	-62	-114	-208	-294	-435	-660	-1000	-1300	-1650	-2100	4	5	7	11	21	32					
400	450	+440	+230	+135	+68	+20	0	+33	+43	+66	-5+δ	-23+δ	-40+δ	-62	-114	-208	-294	-435	-660	-1000	-1300	-1650	-2100	4	5	7	11	21	32					
450	500	+480						+33	+43	+66	-5+δ	-23+δ	-40+δ	-62	-114	-208	-294	-435	-660	-1000	-1300	-1650	-2100	4	5	7	11	21	32					

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΠΕΔΙΟΥ ΑΝΟΧΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΑΡΗΣ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ

Έδρανο κυλίσσεως (ρουλεμάν) τοποθετείται σε άξονα διαμέτρου $d=45$ mm με κλάση συναρμογής $45^{\text{H6/k5}}$. Να δειχθούν σε σκαρίφημα τα πεδία ανοχών, να υπολογιστεί η μέγιστη και ελαχίστη χάρη της συναρμογής, και να χαρακτηριστεί το είδος της συναρμογής.

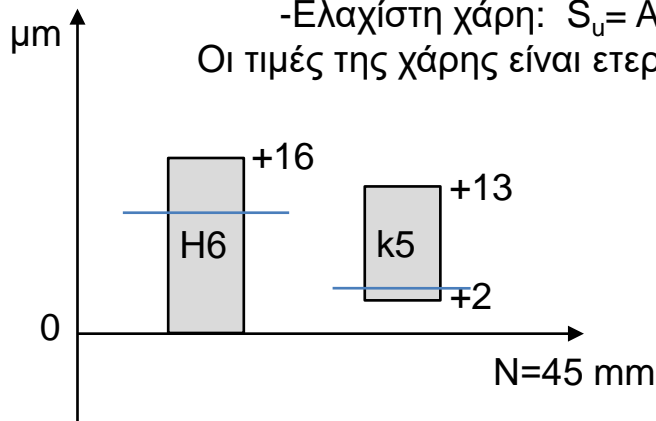
(α) Οπή H6: Για να γίνεται σωστά η συναρμογή του εδράνου με τον άξονα πρέπει η οπή του εδράνου και ο άξονας να έχουν την ίδια ονομαστική διάμετρο, δηλαδή 45 mm. Ο Πίνακας 4 θα μας δώσει την θέση του ορθογωνίου. Η διάμετρος οπής 45 mm ανήκει στην περιοχή διαστάσεων 40 έως 50 mm. Στην στήλη H του πίνακα φαίνεται η κάτω απόκλιση της διάστασης οπής ίση με μηδέν, δηλαδή το ορθογώνιο της οπής "κάθεται" πάνω στην μηδενική γραμμή. Ο Πίνακας 2 θα μας δώσει το ύψος του ορθογωνίου. Η διάμετρος οπής 45 mm ανήκει στην περιοχή διαστάσεων 30 έως 50 mm. Για την βαθμίδα 6 βλέπουμε ότι η ανοχή T, δηλαδή το ύψος του ορθογωνίου, είναι 16 μm . Κατόπιν αυτών για την οπή έχουμε: Κάτω απόκλιση $A_{uB}=0$ και πάνω απόκλιση $A_{oB}=+16$ μm .

(β) Άξονας k5: Ο Πίνακας 3 θα μας δώσει την θέση του ορθογωνίου. Η διάμετρος άξονα 45 mm ανήκει στην περιοχή διαστάσεων 40 έως 50 mm. Στην στήλη k (IT4 έως IT7, διότι η βαθμίδα είναι 5) του πίνακα φαίνεται η κάτω απόκλιση της διάστασης άξονα ίση με +2, δηλαδή το ορθογώνιο του άξονα είναι πάνω από την μηδενική γραμμή. Ο Πίνακας 2 θα μας δώσει το ύψος του ορθογωνίου. Η διάμετρος άξονα 45 mm ανήκει στην περιοχή διαστάσεων 30 έως 50 mm. Για την βαθμίδα 5 βλέπουμε ότι η ανοχή T, δηλαδή το ύψος του ορθογωνίου, είναι 11 μm . Κατόπιν αυτών για τον άξονα έχουμε: Κάτω απόκλιση $A_{uW}=+2$ μm και πάνω απόκλιση $A_{oW}=+2+11=+13$ μm .

$$\text{-Μέγιστη χάρη: } S_o = A_{oB} - A_{uW} = +16 - (+2) = +14 \mu\text{m}$$

$$\text{-Ελαχίστη χάρη: } S_u = A_{uB} - A_{oW} = +0 - (+13) = -13 \mu\text{m}$$

Οι τιμές της χάρης είναι ετερόσημες, άρα η συναρμογή είναι αμφίβολης σύσφιγξης.



ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΟΧΩΝ

Επειδή τα στοιχεία ανοχών για οπή και άξονα υπολογίζονται χωριστά είναι δυνατός κάθε συνδυασμός κατηγορίας οπής με κατηγορία άξονα. Επίσης σε μια μηχανή ή σε ένα τμήμα της μηχανής μπορεί να έχουμε πολλές συναρμογές και τότε προκύπτει μεγάλος αριθμός συνδυασμών. Για να απλοποιήσουμε τα πράγματα, μπορούμε να έχουμε την επιθυμητή ποιότητα κάθε συναρμογής, εάν καθορίσουμε την κατηγορία οπής σε μια σταθερή τιμή για όλες τις συναρμογές και επιλέξουμε την κατάλληλη κατηγορία κάθε άξονα, ώστε να επιτύχουμε την επιθυμητή χάρη ή σύσφιγξη των συναρμογών. Ως τέτοια κατηγορία ορίζεται η κατηγορία H και τότε έχουμε το “Σύστημα Βασικής Οπής”, δηλαδή όλες οι εσωτερικές διαστάσεις (οπές) της κατασκευής θα έχουν ελάχιστη διάσταση ίση με την ονομαστική. Είναι όμως δυνατό να καθορίσουμε την κατηγορία του άξονα για όλες τις συναρμογές και να επιλέξουμε την κατάλληλη κατηγορία κάθε οπής, ώστε να επιτύχουμε την επιθυμητή χάρη ή σύσφιγξη των συναρμογών. Ως τέτοια κατηγορία ορίζεται η κατηγορία h και τότε έχουμε το “Σύστημα Βασικού Άξονα”, δηλαδή όλες οι εξωτερικές διαστάσεις (άξονες) της κατασκευής θα έχουν μέγιστη διάσταση ίση με την ονομαστική. Δεν υπάρχει καθαρή υπεροχή του ενός συστήματος έναντι του άλλου, ούτε ακριβής διαχωρισμός του είδους κατασκευών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Πάντως το σύστημα βασικής οπής προτιμείται περισσότερο επειδή δίνει οικονομικότερες κατασκευές, μπορούν όμως να χρησιμοποιηθούν παράλληλα και τα δύο συστήματα στην ίδια κατασκευή.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΝΑΓΡΑΦΗΣ ΑΝΟΧΩΝ ΣΤΑ ΣΧΕΔΙΑ

-Η διάσταση 60 mm μπορεί να είναι:

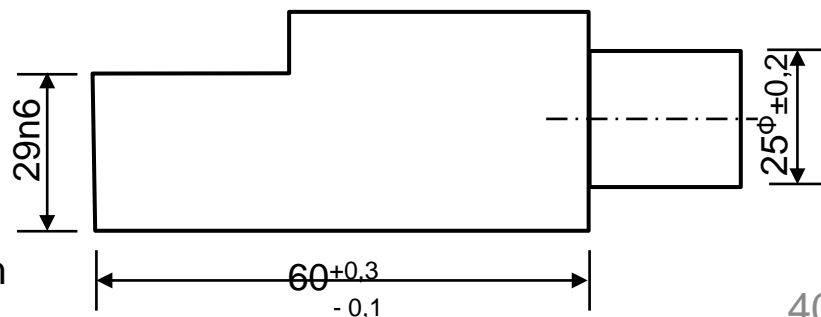
59,9 mm έως 60,3 mm

-Η διάμετρος 25 mm μπορεί να είναι:

24,8 mm έως 25,2 mm

-Η διάσταση 29 mm για κλάση n6 είναι με βάση τον Πίνακα 5:

$n6 \left[\begin{matrix} +28 \\ +15 \end{matrix} \right]$, δηλαδή 29,015 mm έως 29,028 mm



ΚΛΑΣΕΙΣ ΑΝΟΧΩΝ

Ο συμβολισμός των ανοχών με γράμμα και αριθμό, π.χ. H7, r6 κ.λ.π., ονομάζεται “κλάση” της ανοχής. Εάν πρόκειται για συναρμογή δύο τεμαχίων (άξονα-οπής) γράφουμε τον πλήρη συμβολισμό H7/r6, θέτοντας πάντοτε πρώτα την κλάση της οπής και μετά την κλάση του άξονα. Οι κλάσεις αυτές διαχωρίζονται με μια κάθετο. Μαζί με την ονομαστική διάσταση αποτελούν τον πλήρη συμβολισμό ανοχών μιας συναρμογής, π.χ. 63F9/h5.

Εάν προσδιορίσουμε με βάση τους πίνακες τα στοιχεία ανοχών, δηλαδή την άνω και κάτω απόκλιση, μπορούμε να γράψουμε τις ανοχές ως εξής:

$$36^{\Phi}j6 \begin{bmatrix} +11 \\ -5 \end{bmatrix} \quad \text{ή} \quad 74S7 \begin{bmatrix} -48 \\ -78 \end{bmatrix}$$

Για διευκόλυνση στον προσδιορισμό της άνω και κάτω απόκλισης υπάρχουν πίνακες που δίνουν για διάφορους συνδυασμούς (κλάσεις) κατευθείαν την άνω και κάτω απόκλιση. Τέτοιοι είναι ο Πίνακας 5 για άξονες και ο Πίνακας 6 για οπές. Με βάση τον Πίνακα 5 προσδιορίστηκαν τα στοιχεία της διαμέτρου άξονα $36^{\Phi}j6$ και με βάση τον Πίνακα 6 προσδιορίστηκαν τα στοιχεία της διάστασης οπής 74S7, που αναγράφηκαν παραπάνω.

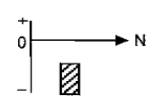
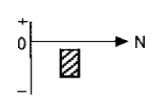
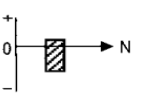
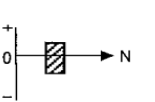
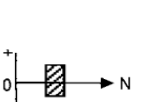

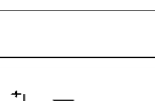

ΠΙΝΑΚΑΣ 5: Άνω και κάτω απόκλιση διαστάσεων αξόνων για διάφορες κλάσεις ανοχών (μm)

Ονομαστική διάσταση σε mm	από	έως	j6	js6	k6	m6	n6	p6	r6	s6	t6	u6	x6	z6	f7	h7	
	1	3	+4 -2	-	+6 0	+8 +2	+10 +4	+12 +6	+16 +10	+20 +14	-	+24 +18	+26 +20	+32 +26	-6 -16	0 -10	
	3	6	+6 -2	±4	+9 +1	+12 +4	+16 +8	+20 +12	+23 +15	+27 +19	-	+31 +23	+36 +28	+43 +35	-10 -22	0 -12	
	6	10	+7 -2	±4,5	+10 +1	+15 +6	+19 +10	+24 +15	+28 +19	+32 +23	-	+37 +28	+43 +34	+51 +42	-13 -28	0 -15	
	10	14	+8 -3	±5,5	+12 +1	+18 +7	+23 +12	+29 +18	+34 +23	+39 +28	-	+44 +33	+51	+61	-16	0	
	14	18											+40	+50			+56
	18	24	+9 -4	±6,5	+15 +2	+21 +8	+28 +15	+35 +22	+41 +28	+48 +35	-	+54 +41	+67	+86	-20	0	
	24	30											+54	+73			+61
	30	40	+11 -5	±8	+18 +2	+25 +9	+33 +17	+42 +26	+50 +34	+59 +43	+64 +48	+76 +60	+96	+128	-25	0	
	40	50											+70	+86			+113
	50	65	+12 -7	±9,5	+21 +2	+30 +11	+39 +20	+51 +32	+60	+72	+85	+106	+141	-	-30	0	
	65	80							+41	+53	+66	+87	+122				-30
	80	100	+13 -9	±11	+25 +3	+35 +13	+45 +23	+59 +37	+73	+93	+113	+146	+200	-	-36	0	
	100	120							+51	+71	+91	+124	+178				-36
	120	140	+14 -11	±12,5	+28 +3	+40 +15	+52 +27	+68 +43	+88	+117	+147	+195	+273	-	-43	0	
	140	160							+63	+92	+122	+170	+248				-43
	160	180							+90	+125	+159	+210	+280				-43
								+65	+100	+134	-	+305	+280	-83	-40		
								+93	+133	+171	-	+335					
								+68	+108	+146		+310					

ΠΙΝΑΚΑΣ 6: Άνω και κάτω απόκλιση διαστάσεων **οπών** για διάφορες κλάσεις ανοχών (μm)

Ονομαστική διάσταση οπής σε mm	από	έως	H7	J7	K7	M7	N7	P7	R7	S7	T7	U7	X7	Z7	ZA7
	1	3	+10 0	+4 -6	0 -10	-2 -12	-4 -14	-6 -16	-10 -20	-14 -24	-	-18 -28	-20 -30	-26 -36	-32 -42
	3	6	+12 0	+6 -6	+3 -9	0 -12	-4 -16	-8 -20	-11 -23	-15 -27	-	-19 -31	-24 -36	-31 -43	-38 -50
	6	10	+15 0	+8 -7	+5 -10	0 -15	-4 -19	-9 -24	-13 -28	-17 -32	-	-22 -37	-28 -43	-36 -51	-46 -61
	10	14	+18 0	+10	+6	0	-5	-11	-16	-21	-	-26	-33	-43	-57
	14	18		-8	-12	-18	-23	-29	-34	-39		-44	-51	-61	-75
	18	24	+21 0	+12	+6	0	-7	-14	-20	-27	-	-33	-46	-65	-
	24	30		-9	-15	-21	-28	-35	-41	-48		-54	-67	-86	
	30	40	+25 0	+14	+7	0	-8	-17	-25	-34	-	-39	-51	-71	-
	40	50		-11	-18	-25	-33	-42	-50	-59		-64	-76	-96	
	50	65	+30 0	+18	+9	0	-9	-21	-30	-42	-	-55	-76	-111	-
	65	80		-12	-21	-30	-39	-51	-60	-72		-85	-106	-141	
	80	100	+35 0	+22	+10	0	-10	-24	-38	-58	-	-78	-111	-165	-
	100	120		-13	-25	-35	-45	-59	-73	-93		-113	-146	-200	
	120	140	+40 0	+26 -14	+12 -28	0 -40	-12 -52	-28 -68	-48	-77	-107	-155	-233	-	-
	140	160							-88	-117	-147	-195	-273		
	160	180							-50	-85	-119	-175	-265		
								-90	-125	-159	-215	-305			
								-53	-93	-131	-195	-295			
								-93	-133	-171	-235	-335			

Πίνακας 7: Παραδείγματα συναρμογών για διάφορες πρακτικές εφαρμογές

Σύστημα "Βασικής Οπής"	Πεδίο διακύμανσης χάρης (Η αρνητική χάρη δηλώνει σύσφιγξη)	Σύστημα "Βασικού Άξονα"	Παραδείγματα εφαρμογών
Συναρμογές σύσφιγξης			
H7/z8 H8/x8 H8/u8 H7/u6		Z8/h6 X7/h6 X8/h6 U7/h6	Τεμάχια που τοποθετούνται μόνο με θέρμανση ή ψύξη. Σταθερή σύνδεση πάνω σε άξονες ή ατράκτους: οδοντωτών τροχών, συνδέσμων, σφονδύλων, δακτυλίων. Δεν απαιτείται πρόσθετη ασφάλεια έναντι περιστροφής.
H6/s5 H7/s6 H6/r5 H7/r6		S6/h5 S7/h6 R6/h5 R7/h6	Τεμάχια που τοποθετούνται με μεγάλη πίεση ή θέρμανση ή ψύξη. Δακτύλιοι εδράνων σε κελύφη μηχανών, δακτύλιοι σε πλήμνες τροχών, σύνδεσμοι στα άκρα ατράκτων, φτερωτές αντλίων σε ατράκτους, έδρες βαλβίδων. Δεν απαιτείται πρόσθετη ασφάλεια έναντι περιστροφής.
Συναρμογές αμφίβολης σύσφιγξης			
H6/n5 H7/n6 H8/n7		N6/h5 N7/h6 N8/h7	Τεμάχια που τοποθετούνται με πίεση. Στεφάνες τροχών σε σώματα τροχών, δακτύλιοι εδράνων σε κελύφη μηχανών και σε πλήμνες τροχών, σύνδεσμοι στα άκρα ατράκτων, μετωπικοί τροχοί και κοχλιοτοί τροχοί. Απαιτείται πρόσθετη ασφάλεια έναντι περιστροφής.
H6/m5 H7/m6 H8/m7		M6/h5 M7/h6 M8/h7	Τεμάχια που τοποθετούνται με μικρή πίεση. Στοιχεία σε ατράκτους μεγάλου μήκους ή στα άκρα ατράκτων, όπως οδοντωτοί τροχοί, τροχαλίες, πείροι εμβόλων, σταθεροί κυλινδρικοί πείροι. Απαιτείται πρόσθετη ασφάλεια έναντι περιστροφής.
H6/k5 H7/k6 H8/k7		K6/h5 K7/h6 K8/h7	Τεμάχια που τοποθετούνται με ελαφρά κτυπήματα σφυριού. Στοιχεία σε ατράκτους μεγάλου μήκους ή στα άκρα ατράκτων, όπως οδοντωτοί τροχοί, τροχαλίες, σύνδεσμοι, δίσκοι ή τύμπανα πέδησης. Χειροστρόφαλοι, σταθερή συναρμογή εδράνων κυλίσσεως, σταθερά βλήτρα. Απαιτείται πρόσθετη ασφάλεια έναντι περιστροφής.
H6/j5 H7/j6 H8/j7		J6/h5 J7/h6 J8/h7	Τεμάχια που τοποθετούνται με ελαφρά κτυπήματα ξυλόσφυρου ή με το χέρι. Στοιχεία που πρέπει να τοποθετούνται ή να αφαιρούνται εύκολα, όπως οδοντωτοί τροχοί, τροχαλίες, χειροστρόφαλοι, δακτύλιοι. Συναρμογή εμβόλων σε βάρτρα εμβόλων. Απαιτείται πρόσθετη ασφάλεια έναντι περιστροφής.
Ελεύθερες συναρμογές			
H7/h6 H8/h7 H8/h9 H11/h9		H7/h6 H8/h9 H11/h9	Τεμάχια που μετακινούνται ακόμη και με την δύναμη του χεριού. Στοιχεία που ολισθαίνουν πάνω σε άξονες ή ατράκτους, όπως ανταλλακτικοί τροχοί, φλάντζες κεντραρίσματος συνδέσμων, χαλαροί δακτύλιοι εμβόλων, δακτύλιοι θέσης ή απόστασης, άξονες κεντροφορέων.
H7/g6 H8/g7		G7/h6 G8/h7	Τεμάχια που μετακινούνται χωρίς αισθητή χάρη. Έδρανα ολισθήσεως για ατράκτους εργασίας, τροχοί και σύνδεσμοι που μετακινούνται, ανταλλακτικοί τροχοί, έδρανα δικωστήρων. Εμβολα βαλβίδων, έδρανα ακριβείας.

ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

1. ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΜΟΡΦΗ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

Οι επιφάνειες των διαφόρων τεμαχίων παρουσιάζουν ανωμαλίες, οι οποίες προκύπτουν από τον τρόπο της κατεργασίας αυτών. Οι ανωμαλίες χαρακτηρίζονται ως **αποκλίσεις μορφής** της επιφάνειας από την θεωρητική (ιδεατή) επιφάνεια. Για την μελέτη των αποκλίσεων απαιτείται να δοθούν αρχικά οι παρακάτω ορισμοί:

-**Πραγματική επιφάνεια**, είναι η επιφάνεια ενός στοιχείου όπως αυτή προκύπτει μετά από μετρήσεις.

-**Γεωμετρική επιφάνεια**, είναι η θεωρητική επιφάνεια, η μορφή της οποίας ορίζεται στο σχέδιο ή από άλλα τεχνικά στοιχεία. Αυτή είναι η επιθυμητή μορφή της επιφάνειας του στοιχείου.

-**Αποκλίσεις μορφής**, είναι το σύνολο των αποκλίσεων της πραγματικής από την γεωμετρική ή θεωρητική επιφάνεια.

Οι αποκλίσεις κατατάσσονται σε 6 τάξεις, σύμφωνα με το DIN 4760.

1^η Τάξη, αποκλίσεις στην ευθυγράμμιση, στρογγυλότητα, επιπεδότητα κ.ά.

2^η Τάξη, κυμάτωση της επιφάνειας

3^η Τάξη, τραχύτητα. Η επιφάνεια εμφανίζει ορατούς αύλακες.

4^η Τάξη, τραχύτητα. Η επιφάνεια εμφανίζει ορατές ραβδώσεις ή ξεφλούδισμα.

5^η Τάξη, τραχύτητα. Η επιφάνεια εμφανίζει ανωμαλίες στην κρυσταλλική δομή του υλικού.

6^η Τάξη, ανωμαλίες στην διάρθρωση του πλέγματος του υλικού, εντός των κρυστάλλων.

Μόνο οι τάξεις 3^η, 4^η και 5^η χαρακτηρίζονται ως **τραχύτητα**.

2. ΜΕΓΕΘΗ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ

Για την ένδειξη της ποιότητας μιας επιφάνειας χρησιμοποιούνται τα παρακάτω μεγέθη τραχύτητας. Με την βοήθεια μικροσκοπίου πρέπει να αποτυπωθεί η μορφή της επιφάνειας του τεμαχίου:

-**Μέση τραχύτητα R_a** , είναι η μέση τιμή των απόλυτων τιμών των αποκλίσεων y_i από την μέση γραμμή, εντός του μήκους δειγματοληψίας ℓ_m . Η μέση γραμμή ορίζεται με τις παρακάτω σχέσεις και αποτυπώνεται πάνω στην απεικόνιση της τραχείας επιφάνειας:



Το μήκος δειγματοληψίας πρέπει να επιλέγεται τέτοιο ώστε να περιλαμβάνει όλες τις πληροφορίες για την ανωμαλία της επιφάνειας. Για την εύρεση της μέσης γραμμής ορίζουμε τυχαίο σύστημα συντεταγμένων (xOy) και υπολογίζουμε για κάθε dx ή Δx τις αντίστοιχες τιμές y ή y_i . Στην συνέχεια εφαρμόζουμε μια από τις παραπάνω σχέσεις και υπολογίζουμε το \bar{y} το οποίο ορίζει την θέση της μέσης γραμμής.

Έχοντας προσδιορίσει την θέση της μέσης γραμμής προχωράμε στον υπολογισμό της μέσης τραχύτητας R_a με την βοήθεια των παρακάτω τύπων και υπολογίζοντας τα ύψη y ή y_i από την μέση γραμμή, όπως δείχνει το ακόλουθο σχήμα, ήτοι:

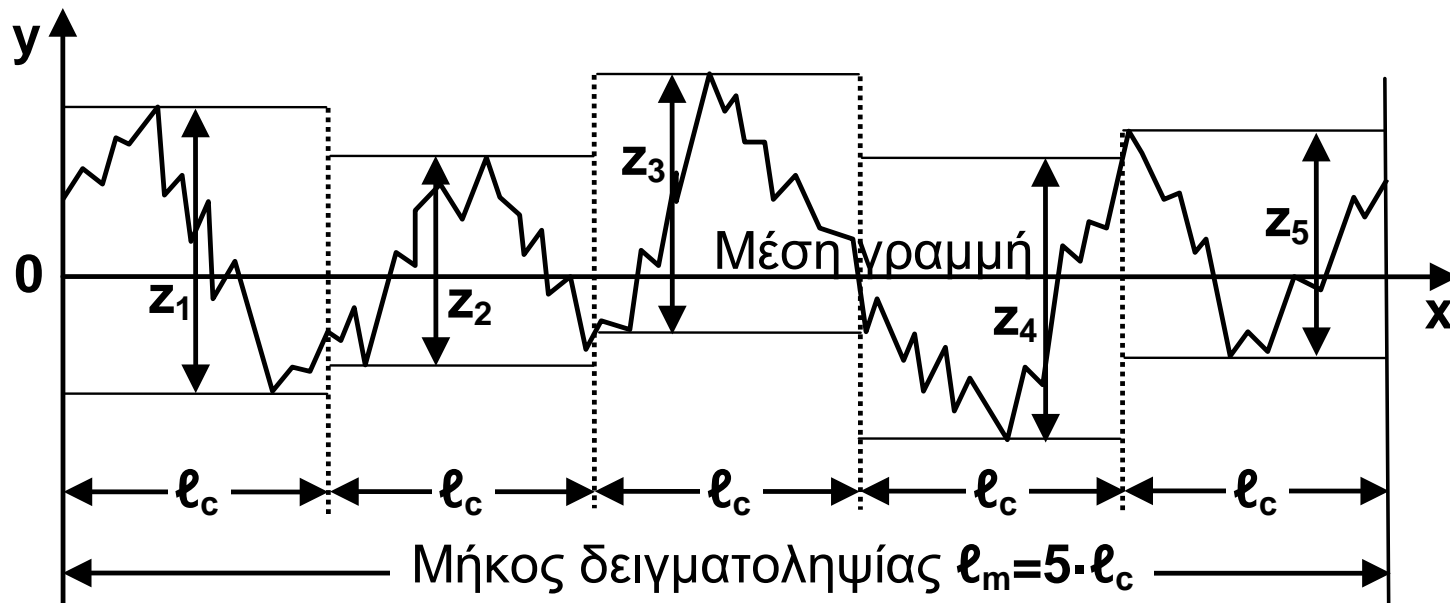
$$R_a = \frac{1}{\ell_m} \int_0^{\ell_m} |y| \cdot dx \quad \text{ή} \quad R_a = \frac{1}{\ell_m} \sum_{i=1}^n |y_i| \cdot \Delta x$$



Τα ύψη y ή y_i μετρούμενα από την μέση γραμμή είναι θετικά και αρνητικά, αλλά στις σχέσεις της μέσης τραχύτητας R_a τίθενται με απόλυτη τιμή (θετικά). Εάν ισοπεδώσουμε όλες τις ανωμαλίες πάνω από την μέση γραμμή προκύπτει η στάθμη (α), ενώ εάν ισοπεδώσουμε τις ανωμαλίες κάτω από την μέση γραμμή προκύπτει η στάθμη (β). Το συνολικό ύψος μεταξύ των γραμμών (α) και (β) είναι η μέση τραχύτητα R_a .

-**Μέσο βάθος τραχύτητας R_z** , είναι ο μέσος όρος του βάθους τραχύτητας z σε 5 συνεχόμενα μήκη μέτρησης l_c , στα οποία διαιρείται το μήκος δειγματοληψίας l_m . Κάθε βάθος z λαμβάνεται ως η διαφορά μεταξύ του υψηλότερου και βαθύτερου σημείου εντός του μήκους l_c , όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Για τον υπολογισμό του R_z χρησιμοποιούμε την σχέση:

$$R_z = \frac{z_1 + z_2 + z_3 + z_4 + z_5}{5}$$



Η τιμή της μέσης τραχύτητας R_a είναι πάντοτε μικρότερη από την τιμή του μέσου βάθους τραχύτητας R_z .

-**Μέγιστο βάθος τραχύτητας R_{max}** , είναι το μέγιστο βάθος που προκύπτει εντός του μήκους δειγματοληψίας l_m , δηλαδή είναι το μεγαλύτερο από τα 5 βάθη που μετρήθηκαν στα μήκη l_c . Για το μέγιστο βάθος τραχύτητας γράφουμε την σχέση:

$$R_{max} = \max\{z_1, z_2, z_3, z_4, z_5\}$$

Παρατηρώντας το παράδειγμα του προηγούμενου σχήματος και συγκρίνοντας τις τιμές των z , βλέπουμε ότι το R_{max} είναι ίσο με το z_1 .




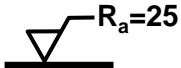
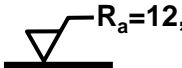
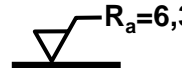
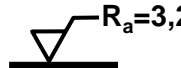

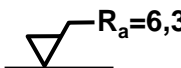
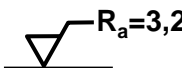
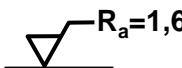
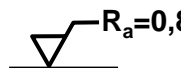

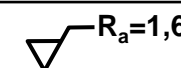
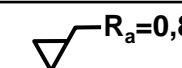
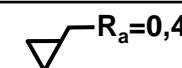
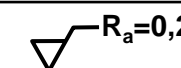

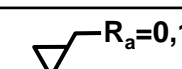
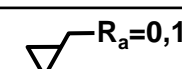
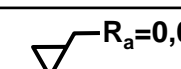
3. ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟ ΕΙΔΟΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ

Το μέγεθος της τραχύτητας που προκύπτει ανάλογα με το είδος της κατεργασίας του στοιχείου φαίνεται στα παρακάτω παραδείγματα:

-Χύτευση σε άμμο:	$R_a=12,5$ έως $100 \mu\text{m}$	$R_z=50,0$ έως $250 \mu\text{m}$
-Σφυρηλασία:	$R_a=2,0$ έως $12,5 \mu\text{m}$	$R_z=10,0$ έως $100 \mu\text{m}$
-Τόρνευση κατά μήκος:	$R_a=0,8$ έως $12,5 \mu\text{m}$	$R_z=4,0$ έως $63,0 \mu\text{m}$
-Πλάνισμα:	$R_a=1,0$ έως $25,0 \mu\text{m}$	$R_z=6,3$ έως $100 \mu\text{m}$
-Διάνοιξη οπών:	$R_a=6,3$ έως $12,5 \mu\text{m}$	$R_z=40,0$ έως $160 \mu\text{m}$
-Λείανση:	$R_a=0,2$ έως $0,8 \mu\text{m}$	$R_z=1,6$ έως $4,0 \mu\text{m}$
-Στίλβωση:	$R_a=0,025$ έως $0,2 \mu\text{m}$	$R_z=0,16$ έως $1,6 \mu\text{m}$

4. ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΣΤΑ ΣΧΕΔΙΑ

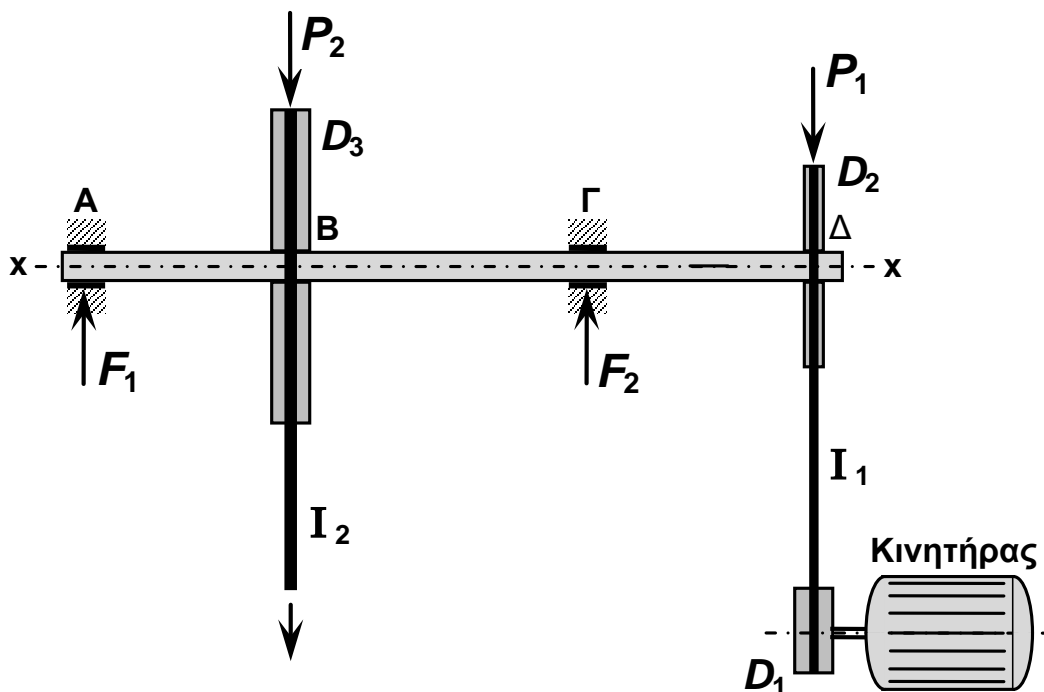
Η αποδεκτή τραχύτητα των επιφανειών αναγράφεται στα σχέδια με κατάλληλα σύμβολα. Παλαιότερα γινόταν ο συμβολισμός κατά DIN 3141 με ένα ή περισσότερα μικρά τρίγωνα. Σήμερα χρησιμοποιούνται τα σύμβολα κατά DIN ISO 1302, πάνω στα οποία αναγράφεται η αποδεκτή τιμή της μέσης τραχύτητας R_a . Η αντιστοιχία των παλαιών και νέων συμβολισμών φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Ποιότητα επιφάνειας	Παλαιοί συμβολισμοί κατά DIN 3141	Νέοι συμβολισμοί κατά DIN ISO 1302			
		Σειρά 1	Σειρά 2	Σειρά 3	Σειρά 4
Χωρίς συμβολισμό	—	—	—	—	—
Χωρίς κατεργασία		 Λεία			
Μικρή λείανση		 $R_a=25$	 $R_a=12,5$	 $R_a=6,3$	 $R_a=3,2$
Αρκετή λείανση		 $R_a=6,3$	 $R_a=3,2$	 $R_a=1,6$	 $R_a=0,8$
Υψηλή λείανση		 $R_a=1,6$	 $R_a=0,8$	 $R_a=0,4$	 $R_a=0,2$
Υπερλείανση			 $R_a=0,1$	 $R_a=0,1$	 $R_a=0,025$

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΕ ΑΝΤΟΧΗ

1. ΑΣΚΟΥΜΕΝΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΣΕ ΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΟ

Οι ασκούμενες δυνάμεις σε ένα στοιχείο διακρίνονται σε δύο είδη: **Φορτίσεις** και **αντιδράσεις** στις στηρίξεις. Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε ότι ασκούνται δύο φορτίσεις στον άξονα **ΑΔ**. Η πρώτη ασκείται στην θέση **Δ** και προέρχεται από την δράση του ιμάντα **I₁** πάνω στην τροχαλία **D₂** και η δεύτερη προέρχεται από την δράση του ιμάντα **I₂** πάνω στην τροχαλία **D₃**. Αυτές είναι η **P₁** και η **P₂**. Για την στήριξη του άξονα υπάρχουν δύο έδρανα, στις θέσεις **Α** και **Γ**. Επομένως έχουμε και δύο αντιδράσεις στις στηρίξεις, οι οποίες είναι η **F₁** και η **F₂**.



2. ΕΙΔΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΩΝ

Κάθε στοιχείο στις μηχανές υφίσταται διάφορες καταπονήσεις. Αυτές διακρίνονται σε διάφορα είδη, όπως:

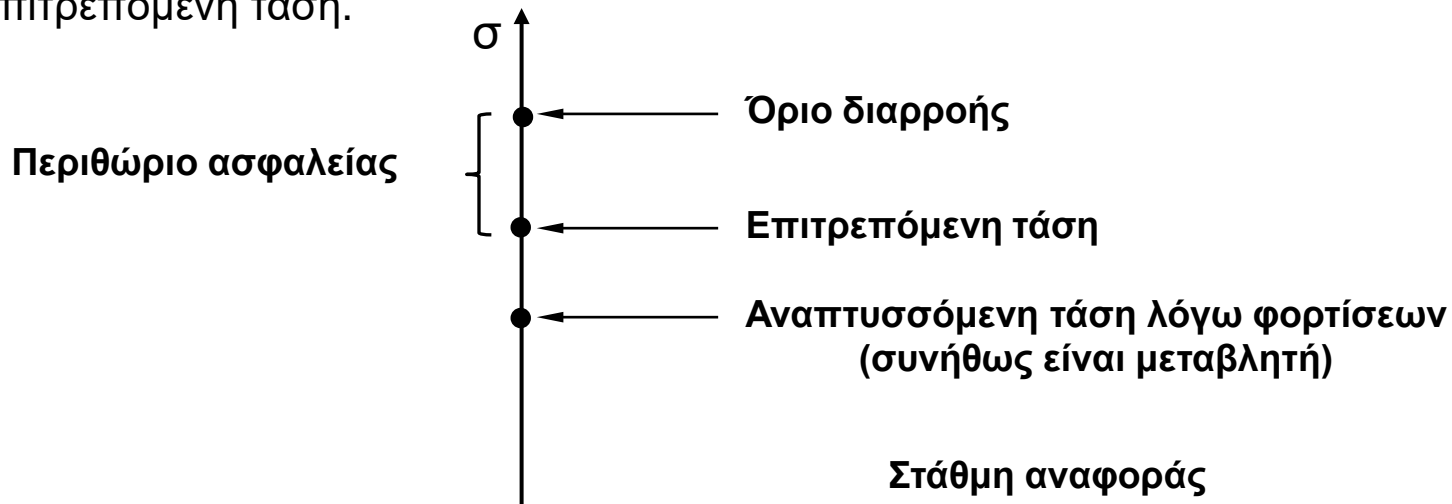
- Εφελκυσμός
- Θλίψη
- Κάμψη
- Στρέψη
- Λυγισμός
- Διάτμηση
- Πίεση επιφάνειας

Σε πολλές περιπτώσεις έχουμε στο ίδιο στοιχείο συνδυασμό δύο ή περισσότερων από τις παραπάνω καταπονήσεις. Τον συνδυασμό αυτόν ονομάζουμε **σύνθετη καταπόνηση**. Εάν οι φορτίσεις μένουν αμετάβλητες κατά την διάρκεια της λειτουργίας της μηχανής, τότε αυτές ονομάζονται **στατικές φορτίσεις**. Σε άλλες περιπτώσεις και ιδίως σε περιστρεφόμενα στοιχεία μηχανών έχουμε μεταβαλλόμενες φορτίσεις, είτε ως προς το μέγεθος, είτε την θέση, ή την ένταση αυτών. Αυτές τις ονομάζουμε **δυναμικές καταπονήσεις**.

Ο υπολογισμός και η δράση αυτών των καταπονήσεων είναι διαφορετική, γι' αυτό είναι σημαντικό να μπορεί κανείς να εντοπίζει σωστά το είδος της καταπόνησης και να προβαίνει στον σωστό υπολογισμό, ώστε να εξασφαλίζεται η αντοχή και η διάρκεια ζωής του στοιχείου. Ο υπολογισμός αντοχής με στατικές φορτίσεις είναι ευκολότερος, ενώ ο υπολογισμός αντοχής με δυναμικές φορτίσεις είναι πιο περίπλοκος. Για υπολογισμούς μεταλλικών κατασκευών από χάλυβα είναι υποχρεωτική η εφαρμογή του Ευρωκώδικα 3, όμως ο Κανονισμός αυτός δεν καλύπτει όλες τις περιπτώσεις στα Στοιχεία Μηχανών και γι' αυτό θα αναφέρουμε στα επόμενα τις κλασικές μεθόδους υπολογισμού.

3. ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΕΣ ΤΑΣΕΙΣ

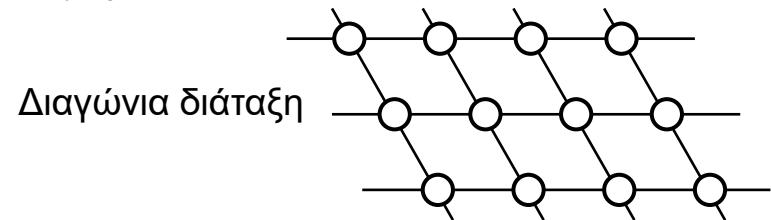
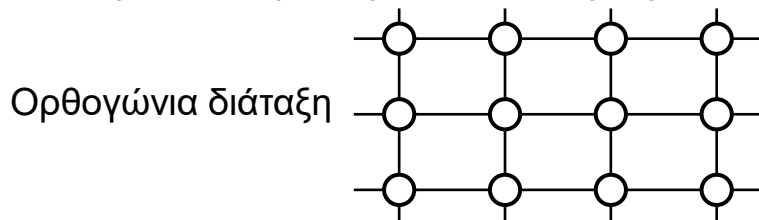
Σύμφωνα με τις κλασικές μεθόδους, η εξασφάλιση της αντοχής ενός στοιχείου ελέγχεται με βάση την **επιτρεπόμενη τάση** του υλικού με το οποίο έχει κατασκευαστεί. Γι' αυτό πρέπει να γίνει κατανοητό ότι η επιτρεπόμενη τάση είναι χαρακτηριστική ιδιότητα του υλικού και όχι των φορτίσεων. Οι επιτρεπόμενες τάσεις των διαφόρων υλικών έχουν προκύψει από πειράματα βάσει Κανονισμών και δίνονται σε πίνακες. Για τα στοιχεία μηχανών ως οριακή τάση λαμβάνεται συνήθως το όριο διαρροής του υλικού, διότι πάνω από αυτό οι παραμορφώσεις είναι πολύ μεγάλες και προκαλούν δυσλειτουργίες. Η επιτρεπόμενη τάση ορίζεται με τιμή μικρότερη από το όριο διαρροής του υλικού, λαμβάνοντας υπόψη ένα ικανοποιητικό περιθώριο ασφαλείας, μέσω του **συντελεστή ασφαλείας**. Συνεπώς όταν χρησιμοποιούμε επιτρεπόμενες τάσεις, αυτές περιέχουν ενσωματωμένο τον συντελεστή ασφαλείας. Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε μια απεικόνιση των τάσεων. Ο έλεγχος της αντοχής του στοιχείου γίνεται με σύγκριση της μέγιστης αναπτυσσόμενης τάσης λόγω των φορτίσεων, ώστε αυτή να μην υπερβαίνει την επιτρεπόμενη τάση.



4. ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ

Τα στοιχεία που καταπονούνται σε εφελκυσμό έχουν συνήθως την μορφή **ράβδου**. Οι ράβδοι συνδέονται είτε μεταξύ τους είτε σε σταθερά σημεία στήριξης με διάφορα μέσα σύνδεσης, όπως ήλοι, κοχλίες, συγκολλήσεις κ.ά. Ο υπολογισμός ήλων και κοχλιών σε εφελκυσμό έχει πολλές ομοιότητες, ενώ οι συγκολλήσεις εξετάζονται ιδιαίτερως.

Στις συνδέσεις με ήλους ή κοχλίες διανοίγονται οπές στα ελάσματα με διάμετρο **d**. Οι οπές διατάσσονται σύμφωνα με την **ορθογώνια** διάταξη ή την **διαγώνια** διάταξη. Οι αποστάσεις μεταξύ των οπών κατά μήκος των σειρών διατηρούνται ίδιες σε όλες τις σειρές, ομοίως ίδιες και σε όλες τις στήλες της διάταξης.



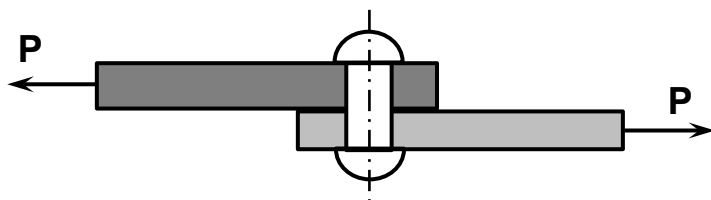
Για την τοποθέτηση των ήλων ή κοχλιών λαμβάνεται η διάμετρος της οπής **d** κατά 1 mm μεγαλύτερη από την διάμετρο **d₁** του κορμού του ήλου ή κοχλία, δηλαδή ισχύει:

$$d = d_1 + 1 \text{ mm}$$

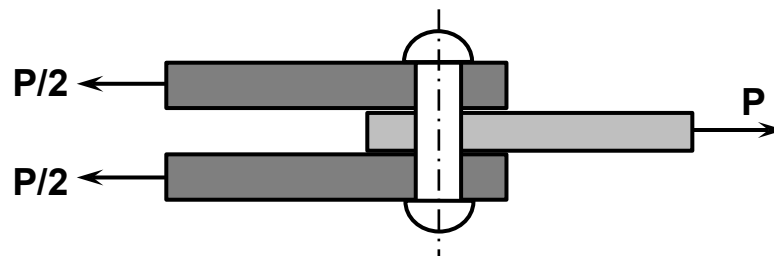
Κατά την τοποθέτηση των ήλων (σφυρηλασία εν θερμώ) ο κορμός του ήλου διογκούται και γεμίζει την οπή, γι' αυτό σε όλους τους υπολογισμούς ήλων χρησιμοποιείται η διάμετρος οπής **d**. Για τους κοχλίες η διάμετρος του κορμού **d₁** δεν μεταβάλλεται, οπότε ο υπολογισμός κοχλιών σε θέματα που αφορούν την οπή γίνεται με διάμετρο **d** και σε θέματα που αφορούν τον κορμό του κοχλία με διάμετρο **d₁**.

-**Ράβδος**, καλείται το στοιχείο εκείνο που καταπονείται μόνο από αξονικές δυνάμεις. Μερικές φορές ενδέχεται να αναπτύσσονται και καμπτικές ροπές στο στοιχείο, οι οποίες οφείλονται σε τυχόν εκκεντρότητες στα σημεία σύνδεσης και όχι στην παρουσία εγκάρσιων φορτίων.

Οι συνδέσεις με ήλους ή κοχλίες διακρίνονται σε **μονότμητες** ή **δίτμητες**. Μερικές φορές έχουμε και πολύτμητες συνδέσεις. Οι μονότμητες είναι αυτές κατά τις οποίες η διάτμηση του κορμού του ήλου ή κοχλία ασκείται σε μία θέση της διατομής, ενώ δίτμητες καλούνται εκείνες οι συνδέσεις κατά τις οποίες η διάτμηση ασκείται σε δύο θέσεις της διατομής, όπως φαίνεται στα παρακάτω σχήματα.



Μονότμητη σύνδεση



Δίτμητη σύνδεση

Για τον έλεγχο αντοχής σε εφελκυσμό ενός ελάσματος το οποίο συνδέεται με ήλους ή κοχλίες χρησιμοποιούμε την σχέση:

$$\sigma_{υπ} = \frac{P}{F_n} \leq \sigma_{z,επ}$$

όπου: $\sigma_{υπ}$ =υπάρχουσα τάση εφελκυσμού (N/mm²), P =εφαρμοζόμενη δύναμη εφελκυσμού (N), F_n =χρήσιμη διατομή ελάσματος (mm²), $\sigma_{z,επ}$ =επιτρεπόμενη τάση υλικού σε εφελκυσμό (N/mm²)

Για τον υπολογισμό της χρήσιμης διατομής απαιτείται να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή. Συγκεκριμένα ως **χρήσιμη διατομή** τίθεται η καθαρή επιφάνεια της διατομής του ελάσματος πάνω στην **κρίσιμη τομή θραύσης**, δηλαδή από την πλήρη διατομή αφαιρούνται οι οπές που υπάρχουν στην κρίσιμη τομή θραύσης, επειδή δεν συμμετέχουν στην μεταφορά της δύναμης. Επομένως πρέπει πρώτα να προσδιοριστεί η κρίσιμη τομή θραύσης του ελάσματος.

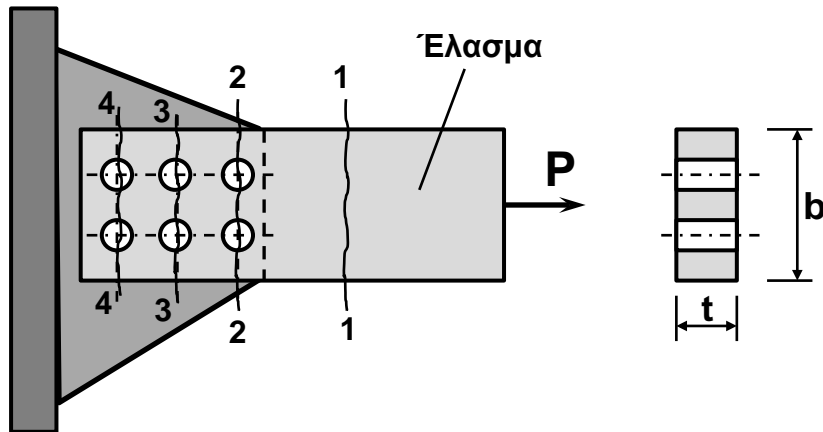
Θα δείξουμε τον τρόπο υπολογισμού με το παράδειγμα του παρακάτω σχήματος, στο οποίο ένα έλασμα ορθογωνικής διατομής συνδέεται με 6 κοχλίες σε ένα κομβόελασμα.

Ο υπολογισμός της χρήσιμης διατομής γίνεται με την σχέση:

$$F_n = F - \Delta F = F - n^* \cdot d \cdot t$$

όπου: F = πλήρης διατομή, ΔF = αφαιρούμενη διατομή, n^* = αριθμός οπών στην κρίσιμη τομή θραύσης, d = διάμετρος οπής, t = πάχος ελάσματος.

Στις συνδέσεις με ήλους ή κοχλίες θεωρούμε ότι η συνολική δύναμη P επιμερίζεται εξ ίσου σε αυτούς. Εάν εξετάσουμε διάφορες υποψήφιες θέσεις ως επικίνδυνες διατομές, δηλαδή αυτές που έχουμε σημειώσει με τους αριθμούς 1, 2, 3, 4, παρατηρούμε τα εξής:



-**Θέση 1-1.** Ασκούμενη δύναμη P . Πλήρης διατομή $F=b \cdot t$. Αφαιρούμενη διατομή $\Delta F=0$, άρα $F_n=F$. Υπάρχουσα τάση $\sigma_{\text{υπ}}^{(1)}=P/F$.

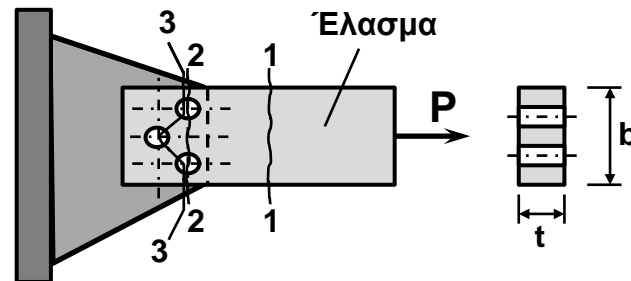
-**Θέση 2-2.** Ασκούμενη δύναμη P . Πλήρης διατομή $F=b \cdot t$. Αφαιρούμενη διατομή $\Delta F=$ δύο οπές, άρα $F_n=F-2 \cdot d \cdot t$. Υπάρχουσα τάση $\sigma_{\text{υπ}}^{(2)}=P/(F-2 \cdot d \cdot t)$.

Μεταξύ των θέσεων 1 και 2 παρατηρούμε ότι η υπάρχουσα τάση στην θέση 2 είναι μεγαλύτερη από αυτήν στην θέση 1, διότι είναι μικρότερος ο παρανομαστής, δηλαδή ισχύει: $\sigma_{\text{υπ}}^{(2)} \geq \sigma_{\text{υπ}}^{(1)}$.

-**Θέση 3-3.** Ασκούμενη δύναμη $2P/3$, διότι το $1/3$ της δύναμης έχει ήδη μεταφερθεί στο κομβοέλασμα από τους δύο πρώτους κοχλίες στην θέση 2-2. Πλήρης διατομή $F=b \cdot t$. Αφαιρούμενη διατομή $\Delta F=$ δύο οπές, άρα $F_n=F-2 \cdot d \cdot t$. Υπάρχουσα τάση $\sigma_{\text{υπ}}^{(3)}=(2/3)P/(F-2 \cdot d \cdot t)$. Παρατηρούμε ότι η υπάρχουσα τάση στην θέση 3-3 είναι μικρότερη από αυτήν στην θέση 2-2, διότι ο αριθμητής είναι μικρότερος, δηλαδή ισχύει: $\sigma_{\text{υπ}}^{(2)} \geq \sigma_{\text{υπ}}^{(3)}$.

-**Θέση 4-4.** Ασκούμενη δύναμη $P/3$, διότι τα $2/3$ της δύναμης έχουν ήδη μεταφερθεί στο κομβοέλασμα από τους κοχλίες στις θέσεις 2-2 και 3-3. Πλήρης διατομή $F=b \cdot t$. Αφαιρούμενη διατομή $\Delta F=$ δύο οπές, άρα $F_n=F-2 \cdot d \cdot t$. Υπάρχουσα τάση $\sigma_{\text{υπ}}^{(4)}=(1/3)P/(F-2 \cdot d \cdot t)$. Παρατηρούμε ότι η υπάρχουσα τάση στην θέση 4-4 είναι μικρότερη από αυτήν στην θέση 3-3, και πολύ μικρότερη από αυτήν στην θέση 2-2, διότι ο αριθμητής είναι μικρότερος, δηλαδή ισχύει: $\sigma_{\text{υπ}}^{(2)} \geq \sigma_{\text{υπ}}^{(4)}$.

Με βάση τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η κρίσιμη τομή θραύσης είναι η θέση 2-2 στην οποία αφαιρούνται 2 οπές. Γενικά για ορθογωνική διάταξη οπών, με ίσο αριθμό οπών σε κάθε στήλη, η κρίσιμη τομή θραύσης εμφανίζεται στην πρώτη στήλη προς το μέρος της ασκούμενης δύναμης. Εάν έχουμε διαγώνια διάταξη, όπως αυτή του παρακάτω σχήματος, εκτός από την θέση 2-2 πρέπει να εξετάσουμε και την θέση 3-3, η οποία περιλαμβάνει 3 οπές, προκειμένου να διαπιστώσουμε ποια από αυτές είναι η κρισιμότερη. Για την θέση 3-3 η πλήρης διατομή είναι μεγαλύτερη από την F , διότι η διαδρομή ζικ-ζακ μεταξύ των τριών οπών είναι μεγαλύτερη από το πλάτος b του ελάσματος.



5. ΘΛΙΨΗ

Οι ράβδοι που καταπονούνται σε θλίψη συνήθως κινδυνεύουν από λυγισμό. Όταν ο βαθμός λυγηρότητας της ράβδου είναι μικρός, τότε δεν υπάρχει κίνδυνος λυγισμού και ο υπολογισμός σε θλίψη γίνεται με την σχέση:

$$\sigma_{\text{υπ}} = \frac{P}{F} \leq \sigma_{d,\text{επ}}$$

όπου: $\sigma_{\text{υπ}}$ =υπάρχουσα τάση θλίψης (N/mm²), P =εφαρμοζόμενη θλιπτική δύναμη (N), F =πλήρης διατομή ελάσματος (mm²), $\sigma_{d,\text{επ}}$ =επιτρεπόμενη τάση υλικού σε θλίψη (N/mm²)

Εάν η ράβδος συνδέεται με ήλους ή κοχλίες και υπάρχουν οπές, δεν αφαιρούνται οι οπές, διότι συμμετέχουν στην μεταφορά της δύναμης. Επομένως κατά τον υπολογισμό σε θλίψη δεν χρησιμοποιείται η χρήσιμη διατομή του ελάσματος, αλλά η πλήρης διατομή F .

6. ΚΑΜΨΗ

Τα επιμήκη στοιχεία που φέρουν εγκάρσια φορτία καταπονούνται σε κάμψη. Τα στοιχεία αυτά καλούνται **δοκοί**. Οι άξονες και οι άτρακτοι, όταν φέρουν εγκάρσια φορτία, αντιμετωπίζονται επίσης ως δοκοί.

Για τον υπολογισμό των δοκών σε κάμψη αναζητούμε την τάση κάμψης, η οποία εξαρτάται από την ροπή κάμψης, αλλά και από το μέγεθος και την γεωμετρική μορφή της διατομής της δοκού. Η ροπή κάμψης M_b συνήθως δεν είναι σταθερή κατά μήκος της δοκού και για τον λόγο αυτό ελέγχουμε την αντοχή της δοκού στις θέσεις που η ροπή κάμψης γίνεται μεγίστη. Εάν υπάρχει ταυτόχρονα και στρέψη στην δοκό, τότε πρέπει να αναζητήσουμε τις θέσεις με την δυσμενέστερη καταπόνηση. Το μέγεθος και η γεωμετρική μορφή της διατομής χαρακτηρίζεται από την ροπή αντιστάσεως σε κάμψη W_b , η οποία για κυλινδρικά τεμάχια (π.χ. άξονες) ή τυποποιημένα ελάσματα (π.χ. I, L, T) δίνεται σε πίνακες.

Η τάση κάμψης σε δοκούς υπολογίζεται με εφαρμογή της σχέσης:

$$\sigma_{υπ} = \frac{M_b}{W_b} \leq \sigma_{b,επ}$$

όπου: M_b =ροπή κάμψης (N·mm), W_b =ροπή αντιστάσεως σε κάμψη (mm³), $\sigma_{b,επ}$ = επιτρεπόμενη τάση σε κάμψη (N/mm²).

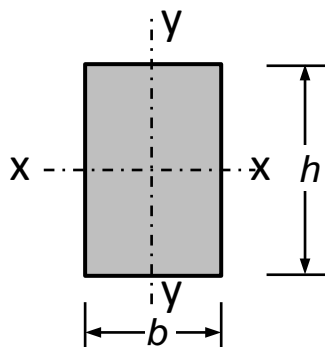
Η ροπή αντιστάσεως σε κάμψη W_b υπολογίζεται με την σχέση:

$$W_b = \frac{I_x}{e_y}$$

όπου: I_x =επιφανειακή ροπή αδρανείας ως προς κεντροβαρικό άξονα x (mm⁴), e_y =απόσταση της πιο απομακρυσμένης θέσης της διατομής από τον άξονα x (mm).

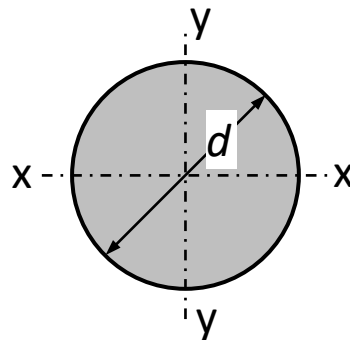
Επιφανειακή ροπή αδρανείας I_x απλών διατομών:

Ορθογωνική διατομή



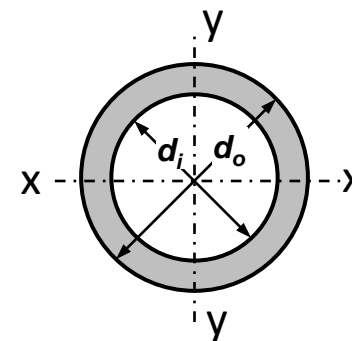
$$I_x = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

Κυκλική συμπαγής διατομή



$$I_x = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$$

Κυκλική κοίλη διατομή



$$I_x = \frac{\pi \cdot (d_o^4 - d_i^4)}{64}$$

7. ΣΤΡΕΨΗ

Στα Στοιχεία Μηχανών περισσότερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα περιστρεφόμενα στοιχεία, όπως οι άτρακτοι ή άξονες, που μεταφέρουν ροπή στρέψης και καταπονούνται σε στρέψη. Ο υπολογισμός γίνεται με εφαρμογή της σχέσης:

$$\tau = \frac{M_t}{W_t} \leq \tau_{\text{επ}}$$

όπου: M_t =ροπή στρέψης (N·mm), W_t =ροπή αντιστάσεως σε στρέψη (mm³), $\tau_{\text{επ}}$ =επιτρεπόμενη τάση σε στρέψη (N/mm²).

Η ροπή αντιστάσεως σε στρέψη W_t κυκλικής διατομής υπολογίζεται με την σχέση:

$$W_t = \frac{J_o}{r} = \frac{2 \cdot J_o}{d}$$

όπου: J_o =πολική ροπή αδρανείας ως προς κέντρο O (mm⁴), r =εξωτερική ακτίνα της διατομής (mm), d =εξωτερική διάμετρος της διατομής (mm).

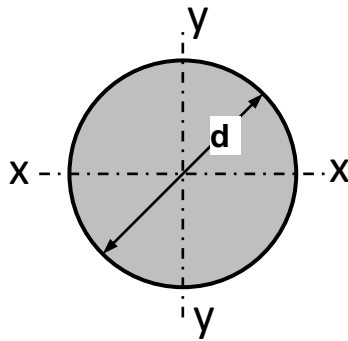
Για την πολική ροπή αδρανείας οποιασδήποτε διατομής ισχύει η σχέση:

$$J_o = I_x + I_y$$

όπου: x και y είναι δύο οποιοδήποτε ορθογώνιοι άξονες της διατομής που τέμνονται στο κέντρο O .

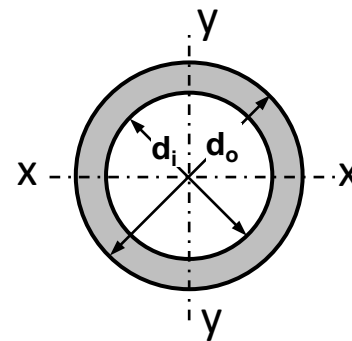
Πολική ροπή αδρανείας J_o απλών διατομών:

Κυκλική συμπαγής διατομή



$$J_o = \frac{\pi \cdot d^4}{32}$$

Κυκλική κοίλη διατομή



$$J_o = \frac{\pi \cdot (d_o^4 - d_i^4)}{32}$$

8. ΛΥΓΙΣΜΟΣ

Όταν μια ευθύγραμμη ράβδος καταπονείται σε θλίψη από αξονική δύναμη είναι δυνατόν να χάσει την ελαστική ευστάθειά της, δηλαδή να χάσει την ευθυγραμμία της και να καμφθεί. Το φαινόμενο αυτό καλείται **λυγισμός**. Κατά την απώλεια της ελαστικής ευστάθειας η παραμόρφωση της ράβδου συνεχίζεται χωρίς την παρεμβολή νέας αιτίας, και οδηγεί στην ανάπτυξη υψηλών τάσεων και την υπέρβαση των ορίων αντοχής της ράβδου με αποτέλεσμα την καταστροφή της. Το φαινόμενο αυτό συμβαίνει πολύ πριν η τάση θλίψης φθάσει το όριο αντοχής της ράβδου και γι' αυτό πρέπει να εξετάζεται με προσοχή, όχι μόνο κατά την λειτουργία ενός φορέα που περιλαμβάνει θλιβόμενες ράβδους, αλλά και κατά την συναρμολόγηση αυτού. Πολλές καταστροφές μεγάλων γεφυρών έγιναν στο παρελθόν λόγω κακού υπολογισμού των θλιβομένων ράβδων, οι οποίες υπέστησαν αστοχία όχι λόγω υπέρβασης των τάσεων θλίψης, αλλά λόγω του φαινομένου λυγισμού.

Ο Euler (1744) ήταν ο πρώτος που μελέτησε θεωρητικά τον λυγισμό μιας ιδανικής ράβδου και υπολόγισε το κρίσιμο φορτίο λυγισμού, δηλαδή το ελάχιστο φορτίο που προκαλεί την απώλεια της ελαστικής ευστάθειας της ράβδου. Μια ράβδος θεωρείται ιδανική όταν ικανοποιούνται οι εξής προϋποθέσεις:

- Η ράβδος είναι απολύτως ευθύγραμμη
- Το υλικό της ράβδου είναι ισότροπο (ομοιογενές)
- Η διατομή της ράβδου είναι ίδια σε όλο το μήκος
- Η ράβδος φορτίζεται με αξονική δύναμη επί του κεντροβαρικού άξονα αυτής

Για αμφιαρθρωτή ράβδο το κρίσιμο φορτίο λυγισμού P_{cr} δίνεται από την σχέση:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{\ell^2}$$

όπου: E =μέτρο ελαστικότητας υλικού (N/mm^2), I =ροπή αδρανείας διατομής (mm^4), ℓ =μήκος ράβδου (mm). Το γινόμενο $E \cdot I$ καλείται **μέτρο δυσκαμψίας** της ράβδου.

Με βάση την ανωτέρω σχέση υπολογίζουμε την κρίσιμη τάση λυγισμού $\sigma_{κ}$ και προκειμένου να απλοποιηθούν οι υπολογισμοί γράφουμε την νέα σχέση ως εξής:

$$\sigma_{κ} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2}$$

όπου: λ =βαθμός λυγηρότητας της ράβδου, ο οποίος είναι αδιάστατος αριθμός και ορίζεται ως ο λόγος:

$$\lambda = \frac{s_{κ}}{i_{min}}$$

όπου: s_k =μήκος λυγισμού (mm), i_{min} =ελαχίστη ακτίνα αδρανείας της διατομής (mm).

Το μήκος λυγισμού s_k εξαρτάται από τον τρόπο στήριξης της ράβδου στα άκρα και υπολογίζεται με την σχέση:

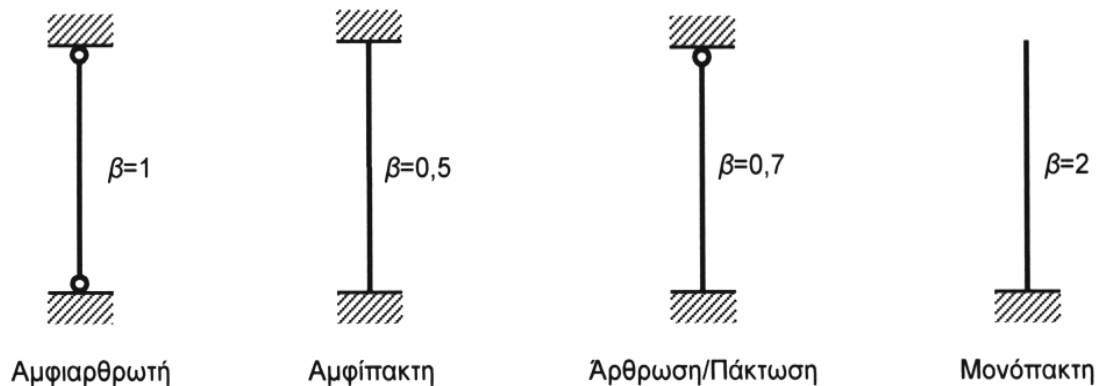
$$s_k = \beta \cdot \ell$$

όπου: ℓ =πραγματικό μήκος ράβδου (mm), β =συντελεστής λαμβανόμενος από το παρακάτω σχήμα.

Η ελαχίστη ακτίνα αδρανείας i_{min} της ράβδου υπολογίζεται μέσω της ελαχίστης ροπής αδρανείας I_{min} με την σχέση:

$$i_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{F}}$$

όπου: F =επιφάνεια πλήρους διατομής της ράβδου (mm²).



Συντελεστής β

Για τον υπολογισμό ράβδων σε λυγισμό εφαρμόζεται ο Ευρωκώδικας 3, ο οποίος αντικατέστησε την μέθοδο 'ω' των παλαιών Κανονισμών. Για εκπαιδευτικούς λόγους και προκειμένου να γίνει περισσότερο κατανοητή η διαδικασία υπολογισμού, αλλά και λόγω της πολυπλοκότητας της νέας μεθόδου, θα δείξουμε παρακάτω την παλαιά μέθοδο. Ο αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει στην Άσκηση 4 του Βιβλίου "Στοιχεία Μηχανών Ι, Ανδρ. Γιαννόπουλου" όπου θα βρει την παλαιά και νέα μέθοδο, καθώς και την σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των δύο μεθόδων.

Διαδικασία υπολογισμού με την μέθοδο 'ω':

- Επιλέγουμε το υλικό και το είδος του ελάσματος της ράβδου.
- Επιλέγουμε το μέγεθος της διατομής της ράβδου και βρίσκουμε την επιφάνεια της διατομής F .
- Προσδιορίζουμε το μήκος λυγισμού s_k
- Υπολογίζουμε την ελάχιστη ροπή αδρανείας της διατομής: I_{\min}
- Υπολογίζουμε την ελάχιστη ακτίνα αδρανείας της διατομής i_{\min}
- Υπολογίζουμε τον βαθμό λυγηρότητας της ράβδου λ
- Επιλέγουμε τον συντελεστή λυγισμού ω από πίνακα
- Ελέγχουμε την αντοχή της ράβδου σε λυγισμό με την σχέση:

$$\sigma_{υπ} = \frac{\omega \cdot P}{F} \leq \sigma_{d,επ}$$

όπου: $\sigma_{d,επ}$ =επιτρεπόμενη τάση σε θλίψη (N/mm²).

Ο επόμενος πίνακας δίνει τιμές του συντελεστή ω για υλικό ράβδων από χάλυβα St 33 και St 37.

Συντελεστής λυγισμού ω ράβδων από δομικό χάλυβα St 33 και St 37

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	λ
20	1,04	1,04	1,04	1,05	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08	20
30	1,08	1,09	1,09	1,10	1,10	1,11	1,11	1,12	1,13	1,13	30
40	1,14	1,14	1,15	1,16	1,16	1,17	1,18	1,19	1,19	1,20	40
50	1,21	1,22	1,23	1,23	1,24	1,25	1,26	1,27	1,28	1,29	50
60	1,30	1,31	1,32	1,33	1,34	1,35	1,36	1,37	1,39	1,40	60
70	1,41	1,42	1,44	1,45	1,46	1,48	1,49	1,50	1,52	1,53	70
80	1,55	1,56	1,58	1,59	1,61	1,62	1,64	1,66	1,68	1,69	80
90	1,71	1,73	1,74	1,76	1,78	1,80	1,82	1,84	1,86	1,88	90
100	1,90	1,92	1,94	1,96	1,98	2,00	2,02	2,05	2,07	2,09	100
110	2,11	2,14	2,16	2,18	2,21	2,23	2,27	2,31	2,35	2,39	110
120	2,43	2,47	2,51	2,55	2,60	2,64	2,68	2,72	2,77	2,81	120
130	2,85	2,90	2,94	2,99	3,03	3,08	3,12	3,17	3,22	3,26	130
140	3,31	3,36	3,41	3,45	3,50	3,55	3,60	3,65	3,70	3,75	140
150	3,80	3,85	3,90	3,95	4,00	4,06	4,11	4,16	4,22	4,27	150
160	4,32	4,38	4,43	4,49	4,54	4,60	4,65	4,71	4,77	4,82	160
170	4,88	4,94	5,00	5,05	5,11	5,17	5,23	5,29	5,35	5,41	170
180	5,47	5,53	5,59	5,66	5,72	5,78	5,84	5,91	5,97	6,03	180
190	6,10	6,16	6,23	6,29	6,36	6,42	6,49	6,55	6,62	6,69	190
200	6,75	6,82	6,89	6,96	7,03	7,10	7,17	7,24	7,31	7,38	200
210	7,45	7,52	7,59	7,66	7,73	7,81	7,88	7,95	8,03	8,10	210
220	8,17	8,25	8,32	8,40	8,47	8,55	8,63	8,70	8,78	8,86	220
230	8,93	9,01	9,09	9,17	9,25	9,33	9,41	9,49	9,57	9,65	230
240	9,73	9,81	9,89	9,97	10,05	10,14	10,22	10,30	10,39	10,47	240
250	10,55										250

Η πρώτη αριστερή στήλη (και η τελευταία δεξιά) δίνει τις δεκάδες του αριθμού λ , ενώ η πρώτη σειρά στο επάνω μέρος δίνει τις μονάδες αυτού. Παράδειγμα: Για $\lambda = 124$ διαβάζουμε στην σειρά 120 και στην στήλη 4 τον συντελεστή $\omega = 2,60$.

9. ΔΙΑΤΜΗΣΗ

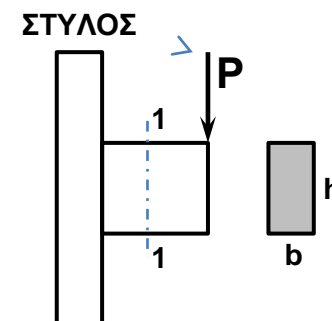
Η καταπόνηση σε διάτμηση εμφανίζεται σε δοκούς που υποβάλλονται σε κάμψη από εγκάρσιες δυνάμεις (τέμνουσες), στα μέσα σύνδεσης ράβδων (ήλους, κοχλίες, συγκολλήσεις) κ.λ.π.

(α) Δοκοί σε κάμψη. Θα δείξουμε τον υπολογισμό σε διάτμηση μιας διατομής καμπτόμενης δοκού με το παράδειγμα του σχήματος.

Έστω πρόβολος δοκός ορθογωνικής διατομής συγκολλημένη πάνω σε στύλο. Η δοκός φορτίζεται με δύναμη P στο άκρο. Σε κάθε θέση 1-1 της διατομής η τέμνουσα δύναμη Q είναι ίση με P . Οι διατμητικές τάσεις που αναπτύσσονται στην διατομή δεν είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες κατά το ύψος h και λαμβάνουν την μέγιστη τιμή στο μέσον της διατομής, ενώ στο πάνω και κάτω άκρο αυτής είναι μηδέν. Για τον λόγο αυτόν σε απλές εφαρμογές αναζητούμε την υπάρχουσα μέση τάση διάτμησης $\tau_{\text{μπ}}$, η οποία δίνεται από την σχέση:

$$\tau_{\text{μπ}} = \frac{Q}{F_{\kappa}} \leq \tau_{\text{επ}}$$

όπου: Q =τέμνουσα δύναμη στην εξεταζόμενη θέση της διατομής (N), $\tau_{\text{επ}}$ =επιτρεπόμενη τάση σε διάτμηση (N/mm²), F_{κ} =καθαρή επιφάνεια του κορμού της διατομής (mm²). Δεν λαμβάνεται υπόψη η επιφάνεια πελμάτων και οπών στον κορμό εάν υπάρχουν.



(β) Διάτμηση μέσω σύνδεσης. Η διάτμηση ήλων και κοχλιών δεν έχει σημαντικές διαφορές και γι' αυτό θα δείξουμε την μέθοδο υπολογισμού πιο κάτω κατά την αναφορά στην διαδικασία υπολογισμού κοχλιωτής σύνδεσης ράβδου, ενώ η διάτμηση των ραφών συγκολλήσεως εξετάζεται στο κεφάλαιο των συγκολλήσεων.

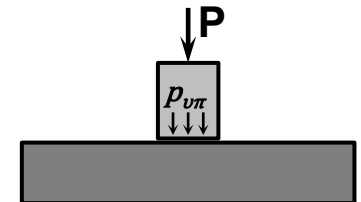
10. ΠΙΕΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

Η καταπόνηση σε πίεση επιφάνειας αφορά κυρίως τα έδρανα των αξόνων και ατράκτων, αλλά μπορεί να αναφέρεται και σε πολλές άλλες εφαρμογές. Όταν δύο επιφάνειες, ακίνητες ή κινούμενες, πιέζονται ισχυρά μεταξύ τους δημιουργείται τοπική παραμόρφωση η οποία μπορεί να οδηγήσει αρχικά σε αποκόλληση μικρών τεμαχίων υλικού, φθορά των επιφανειών ή και θραύση αυτών. Στην περίπτωση των εδράνων οι επιφάνειες χάνουν την προηγούμενη λεία μορφή τους και καθίστανται λειτουργικά ακατάλληλες. Στα έδρανα περιστρεφόμενων αξόνων ή ατράκτων τα πρώτα συμπτώματα είναι η αύξηση του θορύβου, ακολουθεί αύξηση της θερμοκρασίας από την έντονη τριβή λόγω απώλειας του λείου χαρακτήρα των επιφανειών και τέλος επέρχεται πλήρης καταστροφή των επιφανειών που είναι σε επαφή.

Για την γενική περίπτωση υπολογισμού σε πίεση επιφάνειας χρησιμοποιείται η σχέση:

$$p_{υπ} = \frac{P}{F} \leq p_{επ}$$

όπου: $p_{υπ}$ =υπάρχουσα πίεση μεταξύ των επιφανειών (N/mm²),
 P =θλιπτική δύναμη που προκαλεί την πίεση (N), F =πιεζόμενη επιφάνεια (mm²), $p_{επ}$ =επιτρεπόμενη πίεση επιφάνειας (N/mm²).

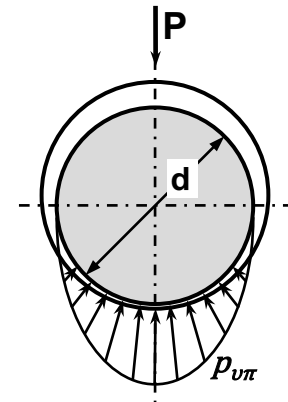


Στον υπολογισμό αυτόν θεωρούμε ότι η υπάρχουσα πίεση $p_{υπ}$ είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη σε όλη την επιφάνεια, αλλιώς ο υπολογισμός δίνει την μέση τιμή της πίεσης επιφάνειας.

Σε κυλινδρικές επιφάνειες, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση εδράνων ολισθήσεως, η πίεση δεν είναι ομοιόμορφα κατανομημένη σε όλο το τμήμα των κυλινδρικών επιφανειών που είναι σε επαφή, αλλά εμφανίζει μέγιστο πάνω στην διεύθυνση εφαρμογής της δύναμης. Σ' αυτές τις περιπτώσεις ο υπολογισμός σε πίεση επιφάνειας γίνεται με την σχέση:

$$p_{\text{υπ}} = \frac{P}{d \cdot \ell} \leq p_{\text{επ}}$$

όπου: d =διάμετρος εδράνου (mm), ℓ =μήκος εδράνου (mm).
Η επιφάνεια $d \cdot \ell$ είναι η προβολή της πιεζόμενης κυλινδρικής επιφάνειας στο κατά την διάμετρο οριζόντιο επίπεδο. Λοιπά μεγέθη όπως προηγουμένως.



Επιτρεπόμενες τάσεις τεμαχίων κατασκευής, σε Kp/cm²

A/A	Είδος τάσης	Υλικό τεμαχίων					
		St 33		St 37		St 52	
		Περίπτωση φορτίσεως					
		H	HZ	H	HZ	H	HZ
1	<ul style="list-style-type: none"> • Θλίψη από αξονική δύναμη. • Θλίψη από κάμψη όταν τα θλιβόμενα μέρη ενδέχεται να υποστούν λυγισμό, στρέβλωση ή κύρτωση. 	1.100	1.250	1.400	1.600	2.100	2.400
2	<ul style="list-style-type: none"> • Εφελκυσμός από αξονική δύναμη. • Εφελκυσμός από κάμψη. • Θλίψη από κάμψη όταν δεν είναι δυνατή η πλαγία παρέκκλιση των θλιβομένων πελμάτων. 	1.250	1.400	1.600	1.800	2.400	2.700
3	<ul style="list-style-type: none"> • Διάτμηση κατά τον έλεγχο της μέσης τάσης της διατομής. 	700	800	900	1.050	1.350	1.550
4	<ul style="list-style-type: none"> • Διάτμηση κατά τον έλεγχο της ισοδύναμης τάσης της διατομής σε πολυαξονική εντατική κατάσταση. 	1.425	1.520	1.800	1.920	2.700	2.880
5	<ul style="list-style-type: none"> • Σύνθλιψη άντυγας^(*) οπών κατά την ένωση ελασμάτων με συνήθεις κοχλίες. 	2.200	2.500	2.400	2.700	-	-
6	<ul style="list-style-type: none"> • Σύνθλιψη άντυγας οπών κατά την ένωση ελασμάτων με ήλους ή εφαρμοσμένους κοχλίες. 	2.200	2.500	2.800	3.200	4.200	4.800

^(*) Ως άντυγα νοείται το τοίχωμα της οπής.

11. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ ΡΑΒΔΩΝ ΜΕ ΚΟΧΛΙΕΣ

Στις συνδέσεις ράβδων μεταξύ τους ή ράβδων επί κομβοελασμάτων τοποθετείται συγκεκριμένος αριθμός κοχλιών, ώστε να είναι η σύνδεση ανθεκτική στην μεταφορά των δυνάμεων. Ο ελάχιστος επιτρεπόμενος αριθμός κοχλιών σε μια σύνδεση είναι δύο κοχλίες. Για να θεωρείται ολοκληρωμένη η σχεδίαση μιας σύνδεσης με κοχλίες πρέπει να έχουν προσδιοριστεί τρία βασικά στοιχεία αυτής, ήτοι:

- Η διάμετρος των κοχλιών d_1 και η διάμετρος d των οπών
- Οι αποστάσεις μεταξύ των οπών e_0 , e_1 και e_2
- Ο αριθμός n των απαιτούμενων κοχλιών

Στις συνδέσεις με κοχλίες καλούμε “σειρές” τις οπές κατά την διεύθυνση της αξονικής δύναμης της ράβδου και “στήλες” τις οπές κατά την κάθετο στην διεύθυνση της δύναμης.

Η σχεδίαση των συνδέσεων με κοχλίες πρέπει να γίνεται σύμφωνα με τους εξής κανόνες:

- Οι κοχλίες διατάσσονται σύμφωνα με την ορθογωνική ή διαγώνια διάταξη.
- Οι αποστάσεις μεταξύ των οπών διατηρούνται ίσες σε όλες τις σειρές και όλες τις στήλες, χωρίς όμως να είναι δεσμευτική η επιλογή ίδιας τιμής για τις σειρές και τις στήλες.
- Η μέγιστη επιτρεπτή διάμετρος, καθώς και η θέση των οπών στα πέλματα και κορμούς τυποποιημένων ελασμάτων (I, T, L, [...]) καθορίζονται από τους κανονισμούς και πρέπει να τηρούνται.
- Το λείο τμήμα του κορμού των κοχλιών πρέπει να συμφωνεί με το συνολικό πάχος των συνδεομένων ελασμάτων, ώστε το σπείρωμα να μην εισέρχεται στα ελάσματα περισσότερο από μια σπείρα. Πριν από την σύσφιγξη των περικοχλιών πρέπει να παρεμβάλλεται ροδέλα.
- Για καλύτερη κατανομή των δυνάμεων μεταξύ των κοχλιών δεν επιτρέπεται να τοποθετούνται περισσότεροι από 6 κοχλίες σε κάθε σειρά.
- Κατά τον έλεγχο αντοχής πρέπει να εξετάζεται τόσο η αντοχή σε διάτμηση του κορμού των κοχλιών, όσο και η αντοχή σε σύνθλιψη του τοιχώματος των οπών.

(α) Υπολογισμός διαμέτρου συνήθων κοχλιών και οπών

Η διάμετρος των συνήθων κοχλιών πρέπει να συνδυάζεται με το πάχος των συνδεομένων ελασμάτων, προκειμένου να επιτυγχάνεται ικανή συγκράτηση αυτών. Η επιλογή της διαμέτρου γίνεται είτε από πίνακες είτε με βάση τον παρακάτω εμπειρικό τύπο:

$$d_1 = \sqrt{50 \cdot t_{\min}} - 2 \text{ mm}$$

όπου: d_1 =διάμετρος κορμού κοχλία (mm), t_{\min} =μικρότερο πάχος ελάσματος (mm).

Με βάση την τιμή που προκύπτει από την εφαρμογή του παραπάνω τύπου, επιλέγεται τυποποιημένη διάμετρος κοχλία, μικρότερη ή μεγαλύτερη, έτσι ώστε να χρησιμοποιείται η ίδια διάμετρος κοχλία, εάν είναι δυνατόν, σε όλες τις συνδέσεις. Εάν αυτό δεν είναι εφικτό, πρέπει να καταβάλλεται προσπάθεια να ελαχιστοποιείται η αλλαγή των χρησιμοποιούμενων διαμέτρων κοχλιών. Για την σωστή τοποθέτηση των συνήθων κοχλιών διανοίγονται οπές με διάμετρο ελάχιστα μεγαλύτερη από την διάμετρο του κορμού των, ήτοι κατά 1 mm. Συνεπώς για την διάμετρο της οπής d εφαρμόζουμε την σχέση:

$$d = d_1 + 1 \text{ mm}$$

Σημείωση: **Συνήθεις** ονομάζουμε τους κοχλίες, οι οποίοι κατασκευάζονται από υλικό με ποιότητα όμοια με αυτή των ελασμάτων, κατά δε την τοποθέτησή τους συσφίγγονται επαρκώς, όμως κατά τον υπολογισμό της αντοχής της σύνδεσης γίνεται η παραδοχή χαλάρωσης της σύσφιγξης, δηλαδή ότι δεν μεταφέρονται δυνάμεις με την τριβή των συνδεομένων ελασμάτων, οπότε οι κοχλίες καταπονούνται σε διάτμηση του κορμού και σύνθλιψη του τοιχώματος των οπών.

Σε αντίθεση με τους συνήθεις κοχλίες έχουμε τους **προεντεταμένους** κοχλίες, οι οποίοι κατασκευάζονται από ανθεκτικότερους χάλυβες και συσφίγγονται έντονα, με προκαθορισμένη ροπή σύσφιγξης, δηλαδή με χρήση ροπόκλειδου, ώστε όλες οι δυνάμεις να μεταφέρονται πλέον με την τριβή των συνδεομένων ελασμάτων.

(β) Αποστάσεις κοχλιών

Οι αποστάσεις των κοχλιών μεταξύ τους και από τα άκρα των ελασμάτων πρέπει να βρίσκονται ανάμεσα σε συγκεκριμένα όρια, τα οποία καθορίζονται με βάση τους Κανονισμούς. Πολύ μικρές αποστάσεις δυσκολεύουν την τοποθέτηση και σύσφιγξη των κοχλιών, ενώ πολύ μεγάλες αποστάσεις δεν παρέχουν ικανή συγκράτηση των συνδεομένων ελασμάτων. Τα όρια που συνιστώνται εξαρτώνται από την διάμετρο των οπών και από το πάχος των ελασμάτων, ήτοι:

$$e_0 = 3,5 \cdot d \text{ έως } 8 \cdot d \text{ ή } 15 \cdot t_{\min}$$

$$e_1 = 2,0 \cdot d \text{ έως } 3 \cdot d \text{ ή } 6 \cdot t_{\min}$$

$$e_2 = 1,5 \cdot d \text{ έως } 3 \cdot d \text{ ή } 6 \cdot t_{\min}$$

όπου: e_0 =απόσταση μεταξύ κοχλιών (mm), e_1 =απόσταση από τα άκρα των ελασμάτων κατά την διεύθυνση της δύναμης (mm), e_2 =απόσταση από τα άκρα των ελασμάτων κάθετα στην διεύθυνση της δύναμης (mm), d =διάμετρος οπής (mm), t_{\min} =ελάχιστο συνολικό πάχος κατά την μια φορά της δύναμης (mm).

(γ) Αριθμός κοχλιών

Για τον υπολογισμό του απαιτούμενου αριθμού κοχλιών που πρέπει να τοποθετηθούν σε μία σύνδεση εξετάζεται η αντοχή αυτών αφενός σε διάτμηση του κορμού και αφετέρου σε σύνθλιψη του τοιχώματος των οπών. Η εξέταση γίνεται είτε με βάση τις αναπτυσσόμενες τάσεις είτε με βάση την αναλαμβανόμενη δύναμη από κάθε κοχλία. Πάντως και στις δύο αυτές μεθόδους γίνεται η παραδοχή της ίσης κατανομής της δύναμης σε όλους τους κοχλίες. Στην πράξη όμως η κατανομή της δύναμης δεν είναι ομοιόμορφη, όμως το σφάλμα δεν θεωρείται ουσιώδες όταν κάθε σειρά δεν φέρει περισσότερους από 6 κοχλίες.

Υπολογισμός με βάση τις αναπτυσσόμενες τάσεις

-Διάτμηση του κορμού. Η υπάρχουσα τάση διάτμησης $\tau_{υπ}$ υπολογίζεται με τον τύπο:

$$\tau_{υπ} = \frac{P}{n \cdot m \cdot F_1} \leq \tau_{α,επ}$$

όπου: P =αξονική δύναμη ράβδου (N), n =συνολικός αριθμός κοχλιών, F_1 =επιφάνεια διατομής κορμού ενός κοχλία (mm^2), $\tau_{α,επ}$ =επιτρεπόμενη τάση σε διάτμηση (N/mm^2), m =αριθμός τομών ($m=1$ για μονότμητη και $m=2$ για δίτμητη σύνδεση).

Για τον υπολογισμό της επιφάνειας F_1 εφαρμόζεται η σχέση:

$$F_1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4}$$

-Σύνθλιψη τοιχώματος οπών. Η υπάρχουσα τάση $\sigma_{ε,υπ}$ λόγω σύνθλιψης του τοιχώματος των οπών υπολογίζεται με τον τύπο:

$$\sigma_{ε,υπ} = \frac{P}{n \cdot d_1 \cdot t_{min}} \leq \sigma_{ε,επ}$$

όπου: P =αξονική δύναμη ράβδου (N), n =συνολικός αριθμός κοχλιών, d_1 =διάμετρος του κορμού κοχλιών (mm), t_{min} =μικρότερο συνολικό πάχος κατά την μια φορά της δύναμης (mm), $\sigma_{ε,επ}$ =επιτρεπόμενη τάση σε σύνθλιψη του τοιχώματος οπών (N/mm^2).

Εάν λύσουμε ως προς n τους παραπάνω τύπους των τάσεων βρίσκουμε δύο τιμές για τον απαιτούμενο αριθμό κοχλιών της σύνδεσης και λαμβάνουμε την μεγαλύτερη τιμή.

Οι επιτρεπόμενες τάσεις για τα μέσα σύνδεσης μπορούν να λαμβάνονται από τον παρακάτω πίνακα.

Επιτρεπόμενες τάσεις για τα μέσα συνδέσεων, σε Kp/cm².

A/A	Είδος τάσης	Ύλκοι				Συνήθεις Κοχλίες		Εφαρμοσμένοι κοχλίες					
		USt 36-1 για ελάσματα από St 37 (St 33)		RSt 44-2 για ελάσματα από St 52		4D (4.6) για ελάσματα από St 33 και St 37		4D (4.6) για ελάσματα από St 37 (St 33)		5D (5.6) για ελάσματα από St 52			
		Περίπτωση φορτίσεως											
		H	HZ	H	HZ	H	HZ	H	HZ	H	HZ		
1	• Διάτμηση	1.400	1.600	2.100	2.400	1.120	1.260	1.400	1.600	2.100	2.400		
2	• Σύνθλιψη άντυγας οπών	2.800 (2.200)	3.200 (2.500)	4.200	4.800	2.400	2.700	2.800 (2.200)	3.200 (2.500)	4.200	4.800		
3	• Εφελκυσμός	480	540	720	810	1.120	1.120	1.120	1.120	1.500	1.500		

Για τον χάλυβα St 33 ισχύουν γενικά ίδιες τιμές με αυτές του χάλυβα St 37. Όπου οι τιμές του χάλυβα St 33 είναι διαφορετικές αυτές δίνονται μέσα σε παρένθεση.

Υπολογισμός με βάση την αναλαμβανόμενη δύναμη

Για την διευκόλυνση του υπολογισμού του αριθμού κοχλιών γίνεται τροποποίηση των προηγούμενων τύπων και εξάγεται η μέγιστη δυνατή να αναληφθεί δύναμη από έναν κοχλία, με βάση την επιτρεπόμενη τάση και την διάμετρο αυτού, αφενός για καταπόνηση σε διάτμηση του κορμού και αφετέρου για καταπόνηση σε σύνθλιψη του τοιχώματος των οπών. Μεταξύ των δύο τιμών αναλαμβανόμενης δύναμης που προκύπτουν, ισχύουσα είναι η μικρότερη.

Με γνωστή πλέον την μέγιστη αναλαμβανόμενη δύναμη από έναν κοχλία, είναι δυνατός ο υπολογισμός του αριθμού κοχλιών που μπορούν να αναλάβουν το σύνολο της δύναμης της ράβδου. Η διαδικασία αυτή γίνεται απλούστατη με την βοήθεια πινάκων. Ο παρακάτω πίνακας αφορά συνήθεις κοχλίες ποιότητας 4.6 (ή 4D), οι οποίοι είναι κατάλληλοι για σύνδεση ελασμάτων από St 37.

Επεξήγηση του πίνακα αναλαμβανόμενης δύναμης

Η εύρεση του αριθμού κοχλιών n με την βοήθεια του πίνακα γίνεται ακολουθώντας τα εξής βήματα.

1. Αναζητούμε την κύρια στήλη του πίνακα που αντιστοιχεί στην γνωστή διάμετρο d_1 του κοχλία.
2. Αναζητούμε την δευτερεύουσα στήλη H ή HZ , ανάλογα εάν υπολογίζουμε για κύρια φορτία ή κύρια και πρόσθετα μαζί.
3. Εξετάζουμε εάν έχουμε μονότμητη ή δίτμητη κοχλίωση και βρίσκουμε την αναλαμβανόμενη δύναμη για διάτμηση του κορμού. Για μονότμητη διαβάζουμε την τιμή N'_T . Για δίτμητη διαβάζουμε την τιμή N''_T .
4. Βρίσκουμε το ελάχιστο συνολικό πάχος των συνδεομένων ελασμάτων t_{min} κατά την μια φορά της δύναμης.
5. Στην ίδια στήλη πιο κάτω διαβάζουμε την τιμή N_e που αντιστοιχεί στο $t=t_{min}$. Αυτή είναι η αναλαμβανόμενη δύναμη σε σύνθλιψη του τοιχώματος οπών.
6. Μεταξύ των δύο τιμών αναλαμβανόμενης δύναμης, δηλαδή $\{N'_T, N_e\}$ για μονότμητη κοχλίωση, ή $\{N''_T, N_e\}$ για δίτμητη κοχλίωση, λαμβάνουμε την μικρότερη τιμή, έστω N . Η μικρότερη τιμή χαρακτηρίζει την δυσμενέστερη καταπόνηση για την συγκεκριμένη σύνδεση.
7. Με βάση τα παραπάνω ο απαιτούμενος αριθμός κοχλιών προκύπτει από την σχέση: $n=P/N$, όπου P η αξονική δύναμη της ράβδου.

Αναλαμβανόμενη δύναμη από έναν συνήθη κοχλία για δομικά έργα από St 37.
Ποιότητα κοχλία 4D (ή 4.6).

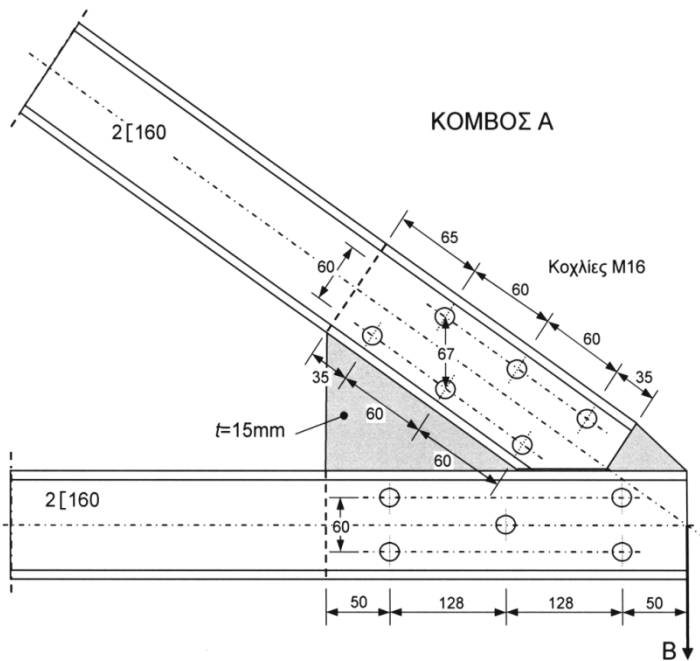
Συμβολισμός		M12		M16		M20		M22		M24		M27		
d_1 mm		12		16		20		22		24		27		
F_1 cm ²		1,13		2,01		3,14		3,80		4,52		5,73		
Φόρτιση		H	HZ	H	HZ	H	HZ	H	HZ	H	HZ	H	HZ	
$T_{α\text{ επ}}$ t/cm ²		1,12	1,26	1,12	1,26	1,12	1,26	1,12	1,26	1,12	1,26	1,12	1,26	
N_T tons		1,27	1,43	2,25	2,53	3,52	3,96	4,26	4,79	5,07	5,70	6,41	7,21	
N'_T tons		2,53	2,85	4,50	5,07	7,04	7,92	8,51	9,58	10,13	11,40	12,83	14,43	
$\sigma_{\ell\text{ επ}}$ t/cm ²		2,4	2,7	2,4	2,7	2,4	2,7	2,4	2,7	2,4	2,7	2,4	2,7	
N_{ℓ} σε tons, για πάχος t σε mm	4	1,15	1,30	1,54	1,73	1,92	2,16	2,11	2,38	2,30	2,59	2,59	2,92	
	5	1,44	1,62	1,92	2,16	2,40	2,70	2,64	2,97	2,88	3,24	3,24	3,65	
	6	1,73	1,94	2,30	2,59	2,88	3,24	3,17	3,56	3,46	3,89	3,89	4,37	
	7	2,02	2,27	2,69	3,02	3,36	3,78	3,70	4,16	4,03	4,54	4,54	5,10	
	8	2,30	2,59	3,07	3,46	3,84	4,32	4,22	4,75	4,61	5,18	5,18	5,83	
	9	2,59	2,92	3,46	3,89	4,32	4,86	4,75	5,35	5,18	5,83	5,83	6,56	
	10	2,88	3,24	3,84	4,32	4,80	5,40	5,28	5,94	5,76	6,48	6,48	7,29	
	11	3,17	3,56	4,22	4,75	5,28	5,94	5,81	6,53	6,34	7,13	7,13	8,02	
	12	3,46	3,89	4,61	5,18	5,76	6,48	6,34	7,13	6,91	7,78	7,78	8,75	
	13	3,74	4,21	4,99	5,62	6,24	7,02	6,86	7,72	7,49	8,42	8,42	9,48	
	14	4,03	4,54	5,38	6,05	6,72	7,56	7,39	8,32	8,06	9,07	9,07	10,21	
	15	4,32	4,86	5,76	6,48	7,20	8,10	7,92	8,91	8,64	9,72	9,72	10,94	
	16	4,61	5,18	6,14	6,91	7,68	8,64	8,45	9,50	9,22	10,37	10,37	11,66	
	17	4,90	5,51	6,53	7,34	8,16	9,18	8,98	10,10	9,79	11,02	11,02	12,39	
	18	5,18	5,83	6,91	7,78	8,64	9,72	9,50	10,69	10,37	11,66	11,66	13,12	
	19	5,47	6,16	7,30	8,21	9,12	10,26	10,03	11,29	10,94	12,31	12,31	13,85	
	20	5,76	6,48	7,68	8,64	9,60	10,80	10,56	11,88	11,52	12,96	12,96	14,58	
	$\sigma_{z\text{ επ}}$ t/cm ²		1,12		1,12		1,12		1,12		1,12		1,12	
	N_z tons		0,832		1,579		2,464		3,091		3,550		4,693	
	Οι λεπτές οριζόντιες εστιγμένες γραμμές του πίνακα ορίζουν τις περιοχές κάτωθεν των οποίων η N_{ℓ} γίνεται μεγαλύτερη της N'_T και αντίστοιχα της N_T .													

Κανόνες Σχεδίασης Κομβοελασμάτων

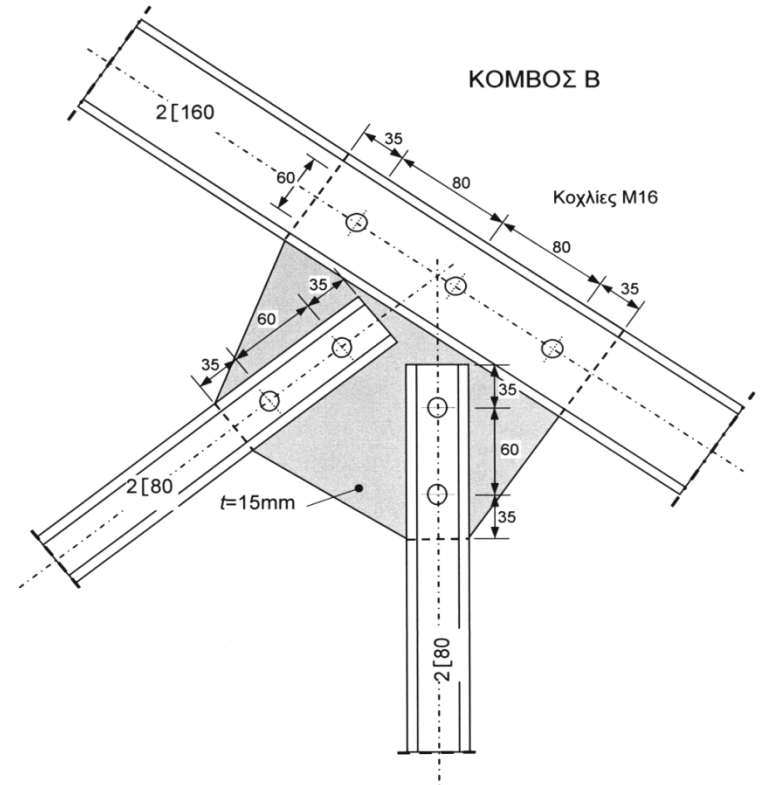
Η σχεδίαση των κομβοελασμάτων πρέπει να γίνεται με βάση συγκεκριμένους κανόνες, για να εξασφαλιστεί η αντοχή, η δυνατότητα συναρμολόγησης και η καλαισθησία των συνδέσεων, ήτοι:

- Οι κεντροβαρικές γραμμές των ράβδων πρέπει να διέρχονται από το ίδιο σημείο, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι στρεπτικές ροπές στους κόμβους.
- Για την καλύτερη προσέγγιση δύο γειτονικών ράβδων συνιστάται η λοξή τομή της μιας ή και των δύο. Η μόρφωση της σύνδεσης με αυτόν τον τρόπο περιορίζει το μέγεθος του κομβοελάσματος.
- Η γωνία μεταξύ δύο γειτονικών ράβδων που συναντώνται στον ίδιο κόμβο συνιστάται να είναι μεγαλύτερη από 30° , ώστε να προκύπτουν μικρότερες δυνάμεις στις ράβδους και κατ' επέκταση στην καταπόνηση του κομβοελάσματος.
- Το σχήμα του κομβοελάσματος συνιστάται να είναι απλό, δηλαδή εάν είναι δυνατόν να είναι ορθογωνικό ή τραπεζοειδές ή να έχει κάποιες γειτονικές πλευρές κάθετες, ώστε να είναι εύκολη η κοπή του από μεγαλύτερα επίπεδα ελάσματα χωρίς να προκύπτουν πολλά άχρηστα μικρά τεμάχια.
- Για λόγους αισθητικής δεν επιτρέπεται οι κορυφές των γωνιών των κομβοελασμάτων να μένουν εκτεθειμένες στον ελεύθερο χώρο, αλλά να επικαλύπτονται από τις ράβδους. Συνιστάται να αποκόπτονται κάθετα κατά το πλάτος των ράβδων.
- Εάν αναπόφευκτα δημιουργούνται οξείες γωνίες στα κομβοελάσματα, αυτές πρέπει να αποκόπτονται αναλόγως στα άκρα.
- Οι πλευρές των κομβοελασμάτων μεταξύ γειτονικών ράβδων πρέπει να αποκόπτονται σε ευθείες γραμμές. Το κομβοέλασμα στη τελική του μορφή έχει το σχήμα πολυγώνου το οποίο δεν επιτρέπεται να περιλαμβάνει εσωτερικές γωνίες μεγαλύτερες από 180° , δηλαδή να μην εμφανίζει εισέχουσες ακμές (εσοχές), διότι η υψηλή συγκέντρωση τάσεων στις εσοχές αυτές δημιουργεί σοβαρό κίνδυνο ρωγμών του κομβοελάσματος.
- Εάν κατά την σχεδίαση των κομβοελασμάτων σχηματίζονται μεγάλες ελεύθερες επιφάνειες πρέπει να ενισχύονται με πρόσθετα γωνιακά ελάσματα για την αποφυγή φαινομένων κύρτωσης.
- Τα φορτία που ασκούνται στους κόμβους πρέπει να μεταβιβάζονται στα κομβοελάσματα και όχι απ' ευθείας στις ράβδους.

Υποδείγματα Σχεδίασης Συνδέσεων στους Κόμβους



Σημείωση: Στο Σχήμα δεν έχει τηρηθεί ακριβής κλίμακα.



Σημείωση: Στο Σχήμα δεν έχει τηρηθεί ακριβής κλίμακα.

12. ΣΥΝΘΕΤΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ

Σύνθετη καταπόνηση ονομάζουμε τον συνδυασμό δύο ή περισσότερων διαφορετικών καταπονήσεων ενός στοιχείου μηχανής. Ο συνηθέστερος συνδυασμός τέτοιων καταπονήσεων είναι η κάμψη και η στρέψη άξονα (ή ατράκτου), γι' αυτό θα ασχοληθούμε στα επόμενα με αυτόν τον συνδυασμό. Για τον έλεγχο της αντοχής ενός στοιχείου ακολουθούμε τα εξής βήματα:

-Υπολογίζουμε την ροπή κάμψης M_b και την ροπή στρέψης M_t στην θέση του άξονα, όπου επιθυμούμε να ελέγξουμε την αντοχή του.

- Υπολογίζουμε την ροπή αντιστάσεως W_b του άξονα σε κάμψη, με μια από τις σχέσεις:

(α) Για συμπαγή άξονα με διάμετρο d :

$$W_b = \frac{\pi \cdot d^3}{32} \approx 0,1 \cdot d^3$$

(β) Για κοίλο άξονα με εξωτ. διάμετρο d_o και εσωτ. διάμετρο d_i :

$$W_b = \frac{\pi \cdot (d_o^4 - d_i^4)}{32 \cdot d_o}$$

-Υπολογίζουμε την τάση κάμψης σ_b με την σχέση:

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

- Υπολογίζουμε την ροπή αντιστάσεως W_t του άξονα σε στρέψη, με μια από τις σχέσεις:

(α) Για συμπαγή άξονα με διάμετρο d :

$$W_t = \frac{\pi \cdot d^3}{16} \approx 0,2 \cdot d^3$$

(β) Για κοίλο άξονα με εξωτ. διάμετρο d_o και εσωτ. διάμετρο d_i :

$$W_t = \frac{\pi \cdot (d_o^4 - d_i^4)}{16 \cdot d_o}$$

-Υπολογίζουμε την τάση στρέψης τ με την σχέση:

$$\tau = \frac{M_t}{W_t}$$

-Υπολογίζουμε τον συντελεστή α_0 για χαλύβδινους άξονες κατά Bach:

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_D}{\sqrt{3} \cdot \tau_D}$$

όπου: σ_D και τ_D η μέγιστη επιτρεπόμενη τάση του χάλυβα ανάλογα με το είδος καταπόνησης, ήτοι:

- Για στατική κάμψη ή στρέψη $\sigma_D = \sigma_s$ ή $\tau_D = \tau_s$, όπου σ_s και τ_s τα όρια ροής του χάλυβα.
- Για εναλλασσόμενη κάμψη ή στρέψη $\sigma_D = \sigma_w$ ή $\tau_D = \tau_w$, όπου σ_w και τ_w τα όρια δυναμικής αντοχής του χάλυβα σε εναλλασσόμενη καταπόνηση.
- Για μεταβαλλόμενη κάμψη ή στρέψη $\sigma_D = \sigma_{sch}$ ή $\tau_D = \tau_{sch}$, όπου σ_{sch} και τ_{sch} τα όρια δυναμικής αντοχής του χάλυβα σε μεταβαλλόμενη καταπόνηση.

Οι τάσεις σ_b και τ στην εξεταζόμενη σύνθετη καταπόνηση δεν είναι ομοειδείς, διότι η τάση κάμψης είναι ορθή τάση και η τάση στρέψης είναι διατμητική τάση. Συνεπώς δεν μπορούν να αθροιστούν για να προκύψει η συνολική τάση. Για τον λόγο αυτό εφαρμόζεται η μέθοδος του μεγίστου έργου παραμόρφωσης (Von Mises), σύμφωνα με την οποία η τάση στρέψης αντικαθίσταται με μία ισοδύναμη τάση κάμψης, η οποία προκαλεί το ίδιο έργο παραμόρφωσης και έτσι προκύπτει η ισοδύναμη συνολική τάση.

- Υπολογίζουμε την ισοδύναμη τάση σ_v , την οποία συγκρίνουμε με την επιτρεπόμενη τάση σε κάμψη $\sigma_{b,επ}$.

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot (\alpha_0 \cdot \tau)^2} \leq \sigma_{b,επ}$$

Μπορούμε να φτάσουμε κατευθείαν στο προηγούμενο αποτέλεσμα της ισοδύναμης τάσης σ_v μέσω της ισοδύναμης ροπής κάμψης M_v , ήτοι:

- Υπολογίζουμε την ισοδύναμη ροπή κάμψης M_v με την σχέση:

$$M_v = \sqrt{M_b^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot M_t)^2}$$

-Υπολογίζουμε την ισοδύναμη τάση σ_v και την συγκρίνουμε με την επιτρεπόμενη τάση σε κάμψη $\sigma_{b,επ}$, με την σχέση:

$$\sigma_v = \frac{M_v}{W_b} \leq \sigma_{b,επ}$$

13. ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ

Δυναμική ονομάζουμε την καταπόνηση η οποία μεταβάλλεται χρονικά. Η δυναμική καταπόνηση μπορεί να οφείλεται είτε στην μεταβολή του μεγέθους της φόρτισης, είτε στην μεταβολή της φοράς ή της διεύθυνσης των δυνάμεων και ροπών που ενεργούν στο στοιχείο που εξετάζουμε, είτε ακόμη στην αλλαγή της θέσης εφαρμογής των φορτίσεων.

Η δυναμική καταπόνηση προκαλεί κόπωση και οδηγεί σύντομα σε θραύση του υλικού. Για τον λόγο αυτόν οι επιτρεπόμενες τάσεις είναι πολύ χαμηλές και λαμβάνονται υψηλότεροι συντελεστές ασφαλείας, προκειμένου να εξασφαλίζεται η απαιτούμενη αντοχή.

Μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη της δυναμικής καταπόνησης αξόνων, οι οποίοι καταπονούνται συνήθως από καμπτικές και στρεπτικές ροπές, δηλαδή υφίστανται σύνθετη καταπόνηση η οποία ταυτόχρονα είναι και δυναμική. Σ' αυτές τις περιπτώσεις για τον έλεγχο αντοχής του άξονα σε δυναμική καταπόνηση, πρέπει να είναι γνωστή η διάμετρος του άξονα και στην συνέχεια με εφαρμογή της κατάλληλης μεθόδου να γίνει ο έλεγχος αντοχής. Ο υπολογισμός της διαμέτρου γίνεται με την διαδικασία της προηγούμενης ενότητας εάν έχουμε σύνθετη καταπόνηση, ή με βάση τις ενότητες κάμψης ή στρέψης εάν έχουμε μόνο κάμψη ή μόνο στρέψη. Το σημαντικό σημείο εδώ είναι η χρήση της κατάλληλης επιτρεπόμενης τάσης κάμψης και στρέψης, η οποία λαμβάνεται από πίνακες και αφορά άξονες που καταπονούνται σε δυναμική καταπόνηση. Η υπολογιζόμενη διάμετρος ονομάζεται “*προσωρινή διάμετρος*” και θα οριστικοποιηθεί όταν ο έλεγχος σε δυναμική καταπόνηση δείξει ότι προκύπτει ικανοποιητικός συντελεστής ασφαλείας.

Οι άξονες φέρουν συνήθως διάφορες εγκοπές, όπως σφηνοδρόμους, διαβαθμίσεις, εγκάρσιες οπές, αύλακες κ.λ.π. Σημαντική ακόμη είναι η τραχύτητα της επιφάνειας και το μέγεθος της διαμέτρου του άξονα. Όλα αυτά τα στοιχεία προκαλούν μεγαλύτερη ευαισθησία στην κόπωση του υλικού και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στην μελέτη της δυναμικής καταπόνησης. Όμως, όταν υπολογίζουμε τις προσωρινές διαμέτρους με τις μεθόδους που αναφέραμε στις προηγούμενες ενότητες μέσω της επιτρεπόμενης τάσης, δεν υπεισέρχονται στους υπολογισμούς οι παραπάνω ιδιομορφίες του άξονα, διότι η επιτρεπόμενη τάση είναι απλώς χαρακτηριστική ιδιότητα του υλικού. Αυτός είναι ο λόγος που οι τιμές των επιτρεπόμενων τάσεων για άξονες είναι πολύ μικρότερες από τις αντίστοιχες τιμές για στατικές φορτίσεις διαφόρων κατασκευών.

Αναλυτική παρουσίαση της μελέτης δυναμικής καταπόνησης μπορεί να βρει ο αναγνώστης στις Ασκήσεις 6 και 7 του Συγγράμματος.

14. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΦΗΝΩΝ

Οι σφήνες είναι στοιχεία που χρησιμοποιούνται για την σύνδεση τροχαλιών, οδοντωτών τροχών, συνδέσμων, συμπλεκτών κ.ά, πάνω σε ατράκτους για την μεταφορά της αναγκαίας ροπής στρέψης. Οι συνδέσεις με σφήνες έχουν πολλά πλεονεκτήματα, όπως:

- Είναι λυόμενες συνδέσεις.
- Είναι εύκολη η συναρμολόγηση και αποσυναρμολόγηση.
- Έχουν μικρό κόστος κατασκευής.

Τα μειονεκτήματα των σφηνών είναι ότι δεν αναλαμβάνουν αξονικά φορτία, αλλά και ότι παρουσιάζουν ευαισθησία σε αλλαγές της φοράς της ροπής στρέψης.

Υπάρχουν πολλά είδη σφηνών, όπως οδηγοί σφήνες, κωνικοί σφήνες, πολύσφηννα κ.ά., επίσης μπορεί να έχουν διάφορες μορφές, όπως απλοί ορθογωνικοί σφήνες, ορθογωνικοί σφήνες με στρογγυλεμένα άκρα, δισκοειδείς σφήνες, σφήνες με όνυχα κ.λ.π. Στα επόμενα θα ασχοληθούμε κυρίως με τους πιο συνήθεις σφήνες που είναι οι ορθογωνικοί με στρογγυλεμένα άκρα.

Για τον υπολογισμό των σφηνών ακολουθούμε την παρακάτω διαδικασία:

- Γνωρίζουμε την ροπή στρέψης M_t της ατράκτου.
- Υπολογίζουμε την διάμετρο d της ατράκτου με βάση τις προηγούμενες μεθόδους.
- Επιλέγουμε τυποποιημένο σφήνα από τον Πίνακα Α με βάση την διάμετρο της ατράκτου. Η επιλογή είναι $b \times h$ = πλάτος \times ύψος. Κατά την επιλογή λαμβάνεται υπόψη το βάθος t_1 του σφηνόδρομου στην άτρακτο, έτσι ώστε η τελική διάμετρος να είναι μεγαλύτερη από την ελάχιστη απαιτούμενη κατά το βάθος του σφηνόδρομου.
- Υπολογίζουμε το μήκος l της πλήμνης της τροχαλίας ή του οδοντωτού τροχού με βάση τα στοιχεία του Πίνακα Β.

- Υπολογίζουμε το μήκος του σφήνα, ώστε να χωράει εντός του μήκους της πλήμνης. Εάν ο σφήνας έχει στρογγυλεμένα άκρα, υπολογίζουμε το ενεργό μήκος ℓ_n του σφήνα, δηλαδή από το συνολικό μήκος αφαιρούμε το μήκος που αντιστοιχεί στις στρογγυλεύσεις των άκρων, σύμφωνα με την σχέση:

$$\ell_n = \ell - b$$

- Επιλέγουμε το υλικό του σφήνα και αναζητούμε την επιτρεπόμενη τιμή σε πίεση επιφάνειας $p_{\epsilon\pi}$, σύμφωνα με τον Πίνακα Γ, για το ασθενέστερο υλικό μεταξύ του σφήνα, της ατράκτου και της τροχαλίας (ή οδοντωτού τροχού).

- Ελέγχουμε την αντοχή του σφήνα με την σχέση:

$$p_{\upsilon\pi} = \frac{4 \cdot M_t}{d \cdot h \cdot z \cdot \ell_n} \leq p_{\epsilon\pi}$$

όπου: $p_{\upsilon\pi}$ =υπάρχουσα πίεση επιφάνειας (N/mm²), $p_{\epsilon\pi}$ =επιτρεπόμενη πίεση επιφάνειας (N/mm²), M_t =ροπή στρέψης (N·mm), d =διάμετρος ατράκτου (mm), h =ύψος σφήνα (mm), z =αριθμός σφηνών (1 ή 2), ℓ_n =ενεργό μήκος σφήνα (mm).

Σε περίπτωση που δεν επαρκεί η τοποθέτηση ενός σφήνα, μπορούμε να τοποθετήσουμε δύο σφήνες ($z=2$). Σ' αυτή την περίπτωση η θέση των σφηνών πρέπει να σχηματίζει γωνία 120°.

Πίνακας Α: Διαστάσεις σφήνων και βάθος σφηνοδρόμων, σε mm

Διάμετρος ατράκτου από ... έως	Κοινοί ορθογωνικοί σφήνες κατά DIN 6885 και κωνικοί σφήνες με ή χωρίς μύτη ή όνυχα κατά DIN 6886, 6887			
	Πλάτος x Ύψος	Βάθος σφηνόδρομου στην άτρακτο	Βάθος σφηνόδρομου στην πλήμνη	
			για κοινούς σφήνες	για κωνικούς σφήνες
<i>d</i>	<i>b x h</i>	<i>t₁</i>	<i>t₂</i>	<i>t₂</i>
10 ... 12	4 x 4	2,5	1,8	1,2
12 ... 17	5 x 5	3	2,3	1,7
17 ... 22	6 x 6	3,5	2,8	2,2
22 ... 30	8 x 7	4	3,3	2,4
30 ... 38	10 x 8	5	3,3	2,4
38 ... 44	12 x 8	5	3,3	2,4
44 ... 50	14 x 9	5,5	3,8	2,9
50 ... 58	16 x 10	6	4,3	3,4
58 ... 65	18 x 11	7	4,4	3,4
65 ... 75	20 x 12	7,5	4,9	3,9
75 ... 85	22 x 14	9	5,4	4,4
85 ... 95	25 x 14	9	5,4	4,4
95 ... 110	28 x 16	10	6,4	5,4
110 ... 130	32 x 18	11	7,4	6,4
130 ... 150	36 x 20	12	8,4	7,1
150 ... 170	40 x 22	13	9,4	8,1
170 ... 200	45 x 25	15	10,4	9,1
200 ... 230	50 x 28	17	11,4	10,1

Πίνακας Β: Διαστάσεις πλήμνης τροχαλιών και οδοντωτών τροχών

Α/Α	Είδος σύνδεσης πλήμνης με άτρακτο	Μήκος πλήμνης ℓ για υλικό:		Διάμετρος πλήμνης D για υλικό:	
		Χάλυβας ή χυτοχάλυβας	Χυτοσίδηρος	Χάλυβας ή χυτοχάλυβας	Χυτοσίδηρος
1	Σύνδεση με συνήθη ορθογωνικό σφήνα	$(1,6...1,8) \cdot d$	$(1,8...2,0) \cdot d$	$(1,6...1,8) \cdot d$	$(1,8...2,0) \cdot d$
2	Σύνδεση με κωνικό σφήνα (με ή χωρίς μύτη ή όνυχα)	$(1,2...1,5) \cdot d$	$(1,6...2,0) \cdot d$	$(1,8...2,0) \cdot d$	$(2,0...2,2) \cdot d$
3	Σύνδεση με πολύσφηνο ή με οδόντωση	$(0,6...0,8) \cdot d_k$	$(0,8...1,0) \cdot d_k$	$(1,6...1,8) \cdot d_k$	$(1,8...2,0) \cdot d_k$
4	Κωνική συναρμογή ή πρεσσαριστή	$(0,8...1,0) \cdot d$	$(1,2...1,5) \cdot d$	$(2,0...2,5) \cdot d$	$(2,2...2,6) \cdot d$
5	Πλήμνες που ολισθαίνουν κατά μήκος της ατράκτου	$(1,8...2,0) \cdot d$	$(2,0...2,2) \cdot d$	$(1,6...1,8) \cdot d$	$(1,8...2,0) \cdot d$
6	Πλήμνες που περιστρέφονται ελεύθερα	$(2,0...2,2) \cdot d$	$(2,0...2,2) \cdot d$	$(1,6...1,8) \cdot d$	$(1,8...2,0) \cdot d$

d = διάμετρος ατράκτου

d_k = διάμετρος πυρήνα πολύσφηνου ή οδόντωσης

–Οι μεγαλύτερες τιμές του πίνακα πρέπει να λαμβάνονται για υλικά μικρότερης αντοχής και οι μικρότερες τιμές για υλικά μεγαλύτερης αντοχής.

Πίνακας Γ: Επιτρεπόμενες τιμές πίεσης επιφάνειας $p_{επ}$ για σφήνες και πλήμνες

Είδος υλικού	Επιτρεπόμενη πίεση επιφάνειας $p_{επ}$ για φόρτιση		
	Στατική (N/mm ²)	Επαναλαμβανόμενη (N/mm ²)	Κρουστική (N/mm ²)
Χάλυβας μη σκληρυμένος	100 ... 200	70 ... 150	40 ... 80
Χάλυβας σκληρυμένος	150 ... 250	100 ... 170	50 ... 100
Χυτοχάλυβας	100 ... 150	80 ... 100	40 ... 60
Χυτοσίδηρος (φαιός και λευκός)	80 ... 100	60 ... 80	30 ... 50
Κράματα χαλκού (μπρούντζος, ορείχαλκος)	40 ... 50	30 ... 40	15 ... 20
Κράμα AlCuMg σκληρυμένο	100 ... 160	70 ... 100	40 ... 60
Κράματα AlMg, AlMn, AlMgSi σκληρυμένα	80 ... 150	60 ... 90	30 ... 50
Κράματα G- AlSi, G- AlSiMg	60 ... 70	40 ... 50	25 ... 30

–Οι μεγαλύτερες τιμές πρέπει να λαμβάνονται για υλικά μεγαλύτερης αντοχής και οι μικρότερες τιμές για υλικά μικρότερης αντοχής.

–Για πίεση επιφάνειας μεταξύ δύο σωμάτων από διαφορετικά υλικά πρέπει να λαμβάνεται η τιμή για το ασθενέστερο υλικό από άποψη αντοχής.

–Για την κατασκευή των σφηνών χρησιμοποιείται συνήθως ο σκληρυμένος χάλυβας C45.

15. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΔΡΑΝΩΝ

Τα έδρανα χρησιμοποιούνται για την στήριξη των περιστρεφόμενων αξόνων (ή ατράκτων). Η σωστή τοποθέτηση των εδράνων πρέπει να εξασφαλίζει την αντοχή στις καταπονήσεις, μεγάλη διάρκεια ζωής και περιστροφή αξόνων χωρίς τριβή. Τα βασικότερα είδη εδράνων είναι δύο, τα έδρανα κυλίσεως και τα έδρανα ολισθήσεως.

(α) Έδρανα κυλίσεως (ή ρουλεμάν). Ονομάζονται έτσι διότι περιλαμβάνουν μικρότερα στοιχεία τα οποία κυλίνουν μέσα στο έδρανο, όπως: μικρές σφαίρες, μικρούς κυλίνδρους, μικρά κωνικά κυλινδρικά στοιχεία κ.ά.

Το χαρακτηριστικό μέγεθος των εδράνων κυλίσεως είναι η εσωτερική διάμετρος οπής, η οποία αντιστοιχεί στην ονομαστική διάμετρο του άξονα, πάνω στον οποίο προσαρμόζεται. Με βάση το μέγεθος της εσωτερικής διαμέτρου τυποποιούνται όλα τα λοιπά στοιχεία, όπως εξωτερική διάμετρος, πλάτος, αριθμός και διάμετρος σφαιρών, μέγιστο επιτρεπόμενο φορτίο κ.ά.

Τα πιο συνηθισμένα είναι τα σφαιρικά έδρανα κυλίσεως με βαθύ αύλακα, τα οποία χαρακτηρίζονται από έναν τετραψήφιο κωδικό αριθμό. Το πρώτο ψηφίο είναι το 6, το οποίο δηλώνει το είδος των εδράνων αυτών. Το δεύτερο ψηφίο είναι ο αριθμός σειράς. Υπάρχουν 4 κύριες σειρές, οι οποίες είναι 0, 2, 3, 4. Έτσι προκύπτουν οι κωδικοί αριθμοί: 60, 62, 63, 64. Το 1 έχει παραληφθεί. Αργότερα προστέθηκε μια ελαφρότερη σειρά με κωδικό 160. Όσο μεγαλώνει ο αριθμός σειράς, με ίδια εσωτερική διάμετρο, τόσο μεγαλώνει η ικανότητα ανάληψης φορτίου και οι λοιπές διαστάσεις του εδράνου.

Τα δύο τελευταία ψηφία του κωδικού αριθμού αποτελούν τον χαρακτηριστικό αριθμό οπής, ο οποίος είναι ακέραιος και προκύπτει εάν διαιρέσουμε την εσωτερική διάμετρο με τον αριθμό 5. Για τον λόγο αυτόν οι τυποποιημένες τιμές εσωτερικής διαμέτρου είναι αριθμοί που λήγουν σε 0 ή 5.

Παράδειγμα 1. Το έδρανο 6007, είναι σφαιρικό έδρανο με βαθύ αύλακα, εφόσον έχει πρώτο ψηφίο το 6. Είναι της σειράς 0, επειδή έχει δεύτερο ψηφίο το 0. Έχει χαρακτηριστικό αριθμό οπής 07, δηλαδή έχει διάμετρο οπής $7 \times 5 = 35$ mm. Οι υπόλοιπες διαστάσεις του εδράνου είναι τυποποιημένες και λαμβάνονται από πίνακες.

Παράδειγμα 2. Ζητείται ο κωδικός σφαιρικού εδράνου με βαθύ αύλακα, της σειράς 3 με εσωτερική διάμετρο οπής 60 mm. Το πρώτο ψηφίο θα είναι 6, διότι χαρακτηρίζει το είδος του εδράνου, το δεύτερο ψηφίο θα είναι 3, επειδή χαρακτηρίζει τον αριθμό σειράς και τα δύο τελευταία ψηφία θα αποτελούν τον χαρακτηριστικό αριθμό οπής, ο οποίος προκύπτει ως: $60 / 5 = 12$. Άρα ο κωδικός του εδράνου θα είναι: 6312.

Για τον υπολογισμό των εδράνων κυλίσεως ακολουθούμε την εξής διαδικασία:

- Γνωρίζουμε το εγκάρσιο (ακτινικό) φορτίο F_r και το αξονικό φορτίο F_a του εδράνου. Το ακτινικό φορτίο προκύπτει ως η δύναμη αντίδρασης της στήριξης του άξονα στην θέση του εδράνου.
- Γνωρίζουμε την διάμετρο d και τις στροφές n του άξονα (RPM).
- Αποφασίζουμε για την επιθυμητή διάρκεια ζωής L_h (σε ώρες) του εδράνου με βάση την εμπειρία από παρόμοιες κατασκευές, συμβουλευόμενοι πίνακες της βιβλιογραφίας.

- Υπολογίζουμε τον συντελεστή στροφών f_n με την σχέση:

$$f_n = \sqrt[x]{\frac{33,333}{n}}$$

όπου: $x=3$ για σφαιρικά έδρανα, $x=10/3$ για κυλινδρικά έδρανα.

- Υπολογίζουμε τον συντελεστή διάρκειας ζωής f_L με την σχέση:

$$f_L = \sqrt[x]{\frac{L_h}{500}}$$

όπου: $x=3$ για σφαιρικά έδρανα, $x=10/3$ για κυλινδρικά έδρανα.

- Εξετάζουμε την θερμοκρασία του εδράνου και λαμβάνουμε τον συντελεστή θερμοκρασίας f_t από τον παρακάτω Πίνακα:

Θερμοκρασία (°C)	Συντελεστής f_t
έως 150°C	1,0
150 έως 200°C	0,9
200 έως 250°C	0,75
250 έως 300°C	0,6

- Υπολογίζουμε το ισοδύναμο δυναμικό φορτίο P του εδράνου (KN), με βάση το ακτινικό και αξονικό φορτίο αυτού, με την σχέση:

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_\alpha$$

Οι συντελεστές X και Y λαμβάνονται από πίνακα ανάλογα με τον λόγο F_α/F_r . Εάν δεν υπάρχει αξονικό φορτίο ($F_\alpha=0$), τότε ισχύει $X=1$ και $Y=0$.

- Υπολογίζουμε το απαιτούμενο δυναμικό φορτίο $C_{\alpha\pi}$ του εδράνου (KN) με την σχέση:

$$C_{\alpha\pi} = P \frac{f_L}{f_n \cdot f_t}$$

- Αναζητούμε το κατάλληλο έδρανο στους πίνακες με βάση την εσωτερική διάμετρο οπής d και το δυναμικό φορτίο $C_{\alpha\pi}$, και επιλέγουμε έδρανο κατάλληλης σειράς με δυναμικό φορτίο C , ώστε να ισχύει η σχέση:

$$C_{\alpha\pi} \leq C$$

Περισσότερες λεπτομέρειες για τον υπολογισμό σφαιρικών εδράνων μπορεί να βρει ο αναγνώστης στην Άσκηση 8.

(α) Έδρανα ολισθήσεως (ή κουζινέτα). Τα έδρανα αυτά περιλαμβάνουν στοιχεία πάνω στα οποία ολισθαίνει ο άξονας και γι' αυτό καλούνται έδρανα ολισθήσεως. Για την μείωση της τριβής κατασκευάζονται από ειδικά αντιτριβικά μέταλλα, τα οποία είναι συνήθως κράματα μολύβδου, κασσιτέρου, χαλκού, ψευδαργύρου, αλουμινίου κ.λ.π.

Τα έδρανα ολισθήσεως αποτελούνται από έναν κυλινδρικό δακτύλιο, ο οποίος τις περισσότερες φορές είναι διαιρούμενος για να διευκολύνεται η τοποθέτηση του άξονα. Επίσης έχουν αρκετά πλεονεκτήματα έναντι των άλλων, όπως λιγότερο θόρυβο, ανάληψη μεγαλύτερων φορτίων, εύκολη συναρμολόγηση κ.ά.

Την διαδικασία υπολογισμού των εδράνων ολισθήσεως μπορεί να βρει ο αναγνώστης στην Άσκηση 8.