



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ: ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ

Μικρομετρήσεις στα στοιχεία μηχανών – Micro measurements on machine

Όνοματεπώνυμο σπουδαστή

Ζαβέρδας Μύρων

Αριθμός Μητρώου

43194

Πτυχιακή Εργασία

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Επιβλέπων καθηγητής: κος Τσολάκης Αντώνιος

ΑΙΓΑΛΕΩ, 2019

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	5
1. Περίληψη	6
2. Abstact	7
3. Στοιχεία Μηχανών	8
3.1 Εισαγωγή	8
3.2 Σύντομη Ιστορική Αναδρομή	8
3.3 Περιγραφή Στοιχείων Μηχανών	9
3.3.1 Άξονες – Άτρακτοι	9
3.3.2 Κοιλίες.....	10
3.3.3 Ελατήρια	13
3.3.4 Έδρανα.....	16
3.3.5 Σύνδεσμοι	20
3.3.6 Οδοντωτοί τροχοί.....	28
3.3.7 Ιμάντες	30
4. Ανοχές - Συναρμογές	32
5. Μετρήσεις και Μετρολογία	39
5.1 Βασικές έννοιες.....	39
5.2 Σύντομη Ιστορική Αναδρομή	40
5.3 Κατηγορίες μετρολογίας.....	42
5.4 Διακρίβωση (Calibration)	42

5.5 Ιχνηλασιμότητα (Traceability).....	43
5.6 Πιστοποίηση (Certification)	44
5.7 Διαπίστευση (Accreditation).....	44
5.8 Σφάλματα.....	44
5.8.1 Τυχαία και Συστηματικά σφάλματα	45
5.8.2 Μέση Τιμή και Σφάλμα	46
5.8.3 Σημαντικά ψηφία και αριθμητικές πράξεις	47
5.8.4 Διάδοση σφαλμάτων	47
6. Συσκευές Μετρήσεων	49
6.1 Είδη ελέγχων.....	49
6.2 Μέσα ελέγχου	49
6.3 Όργανα μέτρησης μηκών	50
6.3.1 Μεταλλικός κανόνας.....	50
6.3.2 Παχύμετρο	52
6.3.3 Μικρόμετρο	54
6.4 Όργανα σύγκρισης	56
6.5 Πρότυπα πλακίδια (gage block ή slip gage)	58
6.6 Μετρητικό ρολόι.....	58
6.7 Μέθοδος συρματιδίων	59
6.8 Οπτικοί μετρητές	60
6.9 Καλίμπρα βήματος.....	60
6.10 Πνευματικά μετρητικά όργανα	61
6.11 Ηλεκτρονικά μετρητικά όργανα	62
6.12 Μέτρηση τραχύτητας.....	62

7. Σύγχρονες μέθοδοι μετρήσεων.....	64
7.1 Τρισδιάστατοι σαρωτές	64
7.2 Μηχανές Μέτρησης Συντεταγμένων	68
7.3 Άλλος εξοπλισμός μέτρησης με επαφή	69
7.4 Μετρητής κραδασμών laser (Laser Doppler Vibrometer).....	70
7.5 Επιταχυνσιόμετρα.....	71
7.6 Υπέρηχοι (Ultrasonics)	74
7.7 Ανάλυση περιβάλλουσας ή Μέθοδος Envelope	82
7.8 Μέθοδος SEE (εκπεμπόμενη ενέργεια φάσματος)	83
7.9 Ανάλυση φάσματος κραδασμών με FFT (Fast Fourier Transform)	83
7.10 Συσκευές οπτικής σύγκρισης.....	83
8. Αντί Επιλόγου.....	85
9. Βιβλιογραφία	86

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου κ. Αντώνιο Τσολάκη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε κατά την ανάθεση της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας, αλλά και για τη βοήθεια και τη συμπαράστασή του καθ' όλη τη διάρκεια της προσπάθειάς μου. Η αξιέπαινη αρωγή του συνέβαλε καθοριστικά στην αρτιότητα και την πληρότητα της παρούσας εργασίας.

1. Περίληψη

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η βιβλιογραφική παρουσίαση των μετρήσεων που πραγματοποιούνται στα στοιχεία μηχανών. Αρχικά, επιχειρείται μια σύντομη ιστορική αναδρομή των στοιχείων μηχανών και περιγράφονται τα βασικά είδη τους. Αναφορά γίνεται επίσης, στις συναρμογές και στις ανοχές. Στη συνέχεια, γίνεται μια σύντομη ανασκόπηση της ιστορίας της επιστήμης της Μετρολογίας και δίνονται περιληπτικά κάποιες βασικές έννοιες. Γίνεται αναφορά στα σφάλματα τα οποία δύνανται να προκύψουν κατά τη μετρητική διαδικασία και έπειτα αναλύονται κάποια βασικά όργανα μετρήσεων και οι σύγχρονες μορφές που έχουν προκύψει με το πέρασμα των χρόνων. Τέλος, στο κλείσιμο, παρουσιάζονται προτάσεις για μελλοντικά εγχειρήματα.

Λέξεις – Κλειδιά: στοιχεία μηχανών, μηχανές, μετρήσεις, Μετρολογία, μετρητικά όργανα, σύγχρονες μορφές μετρήσεων, σφάλμα.

2. Abstract

The aim of this diploma thesis is to present a bibliographical review of micro measurements on machine. Initially, a brief historical review of the machine elements is attempted and their basic species are being described. Reference is also made to joints and tolerances. Then, a brief review of the history of Metrology is being presented and some main meanings are being analyzed. Reference is made to the errors that may occur during the metering process and then some basic measuring instruments and the modern forms that have emerged over time have been analyzed. Finally, proposals for future attempts are presented.

Key – Words: machine, micro measurements, Metrology, measurement instruments, modern forms of measurement, error

3. Στοιχεία Μηχανών

3.1 Εισαγωγή

Στοιχεία μηχανών ονομάζονται τα τεμάχια που χρησιμοποιούνται κατ' επανάληψη, στην ίδια ή παραπλήσια μορφή για τη διαμόρφωση και συγκρότηση μηχανών, συσκευών και οργάνων.

Τα στοιχεία μηχανών μπορούν να ταξινομηθούν βάσει του ρόλου τους σε:

- στοιχεία σύνδεσης (ήλοι, κοχλίες, σφήνες, πολύσφηνα, πείροι, κολλήσεις)
- στοιχεία έδρασης και μετάδοσης της κίνησης (έδρανα, άξονες, άτρακτοι, συμπλέκτες, οδοντωτοί τροχοί, ιμάντες, αλυσίδες)
- στοιχεία για τη μεταφορά ρευστών (σωληνώσεις, βαλβίδες, κλπ.)

Ακόμη, βάσει του προορισμού τους τα στοιχεία μηχανών διακρίνονται σε:

- στοιχεία γενικού προορισμού (επιτελούν τον ίδιο πάντα σκοπό σε οποιαδήποτε μηχανή, πχ κοχλίες σύνδεσης)
- στοιχεία ειδικού προορισμού (χρησιμοποιούνται σε συγκεκριμένους τύπους μηχανών, πχ έμβολα)

3.2 Σύντομη Ιστορική Αναδρομή

Πρόγονος των στοιχείων μηχανών και γενικότερα των μηχανών είναι το εργαλείο. Τα πρώτα εργαλεία που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος ήταν στην ουσία και τα πρώτα αντικείμενα τεχνολογίας τα οποία χρησιμοποίησαν οι άνθρωποι για να καλύψουν τις βασικές τους ανάγκες, αλλά και για να προστατευτούν. Αιχμηρά κομμάτια πέτρας τα οποία βρέθηκαν στις όχθες ενός ποταμού στη περιοχή Αφάρ της Αιθιοπίας είναι τα αρχαιότερα εργαλεία που έχουν ανακαλυφθεί ως σήμερα. Χρονολογούνται γύρω στα 2,6 εκατομμύρια έτη π.Χ. Η εξέλιξη της τεχνολογίας ήταν αρκετά αργή. Υπάρχουν τρεις μεγάλες περιόδους: η Εποχή του Λίθου, η Εποχή του Χαλκού και η Εποχή του Σιδήρου.

Οι Μηχανές στην αρχαιότητα (Αρχαία Ελλάδα, Αίγυπτος κ.α.) χωρίζονταν σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- στις απλές και
- στις σύνθετες μηχανές.

Στις απλές μηχανές ανήκαν οι μοχλοί, η σφήνα, ο κοχλίας, η τροχαλία, το κεκλιμένο επίπεδο, το βαρούλκο, το πολύσπαστο κ.α. Στις σύνθετες μηχανές ανήκαν οι υδραυλικές μηχανές, οι μύλοι άλεσης και σύνθλιψης, οι ανυψωτικές, οι πολεμικές μηχανές (π.χ. καταπέλτης).

Ειδικά στην Αρχαία Ελλάδα και στην Αρχαία Αίγυπτο έζησαν και μεγαλούργησαν σπουδαίοι μηχανικοί που έφτιαξαν μηχανές και μηχανισμούς πολύ μπροστά για την εποχή τους.

3.3 Περιγραφή Στοιχείων Μηχανών

3.3.1 Άξονες - Άτρακτοι

Άξονας είναι κάθε μεταλλική ράβδος -κοίλη ή συμπαγής- της οποίας τα άκρα είναι κυλινδρικά (στροφείς), ενώ το υπόλοιπο τμήμα της μπορεί να έχει στρογγυλή διατομή ή και κάποια άλλη, συμμετρική μορφή. Έχουν τη γεωμετρία ενός κυλίνδρου με διαφορετικές διαμέτρους κατά μήκος. Οι άτρακτοι ανήκουν στους άξονες που περιστρέφονται και μεταφέρουν ροπή στρέψης και καταπονούνται σε κάμψη και στρέψη. Άτρακτοι κάθε είδους συναντώνται στις κινητήριες εργομηχανές, εργαλειομηχανές και σε συστήματα μετάδοσης κίνησης.

Άξονες οχημάτων

Οι άξονες αποτελούν αναπόσπαστο μέρος των πιο πρακτικών τροχοφόρων οχημάτων. Οι άξονες χρησιμεύουν για τη μετάδοση της ροπής οδήγησης στον τροχό, καθώς και για τη διατήρηση της θέσης των τροχών μεταξύ τους και στο σώμα του οχήματος.

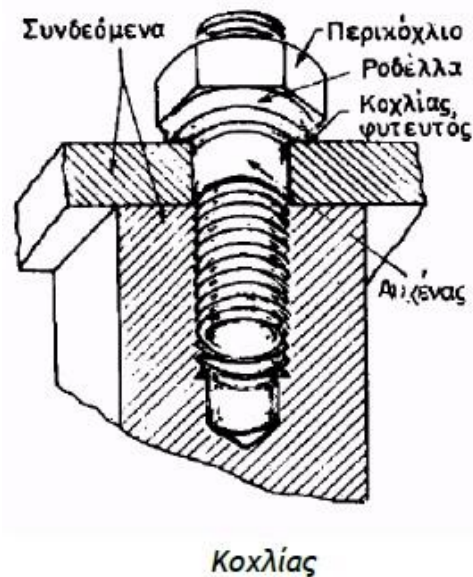
Οι άξονες είναι συνήθως κατασκευασμένοι από χάλυβα SAE grade 41xx ή SAE grade 10xx. Ο χάλυβας SAE grade 41xx είναι κοινώς γνωστός ως «χάλυβας χρωμίου-μολυβδαινίου», ενώ ο χάλυβας SAE grade 10xx είναι γνωστός ως «ανθρακούχος χάλυβας».



Εικόνα 1: Τροχός Shinkansen της σειράς 0 που χρησιμοποιείται σε ιαπωνικά τρένα μεγάλης ταχύτητας

3.3.2 Κοιλίες

Κοιλίας ονομάζεται κάθε κύλινδρος που φέρει στην επιφάνεια του σπείρωμα. Οι κοιλίες χρησιμοποιούνται στις λυόμενες συνδέσεις και αποτελούνται από την κεφαλή και τον κορμό. Ο κορμός περιλαμβάνει το αυλακωτό μέρος που ονομάζεται σπείρωμα και το μη-αυλακωτό που ονομάζεται αυχένος (υπάρχουν κοιλίες χωρίς αυχένα). Οι κοιλίες, συχνά, συνοδεύονται από περικόχλιο. Πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχουν κοιλίες χωρίς κεφαλή (φυτευτοί κοιλίες ή μπουζόνια), όπου ο αυχένος τους βρίσκεται στο μέσο του κορμού τους και κοιλίες χωρίς αυχένα όπου όλος ο κορμός τους είναι αυλακωτός. Συνήθη υλικά είναι ο χάλυβας, ο χαλκός, ο μπρούντζος και το αλουμίνιο.



Εικόνα 2: Κοχλίας

Κατηγορίες κοχλιών

Υπάρχουν κατηγορίες κοχλιών ανάλογα με τη λειτουργία τους:

- οι κοχλίες σύσφιξης
- σύνδεσης ή στερέωσης και
- οι κοχλίες κίνησης.

Ανάλογα με τη μορφή και τη χρήση τους οι κοχλίες στερέωσης μπορούν να διαχωριστούν στις παρακάτω τρεις κατηγορίες:

- το σύστημα κοχλία-περικοχλίου (bolt-nut), που χρησιμοποιείται για να συνδέσει δύο ή περισσότερα ανεξάρτητα στοιχεία, περνώντας τον κοχλία από τις αντίστοιχες οπές και βιδώνοντας το περικόχλιο
- τον βιδωτό κοχλία (screw), δηλαδή αυτόν που βιδώνεται σε τρύπα με σπείρωμα αντί του περικοχλίου, για να δημιουργήσει τη σύνδεση και
- τον ακέφαλο κοχλία με σπείρωμα και στις δυο άκρες, όχι κατ' ανάγκη συμμετρικό.

Οι κοχλίες στερέωσης κατατάσσονται περαιτέρω ανάλογα με:

- το σπείρωμά τους σε αυτούς που έχουν μετρικό σπείρωμα, σπείρωμα Whitworth και αμερικάνικο σπείρωμα και
- τον τρόπο που συνδέουν τα κομμάτια.

Περικόχλια

Κάθε σωλήνας που έχει εσωτερικά ένα οποιοδήποτε σπείρωμα καλείται περικόχλιο (παξιμάδι).



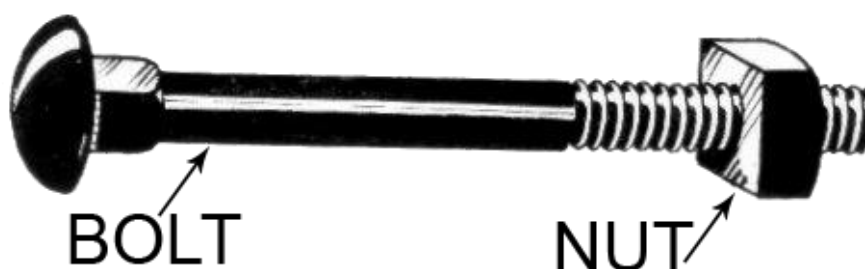
Εικόνα 3: Τύποι Περικοχλίων

Σπειρώματα

Το σπείρωμα ακολουθεί μια γραμμή που ονομάζεται ελικοειδής. Γενικά, το σπείρωμα λειτουργεί ως κεκλιμένο επίπεδο γύρω από τον κορμό του κοχλίου. Ορισμένα σπειρώματα είναι σχεδιασμένα να συνδυάζονται με ένα συμπληρωματικό σπείρωμα, το οποίο είναι γνωστό ως θηλυκό σπείρωμα (εσωτερικό σπείρωμα), συχνά με τη μορφή ενός περικοχλίου ή αντικειμένου που έχει διαμορφωθεί σε αυτό το εσωτερικό σπείρωμα. Άλλα κοχλιωτά σπειρώματα έχουν σχεδιαστεί για να κόβουν μια ελικοειδή αυλάκωση σε ένα μαλακότερο υλικό, καθώς εισάγεται ο κοχλίας.

Διαφορά κοχλίας – βίδας

Σε γενικές γραμμές -αν θα μπορούσαμε να δώσουμε έναν ορισμό-, ένας κοχλίας είναι ένας εξωτερικός κοχλιωτός συνδετήρας σχεδιασμένος για την εισαγωγή διαμέσου οπών σε συναρμολογημένα μέρη και συνήθως προορίζεται να συσφίγγεται ή να απελευθερώνεται με τη σύσφιξη ενός περικοχλίου. Μια βίδα είναι ένας εξωτερικός κοχλιωτός σύνδεσμος ικανός να εισάγεται σε οπές σε συναρμολογημένα μέρη ζευγαρώματος με ένα προσχηματισμένο εσωτερικό σπείρωμα ή να σχηματίζει το δικό του σπείρωμα και να σφίγγεται ή να απελευθερώνεται με τη στρέψη της κεφαλής.



Εικόνα 4: Ένας κοχλίας μεταφοράς με ένα τετράγωνο παξιμάδι

3.3.3 Ελατήρια

Τα ελατήρια έχουν την ιδιότητα να παραμορφώνονται κάτω από την επίδραση μιας εξωτερικής δύναμης και όταν επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση να αποδίδουν ξανά το έργο της παραμόρφωσης. Στην κλασική φυσική, ένα ελατήριο μπορεί να θεωρηθεί ως μια συσκευή που αποθηκεύει δυνητική ενέργεια, ειδικά ελαστική δυναμική ενέργεια, τεντώνοντας τους δεσμούς μεταξύ των ατόμων ενός ελαστικού υλικού.

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αποταμιευτές ενέργειας (π.χ. σε παιχνίδια και σε ρολόγια), ως μέσα επαναφοράς (π.χ. στις βαλβίδες των μηχανών εσωτερικής καύσης, στο γκάτζι των αυτοκινήτων, στο πεντάλ του συμπλέκτη, στο πεντάλ των φρένων ενός αυτοκινήτου), ως μετρητές δύναμης (ζυγαριές), ως μεταφορείς ροπής και ως αποσβέστες κραδασμών.

Υλικό κατασκευής

Το υλικό κατασκευής καθορίζεται από τις απαιτήσεις για δύναμη και διαδρομή του ελατηρίου. Εξίσου σημαντικό ρόλο παίζουν το βάρος, το μέγεθος και η θερμοκρασία.

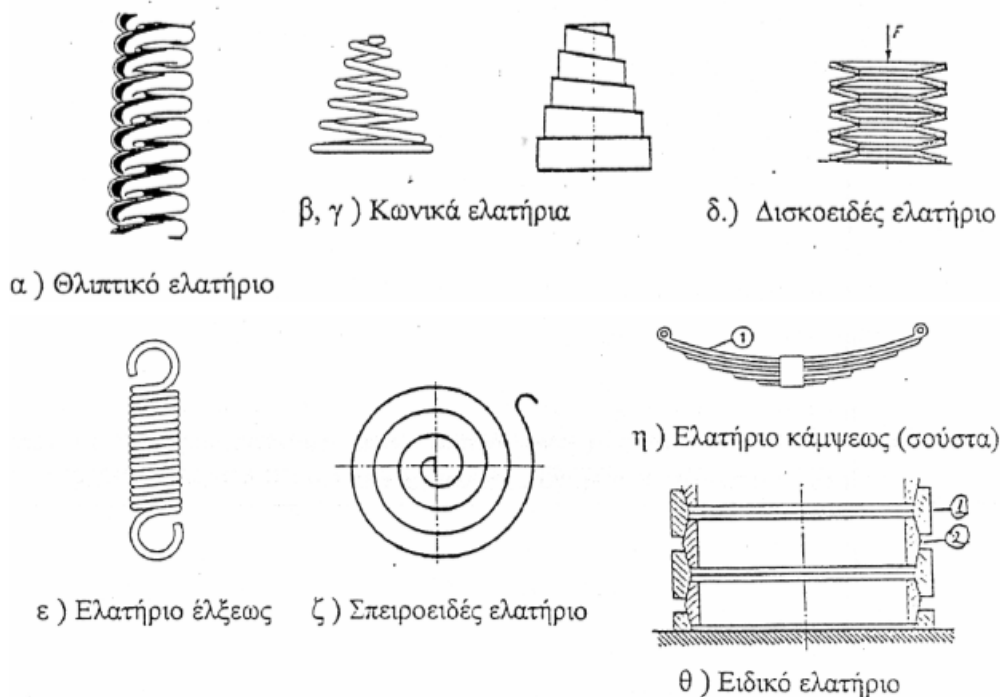
Η ελαστικότητα και η κατάλληλη κατασκευή των ελατηρίων ενισχύουν την ιδιότητά τους.

Το σύνθητες υλικό κατασκευής τους είναι ο χάλυβας. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται σκληρημένοι ανθρακούχοι χάλυβες, χρωμιούχοι, πυριτιούχοι, πυριτιούχοι - μαγγανιούχοι, χρωμιούχοι - βαναδιούχοι και ανοξειδώτοι χάλυβες. Για απαιτήσεις σε οξείδωση, μαγνητικές ιδιότητες και μικρές καταπονήσεις φτιάχνονται ελατήρια από κράματα νικελίου – βερυλίου και από φωσφορούχο και πυριτιούχο ορείχαλκο. Σε γενικές γραμμές όμως, το υλικό αλλά και η μορφή του ελατήριου καθορίζονται από τις απαιτήσεις για δύναμη και διαδρομή του ελατήριου.

Χρήση

Τα ελατήρια χρησιμοποιούνται γενικά για την παραλαβή μιας δύναμης η ενός ποσού κινητικής ενέργειας και για την εφαρμογή μιας δύναμης η την απόδοση μηχανικού έργου. Ειδικότερα χρησιμοποιούνται για:

- Την μέτρηση μηχανικών και ηλεκτρικών μεγεθών όπως δυναμόμετρα, δυναμόκλειδα, αμπερόμετρα, βολτόμετρα κτλ.
- Την μέτρηση και ρύθμιση δυνάμεων βαλβίδων, πιεστηρίων, συμπλεκτών τριβής, συνδέσμων ασφάλειας, ηλεκτρικών διακοπών κτλ.
- Την ισομερή κατανομή ενός φορτιού σε περισσότερες θέσεις όπως στους τροχούς, που στηρίζεται, ένα όχημα (αμορτισέρ), στις ταπετσαρίες καθισμάτων και στις θέσεις στήριξης ενός μηχανήματος κτλ.
- Την κίνηση μηχανήματων και μηχανισμών, όπως στα ρολόγια, στα τύμπανα αυτόματης τυλίξεως, στα παιχνίδια, στις βαλβίδες κτλ.



Εικόνα 5: Τύποι ελατηρίων

Τύποι ελατηρίων

Τα ελατήρια χωρίζονται ανάλογα με το κύριο είδος φόρτισης σε:

- Καμπτικά ελατήρια
- Στρεπτικά ελατήρια
- Διατμητικά ελατήρια
- Εφελκυστικά ελατήρια
- Θλιπτικά ελατήρια

Χωρίζονται επίσης, ανάλογα με την μορφή τους σε:

- Ελατήρια Ελικοειδή κυλινδρικά (Κυκλικής ή τετραγωνικής διατομής)
- Ελατήρια Ελικοειδή κωνικά (με σύρμα κυκλικής διατομής ή έλασμα)
- Ελατήρια Πεπλατυσμένα (από λάμες)
- Ελατήρια δισκοειδή
- Ελατήρια επίπεδα σπειροειδή
- Ελατήρια ειδικών μορφών

Στην καθημερινή χρήση, ο όρος ελατήριο αναφέρεται συχνά στα ελικοειδή.



Εικόνα 6: Ελικοειδές ελατήριο



Εικόνα 7: Ένας ελικοειδής ελατήριο βαρέως τύπου

3.3.4 Έδρανα

Έδρανα είναι τα στοιχεία της μηχανής στα οποία στηρίζονται οι άξονες και οι άτρακτοι, ώστε να είναι εφικτή η περιστροφή τους, ενώ παράλληλα μεταβιβάζουν τα φορτία τους στη βάση της μηχανής. Το τμήμα του άξονα ή της ατράκτου που έρχεται σε επαφή με το έδρανο ονομάζεται «στροφέας». Οι στροφείς συνήθως είναι κατάλληλα λειασμένοι, ώστε να μειώνεται η τριβή και η φθορά στο έδρανο. Για τον ίδιο λόγο εξάλλου συνηθίζεται στις περισσότερες περιπτώσεις η χρήση κάποιου λιπαντικού (λάδι, γράσο κλπ). Οι διαστάσεις των εδράνων είναι συνήθως,

τυποποιημένες και ορίζονται με βάση τη διάμετρο της ατράκτου που στηρίζουν.

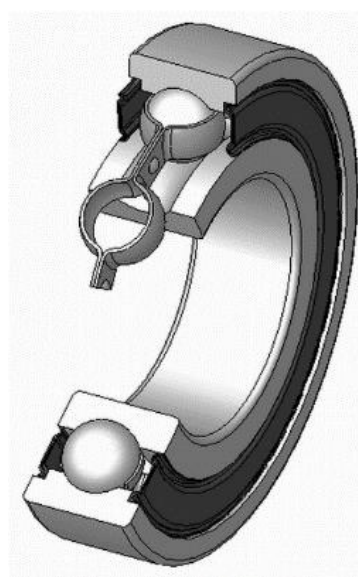
Υπάρχουν δύο είδη εδράνων:

- τα έδρανα ολίσθησης όπου κατά την περιστροφή της ατράκτου αναπτύσσεται τριβή ολίσθησης και
- τα έδρανα κύλισης στα οποία αναπτύσσεται τριβή κύλισης, που επιτυγχάνεται με την παρεμβολή μεταξύ του κινητού και του ακίνητου μέρους τους, στοιχείων που εξαναγκάζονται σε κύλιση.

Έδρανα ολίσθησης

Τα έδρανα ολίσθησης αποτελούνται από:

- Τον τριβέα, ένα κυλινδρικό σώμα με τρύπα στο μέσο ώστε να δέχεται τον στροφέα της ατράκτου. Ο τριβέας συνήθως, αποτελείται από δύο μέρη, αλλά μπορεί να είναι και μονοκόμματος και κατασκευάζεται από χυτοσίδηρο ή μπρούντζο.
- Το σώμα πάνω στο οποίο στερεώνεται ο τριβέας.
- Το κάλυμμα που αποτελεί το πάνω μέρος του σώματος του εδράνου.
- Τους κοχλίες σύσφιξης οι οποίοι ενώνουν το κάλυμμα, τον τριβέα και το σώμα.
- Την πλάκα έδρασης πάνω στην οποία τοποθετείται το έδρανο.
- Το σύστημα λίπανσης.



Εικόνα 8: 3D τομή ενός ρουλεμάν

Έδρανα κύλισης (ρουλεμάν, τριβείς κύλισης)

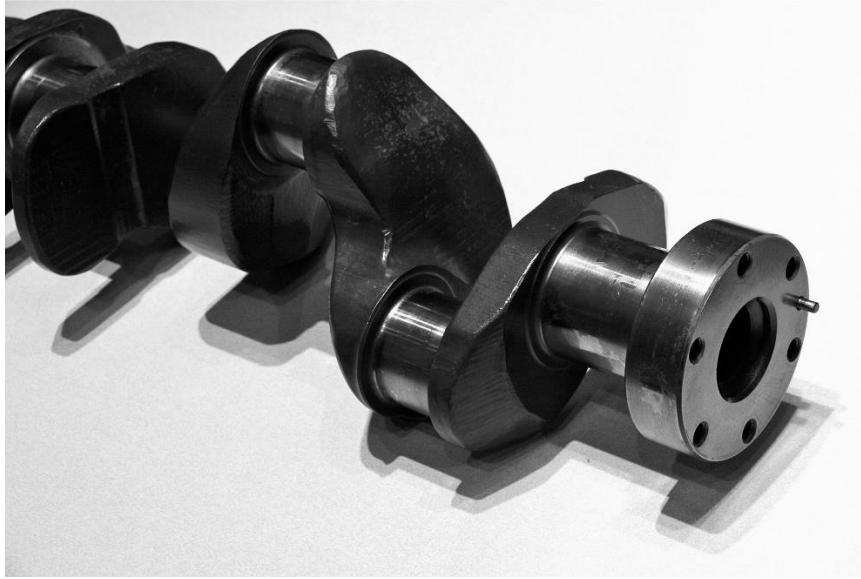
Τα έδρανα κύλισης αποτελούνται από:

- τον εξωτερικό δακτύλιο με αυλάκι στο εσωτερικό του, ο οποίος τοποθετείται είτε σε θήκη είτε σε υποδοχή στο σώμα της μηχανής
- τον εσωτερικό δακτύλιο με αυλάκι στο εξωτερικό του, ο οποίος τοποθετείται στην άτρακτο
- τα κυλιόμενα στοιχεία του εδράνου
- τον κλωβό (σφαιροθήκη) που κρατά τα κυλιόμενα στοιχεία σε ορισμένη απόσταση (ολόσωμος ή διαιρούμενος)
- τα καλύμματα των κυλιόμενων στοιχείων, τα οποία είναι ελάσματα που εμποδίζουν την εισχώρηση ξένων σωμάτων στις επιφάνειες τριβής.

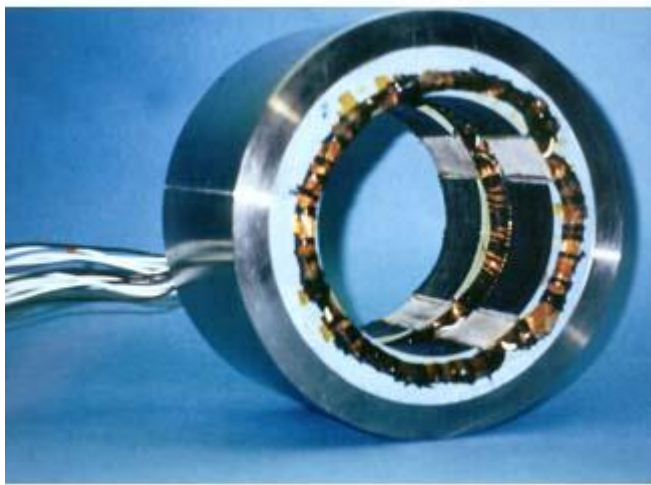
Διακρίνονται με βάση τη μορφή του στοιχείου κύλισής τους και με βάση τη λειτουργία τους:

- σε ακτινικά και αξονικά και
- σε σταθερά και αυτορρυθμιζόμενα.

Τα πλεονεκτήματα των εδράνων κύλισης έναντι των εδράνων ολίσθησης είναι ότι έχουν μικρότερες διαστάσεις, μεγάλο βαθμό απόδοσης, απαιτούν μικρή ροπή εκκίνησης, δε χρειάζονται ιδιαίτερη παρακολούθηση, δεν έχουν κίνδυνο υπερθέρμανσης, χρειάζονται μικρή ποσότητα λιπαντικού, η λειτουργία τους είναι ανεξάρτητη από το υλικό της ατράκτου και τέλος εάν επιλεγθούν σωστά έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής. Παρόλα αυτά, είναι ακριβότερα από τα έδρανα ολίσθησης, έχουν μεγαλύτερο θόρυβο, δεν κατασκευάζονται διαιρούμενα, δεν αντέχουν σε κρουστικά φορτία, απαιτούν προσεκτική τοποθέτηση και δεν επισκευάζονται.



Εικόνα 9: Στροφαλοφόρος Άξονα. Διακρίνονται οι επιμελώς λειασμένοι στροφείς, στους οποίους ο άξονας έρχεται σε επαφή με τα έδρανα



Εικόνα 10: Μαγνητικό έδρανο

Τριβή

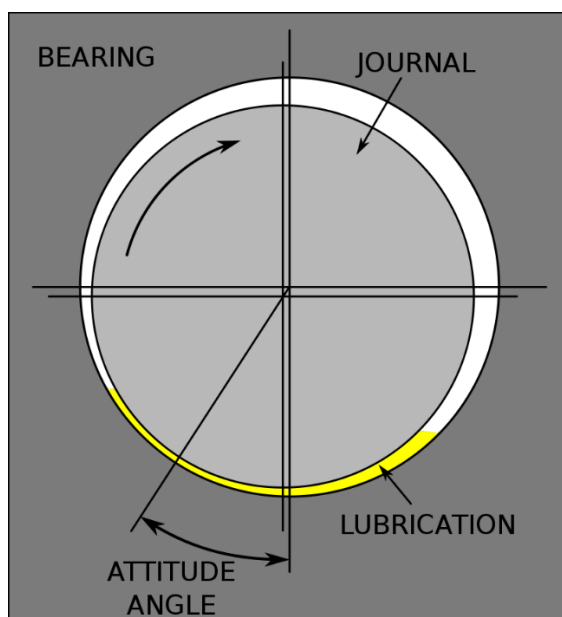
Η μείωση της τριβής στα έδρανα είναι σημαντική και για την αποτελεσματικότητα, τη μείωση της φθοράς, τη διευκόλυνση της εκτεταμένης χρήσης σε υψηλές ταχύτητες, την αποφυγή της υπερθέρμανσης και της πρόωρης αποτυχίας του εδράνου. Ένα έδρανο μπορεί να μειώσει την τριβή με το σχήμα του (χρήση σφαιρών ή κυλίνδρων ή με εύκαμπτα έδρανα - flexure bearings), με το υλικό του ή εισάγοντας

ένα ρευστό μεταξύ των επιφανειών ή διαχωρίζοντας τις επιφάνειες με ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο.

Συντήρηση και λίπανση

Πολλά έδρανα απαιτούν περιοδική συντήρηση για να αποτραπεί η πρόωρη βλάβη τους. Τα περισσότερα ρουλεμάν σε εφαρμογές υψηλών περιστροφών χρειάζονται περιοδική λίπανση και καθαρισμό.

Η διάρκεια ζωής συχνά, παρατείνεται όταν το ρουλεμάν διατηρείται καθαρό και λιπαίνεται καλά. Όσο πιο συστηματικά γίνεται η λίπανση, τόσο περισσότερο ελαττώνονται οι φθορές των τριβέων και κατ' επέκταση προλαμβάνονται οι επισκευές. Η λίπανση δύναται να γίνει είτε με γράσο, είτε με ορυκτέλαιο. Στη λίπανση με γράσο χρησιμοποιούνται ειδικοί λιπαντήρες (Stauffer). Η λίπανση με ορυκτέλαιο γίνεται είτε με ελεύθερη εκροή, είτε με ανακυκλοφορία. Βέβαια, πολλές εφαρμογές κάνουν την καλή συντήρηση δύσκολη.



Εικόνα 11: Μια σχηματική αναπαράσταση ενός ρουλεμάν κάτω από μια υδροδυναμική κατάσταση λίπανσης

3.3.5 Σύνδεσμοι

Οι σύνδεσμοι χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση ατράκτων μεταξύ τους ή ατράκτων με στοιχεία μηχανών ή μηχανών μεταξύ τους, με σκοπό τη μεταφορά ροπής στρέψης.

Σε περίπτωση υπερφόρτισης, μπορούν να διακόψουν τη σύνδεση ή να αντισταθμίσουν ακτινικές, αξονικές και γωνιακές μετατοπίσεις των ατράκτων. Η σύνδεση των ατράκτων μπορεί να γίνει είτε με τρόπο άκαμπτο ή ελαστικό-κινητό (σταθεροί σύνδεσμοι), είτε με τρόπο που να επιτρέπει την αποσύνδεση εν λειτουργία (λυόμενοι σύνδεσμοι, συμπλέκτες).

Μη λύόμενοι σύνδεσμοι (μη διακοπτόμενης ζεύξης)

Αυτού του είδους οι σύνδεσμοι χρησιμοποιούνται όταν η ένωση μεταξύ δύο ατράκτων ή παρόμοιων στοιχείων είναι σταθερή και άκαμπτη ή επιτρέπει μετατοπίσεις διαφόρων ειδών.

Τα κυριότερα είδη μη λυόμενων συνδέσμων είναι:

- Δισκοειδείς σύνδεσμοι
- Οδοντωτοί σύνδεσμοι
- Σύνδεσμοι με εσοχές και προεξοχές
- Κελυφοειδείς σύνδεσμοι
- Αρθρωτοί σύνδεσμοι
- Ελαστικοί σύνδεσμοι
- Μεταλλικοί σύνδεσμοι.

Λύόμενοι σύνδεσμοι (συμπλέκτες)

Οι λύόμενοι σύνδεσμοι χρησιμοποιούνται για σύμπλεξη και αποσύμπλεξη ατράκτων και στοιχείων μηχανών, αλλά και για σύνδεση των κινητήριων μηχανών με άλλα μηχανήματα. Με αυτό τον τρόπο, δίνεται η δυνατότητα να απομονώνεται κατά βούληση η κινητήρια μηχανή κατά τη διάρκεια της λειτουργίας.

Ειδικότερα, ο συμπλέκτης είναι ο πρώτος μηχανισμός του συστήματος μετάδοσης κίνησης και βρίσκεται αμέσως μετά τον κινητήρα, δηλαδή μεσολαβεί μεταξύ σφονδύλου και κιβωτίου ταχυτήτων. Σκοπός του είναι να συνδέει και να αποσυνδέει τον στροφαλοφόρο άξονα (μέσω του σφονδύλου) και τον πρωτεύοντα άξονα του κιβωτίου ταχυτήτων.

Τύποι συμπλεκτών

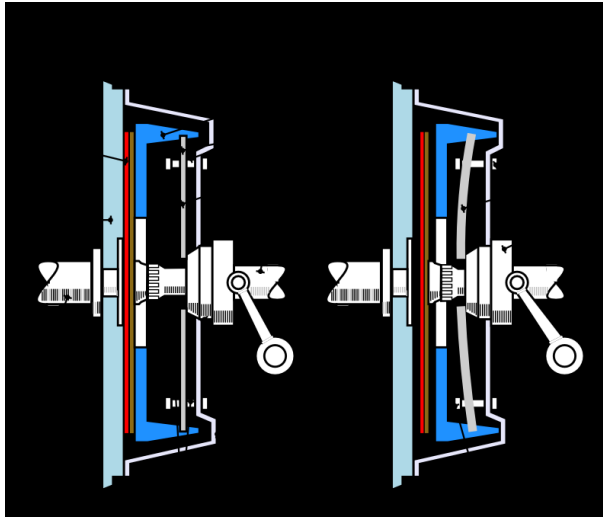
- Μηχανικοί ξηροί: λειτουργούν βασιζόμενοι στη δύναμη της τριβής. Η μηχανική ενεργοποίηση του συμπλέκτη γίνεται με τη βοήθεια μηχανικών συνδέσμων και μοχλών αποσύμπλεξης
- Υδραυλικοί: χρησιμοποιούν την κινητική ενέργεια του υγρού. Η υδραυλική ενεργοποίηση γίνεται με τη βοήθεια υδραυλικών κυλίνδρων (απαραίτητη προϋπόθεση η ύπαρξη υδραυλικού κυκλώματος).
- Ηλεκτρομαγνητικοί: χρησιμοποιούν τη δύναμη της τριβής που παράγεται από την κίνηση της σκόνης σιδήρου (φερρομαγνητικής σκόνης) εντός μαγνητικού πεδίου.
- Φυγοκεντρικοί συμπλέκτες: χρησιμοποιούν τη φυγόκεντρη δύναμη.
- Συνδυαζόμενοι μηχανικό - υδραυλικοί: χρησιμοποιούν συνδυαστικά δυο τύπους, τον υδραυλικό και τον ξηρό.

Μηχανικοί Συμπλέκτες

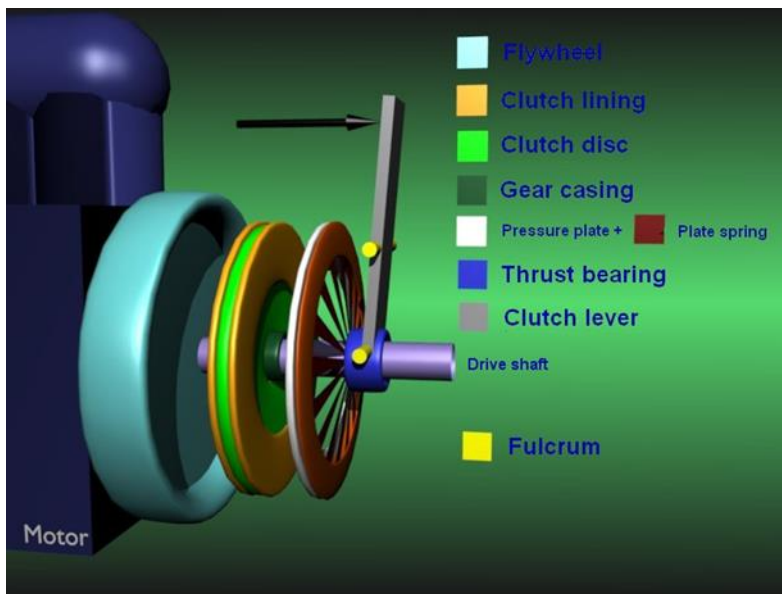
Ο μηχανικός συμπλέκτης τοποθετείται πάνω στον σφόνδυλο του κινητήρα και τα κυριότερα μέρη αυτού είναι:

- η πλάκα πίεσεως
- ο μηχανισμός αναρτήσεως
- ο δίσκος του συμπλέκτη
- ο άξονας του συμπλέκτη και
- ο ωστικός τριβέας.

Ο μηχανικός συμπλέκτης λειτουργεί ως εξής: η επιφάνεια του σφονδύλου του κινητήρα και η επιφάνεια του δίσκου του συμπλέκτη πιέζονται μεταξύ τους από μία κάθετη δύναμη (με την επενέργεια των ελατηρίων), ώστε να γίνει εφικτή η μετάδοση της ροπής δια ξηρής τριβής. Το μέγεθος της κάθετης δύναμης καθορίζει τη ροπή που μπορεί να μεταδοθεί. Εάν η μεταδιδόμενη ροπή είναι μικρότερη αυτής της δύναμης, η μετάδοση της ροπής γίνεται χωρίς ολίσθηση μεταξύ των επιφανειών τριβής. Στην περίπτωση που η μεταδιδόμενη ροπή είναι ίση ή μεγαλύτερη της δύναμης, η μετάδοση γίνεται με ολίσθηση. Τέλος, όταν πάψει η επενέργεια της δύναμης, τότε διακόπτεται η μετάδοση της ροπής.



Εικόνα 12: "Σύμπλεξη" Β "Αποσύμπλεξη" 1. Στροφαλοφόρος άξονας; 2. Σφόνδυλος; 3. Δίσκος τριβής; 4. Πλάκα πίεσης; 5. Ελατηριωτό διάφραγμα-χτένι; 6. Πρωτεύοντα άξονα του κιβωτίου ταχυτήτων; 7. Ωστικός τριβέας; 8. Κέλυφος; 9. Ανοχή πάκτωσης 10. Ασφάλεια εσωτερική 11. Ασφάλεια εξωτερική.



Εικόνα 13: Συμπλέκτης ξηράς τριβής-Εξαρτήματα

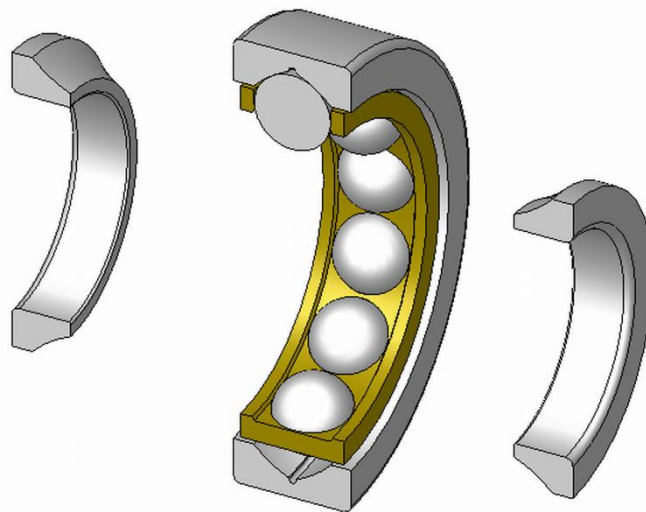
Πλατώ

Το πλατώ είναι ένα σύνολο εξαρτημάτων το οποίο στερεώνεται με κοχλίες πάνω στον σφόνδυλο και περιστρέφεται μαζί με αυτόν. Αποτελείται από:

- Την πλάκα πίεσεως που είναι ένας δίσκος με δακτυλιοειδή μορφή και κατασκευάζεται από χυτοσίδηρο και αναπτύσσει την απαραίτητη τριβή με το δίσκο.
- Το κέλυφος, το οποίο είναι μία θήκη από χαλύβδινο έλασμα που περιβάλλει και συγκρατεί την πλάκα πίεσεως και το σύστημα μοχλών
- Το σύστημα μοχλών αποσυμπλέξεως

Ωστικός τριβέας

Είναι περισσότερο γνωστός ως ρουλεμάν του συμπλέκτη. Είναι ένα εξάρτημα το οποίο δέχεται τη δύναμη που έρχεται, με κατάλληλο τρόπο, για να πιέσει με τη σειρά του τα χτένια και να δημιουργηθεί απομάκρυνση της πλάκας πίεσεως. Περιστρέφεται στο ξεκίνημα του αυτοκινήτου και στην αποσύμπλεξη για την αλλαγή της ταχύτητας. Χρησιμοποιείται αυτολιπαινόμενος τριβέας που δεν απαιτεί λίπανση.

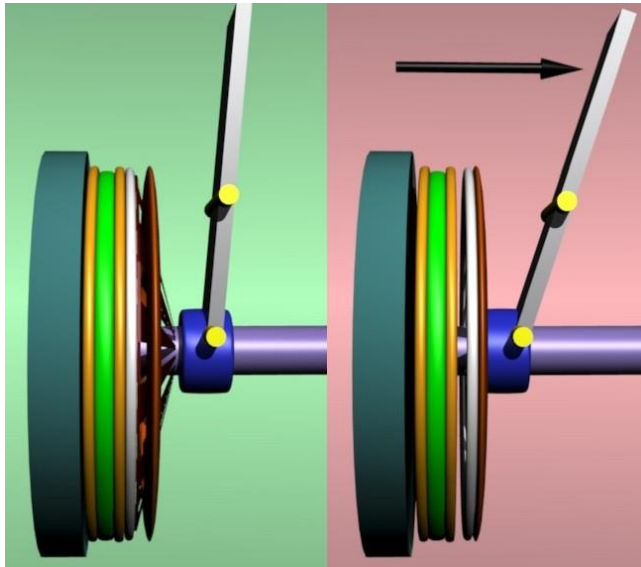


Εικόνα 14: Ωστικός τριβέας

Δίσκος τριβής

Ο δίσκος τριβής μεσολαβεί μεταξύ σφονδύλου και πλατώ. Η επιφάνεια επαφής του είναι από φερμουίτ ή υλικά με μεγάλο συντελεστή τριβής, ώστε να μπορεί να μεταφέρει τη ροπή στρέψης αλλά και να αντέχει την αναπτυσσόμενη υψηλή θερμοκρασία. Η επιφάνεια επαφής είναι συνδεδεμένη με πριτσίνια πάνω σε ένα χαλύβδινο έλασμα που ονομάζεται μαργαρίτα. Το χαλύβδινο αυτό έλασμα είναι

συνδεδεμένο ελαστικά με την πλήμνη με ελικοειδή ελατήρια, τα οποία ονομάζονται ελατήρια απορρόφησης.. Σκοπός της σύνδεσης αυτής είναι η προοδευτική μετάδοση της κίνησης κατά τη σύμπλεξη.



Εικόνα 15: Λειτουργία του μηχανικού ξηρού συμπλέκτη τριβής - Αποσύμπλεξη

Σύστημα αποσύμπλεξης ξηρού συμπλέκτη

Ο χειρισμός του συμπλέκτη γίνεται με το πεντάλ και η πίεση μεταδίδεται μέσω:

- Κινηματικής αλυσίδας (μοχλός ή ντίζας). Η μηχανική κινηματικής αλυσίδας είναι αξιόπιστη στην λειτουργία, αλλά απαιτεί μεγαλύτερη δύναμη χειρισμού
- Ενός υδραυλικού συστήματος. Το σύστημα αυτό πολλαπλασιάζει τη δύναμη, όμως η παρουσία αέρα στις σωληνώσεις του και η έλλειψη στεγανότητας το θέτουν εκτός λειτουργίας.

Υδραυλικοί Συμπλέκτες

Το υδραυλικό σύστημα χρησιμοποιεί τη φυγόκεντρη δύναμη ενός υγρού για να μεταδώσει την κίνηση από τον κινητήρα στο σύστημα μετάδοσης κίνησης.

Αποτελείται από:

- Το δοχείο υγρού
- την κεντρική αντλία
- τη βοηθητική αντλία και
- τις απαραίτητες σωληνώσεις για τη σύνδεσή τους.

Το δοχείο υγρού πρέπει να βρίσκεται σε τέτοια θέση, ώστε το σύστημα να είναι πάντα γεμάτο με υγρό. Η πίεση μεταδίδεται από την κεντρική αντλία στη βοηθητική, μέσω των σωληνώσεων του συστήματος. Ο μοχλός της βοηθητικής αντλίας μεταδίδει την πίεση στο δίχαλο, το οποίο με τη σειρά του πιέζει τον ωστικό τριβέα με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται η αποσύμπλεξη του δίσκου του συμπλέκτη. Μεταλλική επαφή δεν υπάρχει. Το υδραυλικό σύστημα έχει ανάγκη εξαέρωσης, η οποία γίνεται από έναν ειδικό κοχλία εξαερισμού που βρίσκεται στη βοηθητική αντλία.

Αρχές λειτουργίας

Όταν ο κινητήρας λειτουργεί με χαμηλές στροφές (μέχρι 900 rpm), η ταχύτητα ροής του λαδιού μέσα στον συμπλέκτη είναι πολύ μικρή και η δύναμη που δέχεται ο στρόβιλος από το λάδι, δεν είναι ικανή να το περιστρέψει. Σε αυτή τη φάση, δεν μεταδίδεται ισχύς από τον κινητήρα προς τους κινητήριους τροχούς.

Όταν όμως αυξήσουμε τις στροφές της μηχανής (άνω των 1500 rpm), τότε αυξάνει και η φυγόκεντρη δύναμη του λαδιού που εξάγεται από τα πτερύγια της αντλίας και έτσι δημιουργείται η ροπή περιστροφής του κελύφους του στρόβιλου. Αυτή η μεταφορά ισχύος συνεχίζεται όσο ο στρόβιλος περιστρέφεται με χαμηλότερο αριθμό στροφών από την αντλία και παύει όταν οι στροφές εξισωθούν.

Το βασικό μειονέκτημα του υδραυλικού συμπλέκτη παρουσιάζεται στην επιστροφή της ροής του λαδιού από τον στρόβιλο στην αντλία με αντίθετη φορά περιστροφής. Όταν το όχημα συναντήσει μεγάλη αντίσταση, τότε η ροπή που απαιτείται για να κινηθεί ο στρόβιλος από την αντλία είναι πολύ μεγαλύτερη και η κίνηση διακόπτεται.

Μετατροπέας ροπής

Ο μετατροπέας ροπής -όπως και ο υδραυλικός συμπλέκτης- έχει δύο δακτυλίους (στρόβιλος και αντλία). Τα πτερύγια εδώ όμως, είναι λοξά και ελικοειδή. Με την παρουσία ενός τρίτου δακτυλίου που ονομάζεται στάτης, ξαναδίνεται στο λάδι η βέλτιστη γωνία πρόσκρουσης στην αντλία και διατηρούνται οι στροφές στις ανηφόρες και κατηφόρες, όπου είναι και εντονότερο το πρόβλημα.



Εικόνα 16: Μετατροπέας ροπής

Ηλεκτρομαγνητικός Συμπλέκτης Ξηράς Σκόνης

Αποτελείται από ένα κινητήριο μέρος συνδεδεμένο με τον σφόνδυλο κι ένα κινούμενο μέρος συνδεδεμένο με τον πρωτεύοντα άξονα του κιβωτίου ταχυτήτων. Χρησιμοποιεί τη δύναμη της τριβής που παράγεται από την κίνηση της σκόνης σιδήρου (φερομαγνητικής σκόνης) εντός ενός μαγνητικού πεδίου. Κυρίως, χρησιμοποιείται στα αυτόματα κιβώτια ταχυτήτων.

Αρχές λειτουργίας

Ανάμεσα στο κινητήριο και το κινούμενο μέρος υπάρχει μια φερρομαγνητική σκόνη (σκόνη σιδήρου). Όταν το μαγνητικό πεδίο του τυλίγματος διεγερθεί η μαγνητική σκόνη μαζεύεται στο χώρο μεταξύ της κυλινδρικής επιφάνειας του δίσκου του συμπλέκτη και της θήκης του ηλεκτρικού τυλίγματος και τις συμπλέκει.



Εικόνα 17: Ηλεκτρομαγνητικός Συμπλέκτης

Η ικανότητα μεταφοράς ροπής στρέψης είναι ανάλογη με τις αυξομειώσεις της έντασης του ρεύματος διέγερσης του μαγνητικού πεδίου. Μπορούμε να αυξομειώσουμε το βαθμό ολίσθησης, καθώς και να πετύχουμε πλήρη σύμπλεξη του συμπλέκτη.

Φυγοκεντρικός Συμπλέκτης

Στους συμπλέκτες αυτούς, ο σφόνδυλος και η πλάκα πίεσης συνδέονται με αρθρωτούς βραχίονες (ζύγωθρα) που έχουν προσαρμοσμένα βαρίδια. Καθώς ο κινητήρας περιστρέφεται, τα αντίβαρα λόγω της φυγόκεντρης δύναμης απομακρύνονται, αναγκάζοντας τους αρθρωτούς βραχίονες να πιέσουν την πλάκα πίεσης προς το σφόνδυλο. Έτσι, πιέζεται ο δίσκος και επιτυγχάνεται η μετάδοση της κίνησης.

Συμπλέκτης Saxomat

Βελτιωμένος τύπος φυγοκεντρικού συμπλέκτη. Είναι ένα σύστημα που λειτουργεί με την υποπίεση από την πολλαπλή εισαγωγή του κινητήρα. Συγκεκριμένα όταν ο οδηγός σταματά να πιέζει το πεντάλ του γκαζιού για να αλλάξει ταχύτητα, η υποπίεση του κινητήρα μεταβάλλεται. Η μεταβολή αυτή επιδρά σε ένα διάφραγμα και ο κινητήρας αποσυμπλέκεται.

Ημι-φυγοκεντρικοί συμπλέκτες

Οι συμπλέκτες αυτοί μοιάζουν με τους φυγοκεντρικούς με τη διαφορά ότι διαθέτουν εκτός από τα αντίβαρα και ελατήρια, τα οποία πιέζουν την πλάκα πίεσης προς τον σφόνδυλο. Στις χαμηλές στροφές επενεργούν πάνω στην πλάκα πίεσης μόνο τα ελατήρια. Στις υψηλές στροφές τα αντίβαρα -λόγω της δύναμης που αναπτύσσεται- απομακρύνονται και η πλάκα πίεσης πιέζεται με μια δύναμη που προστίθεται σε αυτή των ελατηρίων.

3.3.6 Οδοντωτοί τροχοί

Στις μηχανές παρουσιάζεται η ανάγκη να μεταφερθεί κίνηση από την μία άτρακτο στην άλλη. Για να μεταδοθεί η κίνηση χρησιμοποιούνται οι οδοντωτοί τροχοί, οι μάντες και οι αλυσίδες. Όταν η κίνηση μεταδίδεται με τη βοήθεια των οδοντωτών τροχών ονομάζεται οδοντοκίνηση. Ο οδοντωτός τροχός είναι ένας δίσκος

κατασκευασμένος από μέταλλο ή άλλη ανθεκτική ύλη, του οποίου η περιφέρεια είναι χωρισμένη κατά κανονικά διαστήματα σε δόντια, δηλαδή εσοχές και προεξοχές. Όλα τα δόντια πρέπει να έχουν το ίδιο πάχος, ύψος, μορφή και η απόσταση μεταξύ τους να είναι ίδια. Συνήθως, στους οδοντωτούς τροχούς διακρίνονται η πλήμνη, ο κορμός και η οδοντωτή στεφάνη ή οδόντωση. Σε μερικές κατασκευές, η πλήμνη δεν ξεχωρίζει από τον κορμό. Η εμπλοκή δύο οδοντωτών τροχών γίνεται με την είσοδο των δοντιών του ενός στα αυλάκια του άλλου, οπότε όταν ο ένας τροχός τεθεί σε κίνηση, τίθεται και ο άλλος.

Πλεονεκτήματά τους θεωρούνται ο μεγάλος βαθμός απόδοσης και η ακριβής σχέση μετάδοσης σε συνδυασμό με τη μικρή απαιτούμενη συντήρηση, η μεγάλη ασφάλεια λειτουργίας και διάρκεια ζωής, η δυνατότητα υπερφόρτισης και ο μικρότερος χώρος που καταλαμβάνουν έναντι των μάντων και των αλυσίδων. Μειονεκτήματα θεωρούνται το σχετικά μεγάλο κόστος κατασκευής, η θορυβώδης λειτουργία και η μη ελαστική μεταφορά δυνάμεων.

Βασικός νόμος οδόντωσης

Σύμφωνα με το βασικό νόμο, για να μεταφερθεί η κίνηση ομοιόμορφα από έναν οδοντωτό τροχό στον συνεργαζόμενο, δηλαδή για να κυλιέται χωρίς να ολισθαίνει ο αρχικός κύκλος του ενός τροχού πάνω στον αρχικό κύκλο του συνεργαζόμενου, θα πρέπει η κάθετος στο εκάστοτε σημείο επαφής των δύο συνεργαζόμενων κατατομών να περνά από το κέντρο κύλισης.

Τύποι οδοντωτών τροχών

Οι οδοντωτοί τροχοί κατηγοριοποιούνται με βάση της γεωμετρίας τους σε:

- μετωπικούς και
- κωνικούς.

Βάσει της μορφής της οδόντωσης του μπορούν να διαχωριστούν σε:

- οδοντωτούς τροχούς με παράλληλη και
- οδοντωτούς τροχούς με κεκλιμένη οδόντωση.

Τέλος, βάσει του εάν κινούν ή κινούνται χαρακτηρίζονται ως:

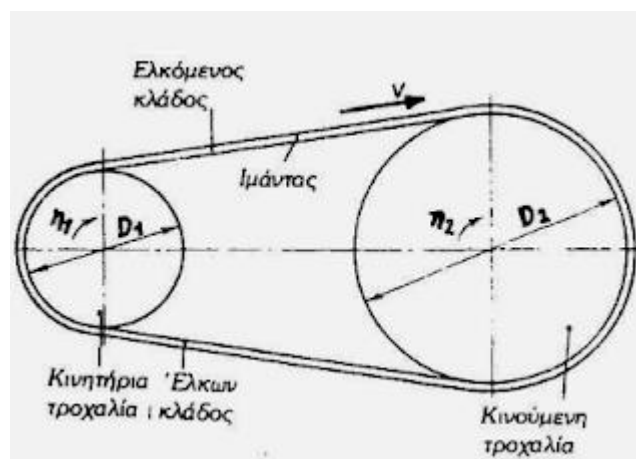
- πινιόν και
- τροχοί.

3.3.7 Ιμάντες

Η μαντοκίνηση αποτελείται από τροχαλίες και ιμάντες και έχει σκοπό τη μετάδοση της κίνησης από μία άτρακτο σε μία άλλη που βρίσκεται σε απόσταση. Στην πιο απλή της μορφή αποτελείται από δύο τροχαλίες και έναν εύκαμπτο ιμάντα που στις περισσότερες περιπτώσεις τις περιβάλλει. Ο ιμάντας πρέπει να εφάπτεται δυνατά στις επιφάνειες των τροχαλιών. Η μετάδοση της κινήσεως και της ισχύος επιτυγχάνεται με την αναπτυσσόμενη πρόσφυση μεταξύ ιμάντα και τροχαλιών.

Είδη μαντοκίνησης

Η μαντοκίνηση διαχωρίζεται ανάλογα με τη μορφή, το υλικό και τον τρόπο σύνδεσης του ιμάντα. Διακρίνονται και ανάλογα με το τύλιγμα του λουριού σε ανοιχτή διάταξη, διασταυρούμενη διάταξη και ημιδιασταυρούμενη. Ανάλογα με τη θέση της άτρακτου χωρίζονται σε οριζόντια διάταξη, σε κατακόρυφη διάταξη και σε πλάγια διάταξη. Τέλος ανάλογα με τον τρόπο μείωσης των στροφών, διακρίνονται σε σταθερής μείωσης, μεταβολής στροφών κατά βήματα και συνεχούς μεταβολής στροφών.



Εικόνα 18: Ιμαντοκίνηση

Τροχαλίες

Η τροχαλία αποτελείται από τη στεφάνη, τους βραχίονες (τέσσερις ή έξι τον αριθμό) και τον ομφαλό (πλήμνη). Οι βραχίονες συνδέουν τη στεφάνη με τον ομφαλό.

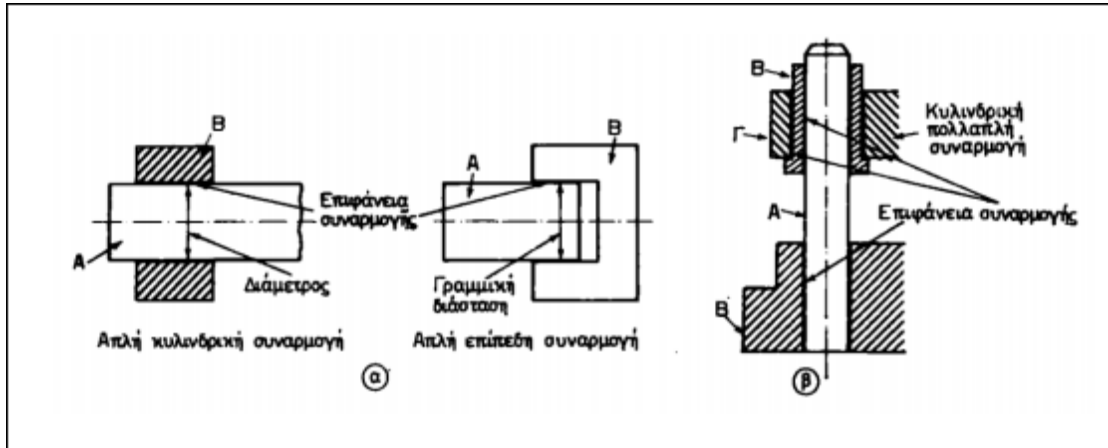
Οι τροχαλίες διακρίνονται ανάλογα με τη διατομή του ιμάντα σε επίπεδες, αυλακωτές και οδοντωτές. Επίσης, ανάλογα με τη δυνατότητα που έχουν για μεταβολή στροφών διακρίνονται σε τροχαλίες για σταθερή αύξηση ή μείωση στροφών, τροχαλίες για τη μείωση των στροφών κατά βαθμίδες, και τροχαλίες για συνεχή μεταβολή στροφών. Ανάλογα με το υλικό τους, διακρίνονται σε τροχαλίες από χυτοσίδηρο ή χυτοχάλυβα, αλουμίνιο, πλαστικό, ξύλο και χάλυβα. Επίσης, διαχωρίζονται ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους σε χυτές, συγκολλητές και πρεσσαριστές. Ακόμα, χωρίζονται ανάλογα με τη διαμόρφωση του κορμού τους σε μονοκόμματα, διαιρούμενες, με ολόσωμο κορμό και με βραχίονες. Τέλος, οι τροχαλίες διακρίνονται σε σφηνωμένες (σταθερές) και ελεύθερες.

Ιμάντες

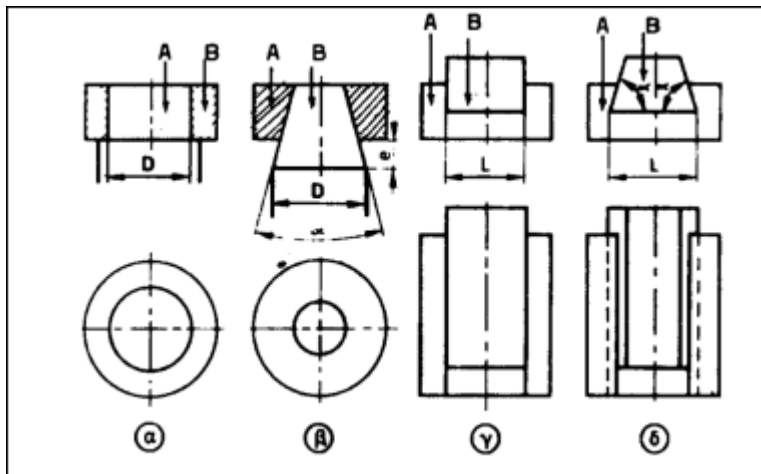
Κάθε ιμάντας είναι δυνατόν να χωριστεί νοητά σε δύο ισομήκεις κλάδους. Τον κλάδο που έλκει την κινούμενη τροχαλία (ελκών κλάδος) και τον κλάδο που έλκεται από αυτήν (ελκόμενος κλάδος). Για να εξασφαλιστεί πιο ομαλή λειτουργία, συνήθως ο κάτω κλάδος έλκει, ενώ ο πάνω έλκεται. Οι ιμάντες διακρίνονται ανάλογα με την μορφή τους σε κυκλικούς, επίπεδους, τραπεζοειδείς, οδοντωτούς και αυλακωτούς. Επίσης, διαχωρίζονται ανάλογα με το υλικό τους σε υφαντούς, δερμάτινους, ελαστικούς, συνθετικούς κ.ά. Τέλος, διαχωρίζονται ανάλογα με τη σύνδεση των άκρων τους σε ατέρμονες και ιμάντες με το μέτρο.

4. Ανοχές -Συναρμογές

Με τον ορό συναρμογή λέμε ένα συγκρότημα που αποτελείται από δύο κομμάτια, το Α και το Β. Επίσης, το συγκρότημα μπορεί να αποτελείται από παραπάνω από δύο κομμάτια, να επιτρέπεται δηλαδή το ένα κομμάτι να κινείται μέσα στο άλλο.



Εικόνα 19: Δύο κομμάτια Α και Β ή Α και Β' ή και περισσότερα Α,Β,Γ, όταν συνεργάζονται αποτελούν μία συναρμογή



Εικόνα 20: Διάφορες μορφές συναρμογών: (α) Κυλινδρική. (β)Κωνική. (γ)Πρισματική με επιφάνειες παράλληλες. (δ) Πρισματική με επιφάνειες υπό κλίση (Α άξονας ή αρσενικό, Β τρήμα ή θηλυκό)

Τα μέλη μιας συναρμογής μπορούν να έχουν διάφορες μορφές: κυλινδρική, κωνική, πρισματική ή άλλη. Η κυλινδρική μορφή είναι η πιο συνηθισμένη στην πράξη και αντιπροσωπεύεται από τον άξονα με το έδρανό του.

Η επιφάνεια, κατά την οποία εφάπτονται τα δύο μέλη μιας συναρμογής, ονομάζεται επιφάνεια συναρμογής. Όπου υφίσταται μία επιφάνεια συναρμογής -οπότε συνεργάζονται δύο κομμάτια- έχουμε απλή συναρμογή, ενώ όπου υπάρχουν περισσότερες από μία επιφάνειες συναρμογής μιλάμε για πολλαπλή συναρμογή.

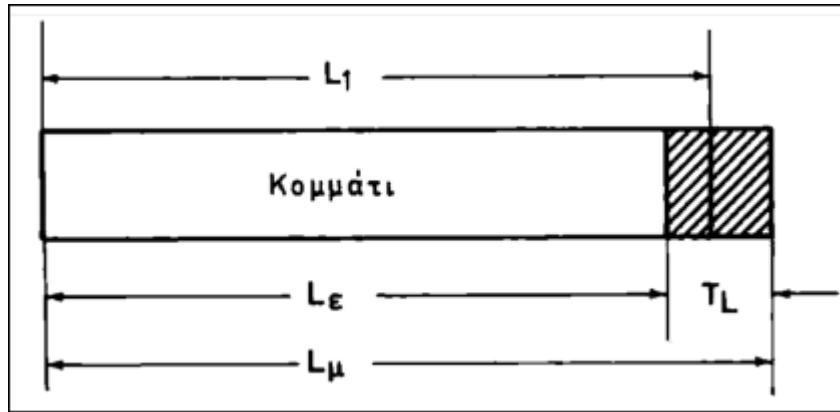
Η ανάγκη για τον καθορισμό ανοχών

Στη σύγχρονη βιομηχανία πολλά προϊόντα κατασκευάζονται με μαζική παραγωγή γεγονός που εξασφαλίζει το χαμηλό κόστος τους. Τα διάφορα κομμάτια, που απαρτίζουν ένα συγκεκριμένο προϊόν, κατασκευάζονται, αφού βέβαια καθοριστούν οι φάσεις κατεργασίας τους και εκτελεστούν και οι λοιπές εργασίες από διαφορετικούς τεχνίτες σε ξεχωριστές εργαλειομηχανές ή σε άλλα μέσα μορφοποίησης. Η συναρμολόγηση των κομματιών γίνεται σε ειδική φάση (ή φάσεις).

Για να καλυφθούν οι ανάγκες συναρμολόγησης των διαφόρων κομματιών θα πρέπει τα κομμάτια Α να μπορούν να συναρμολοστούν με τα αντίστοιχά τους κομμάτια Β με επιτυχία λειτουργίας των ποικίλων συναρμογών τους, χωρίς να απαιτείται οποιαδήποτε επιπρόσθετη κατεργασία των κομματιών. Αυτό ονομάζεται εναλλαξιμότητα.

Η εναλλαξιμότητα όπως γίνεται αντιληπτό θα ήταν εξασφαλισμένη και δεν θα υπήρχε ανάγκη οποιουδήποτε ελέγχου, αν όλα τα κομμάτια κατασκευάζονταν χωρίς σφάλματα. Αυτό όμως είναι αδύνατο να επιτευχθεί, καθώς δε γίνεται όλα τα κομμάτια να κατασκευαστούν απaráλλακτα ως προς τις διαστάσεις, τη μορφή, την τραχύτητα επιφάνειας κ.ά., που επιβάλλει το κατασκευαστικό σχέδιο.

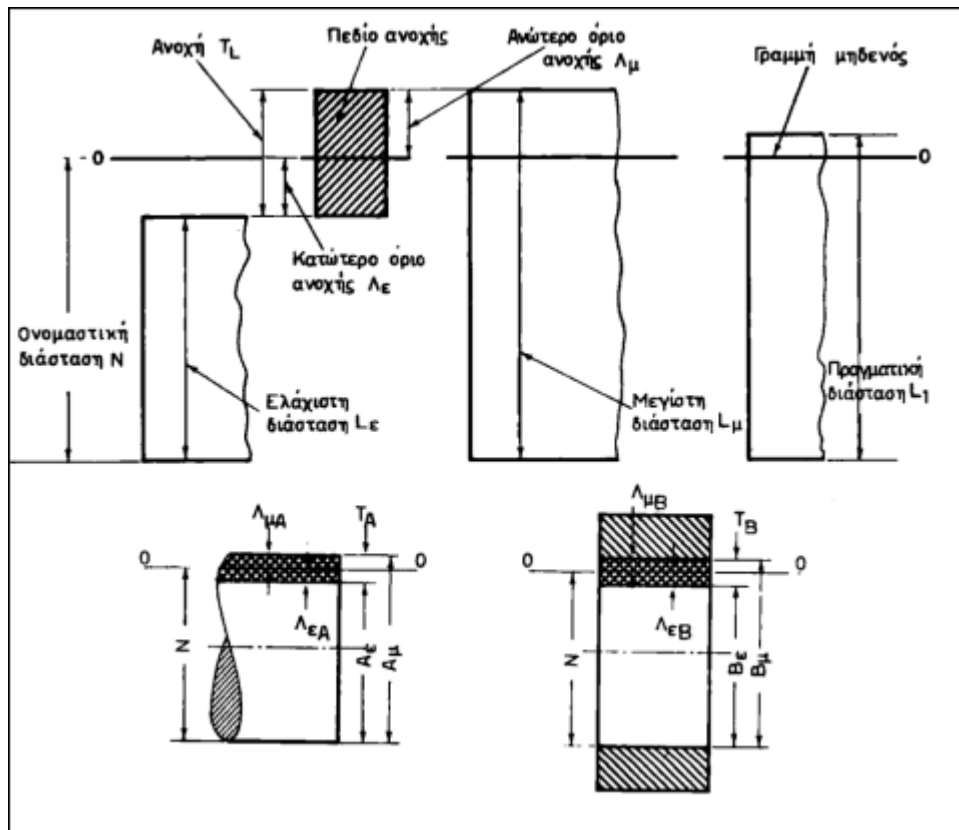
Τα κατασκευαζόμενα κομμάτια παρουσιάζουν πάντοτε κάποιο σφάλμα ως προς το ιδανικό κομμάτι του μηχανολογικού σχεδίου. Αν μια πραγματική διάσταση ενός κομματιού L , συγκριθεί με την αντίστοιχη ονομαστική διάσταση L του μηχανολογικού σχεδίου, θα παρουσιάζει κάποιο σφάλμα $L-L_1$.



Εικόνα 21: Στοιχεία για τον ορισμό της ανοχής μιας διάστασης L_1

Το σφάλμα αυτό θα πρέπει να κυμαίνεται ανάμεσα σε παραδεκτά όρια. Άρα και η πραγματική διάσταση του κομματιού θα κυμαίνεται μεταξύ δύο ακραίων τιμών, μιας μέγιστης L_μ και μιας ελάχιστης L_ϵ . Η διαφορά μεταξύ των οριακών αυτών διαστάσεων, ανάμεσα στις οποίες οφείλει να βρίσκεται η παραδεκτή διάσταση του κομματιού, ονομάζεται ανοχή T_L , δηλαδή:

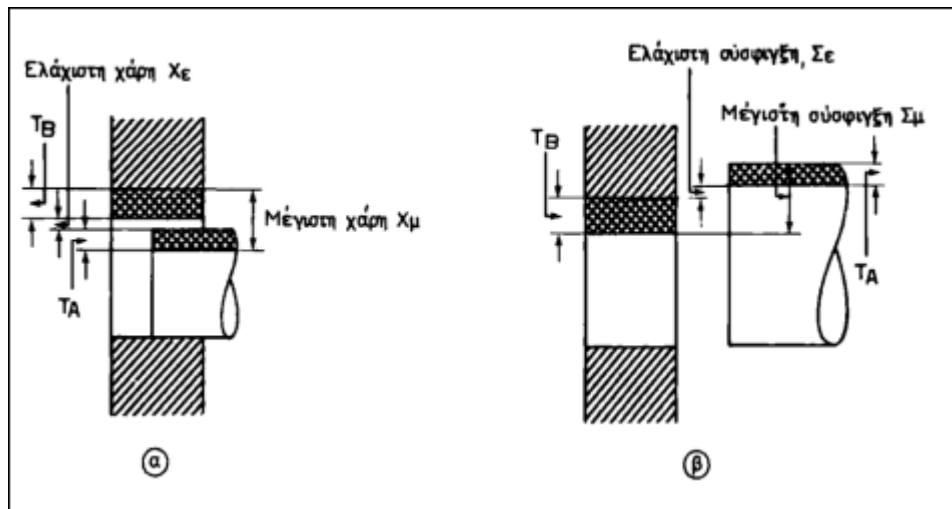
$$T_L = L_\mu - L_\epsilon \quad (1.1)$$



Εικόνα 22: Χαρακτηριστικά στοιχεία για τις συναρμογές και τις ανοχές.

Ορισμοί

- Ονομαστική διάσταση: Είναι η διάσταση της συναρμογής ή και οποιαδήποτε άλλη διάσταση ενός μεμονωμένου κομματιού, που αναγράφεται στο μηχανολογικό σχέδιο. Την παίρνουμε ως αφετηρία για τη μέτρηση των ανοχών και τη συμβολίζουμε με το γράμμα N.
- Πραγματική διάσταση: Είναι η διάσταση L_1 του κομματιού, την οποία επιτυγχάνουμε με την κατεργασία.
- Οριακές τιμές της διάστασης ή οριακές διαστάσεις: ονομάζουμε τη μέγιστη A_μ και την ελάχιστη A_ϵ του άξονα ή τη μέγιστη B_μ και την ελάχιστη B_ϵ του τρήματος. Οι πραγματικές διαστάσεις των κομματιών θα πρέπει να κυμαίνονται ανάμεσα στις δύο αυτές οριακές τιμές, για να καλύπτονται έτσι οι ανοχές κατασκευής και συνεπώς τα κομμάτια να είναι εναλλάξιμα και χωρίς σφάλματα.



Εικόνα 23: Η χάρη και η σύσφιγξη στις συναρμογές

- Ανοχή άξονα T_A ή ανοχή τρήματος T_B είναι το μέγιστο ανεκτό σφάλμα στη διάσταση του άξονα ή του τρήματος και σύμφωνα με τη σχέση (1.1) θα είναι:

$$T_A = A_\mu - A_\epsilon, T_B = T_B = B_\mu - B_\epsilon$$

(1.2)

- Ανοχή συναρμογής T ονομάζουμε το άθροισμα των ανοχών άξονα και τρήματος:

$$T = T_A + T_B \quad (1.2)$$

- Πεδίο ανοχής ονομάζουμε τη σχηματική παράσταση, η οποία απεικονίζει το μέγεθος και τη θέση της ανοχής ως προς την ονομαστική διάσταση N . Το πεδίο ανοχής περιορίζεται από το κατώτερο όριο ανοχής Λ_ϵ και από το ανώτερο όριο ανοχής Λ_μ . Με την εισαγωγή των ορίων ανοχής Λ_ϵ και Λ_μ , οι ανοχές του άξονα T_A και του τρήματος T_B [σχέση (1.2)] προσδιορίζονται και από τις παρακάτω σχέσεις:

$$T_A = \Lambda_{\mu A} - \Lambda_{\epsilon A}, T_B = \Lambda_{\mu B} - \Lambda_{\epsilon B}, \quad (1.3)$$

- Χάρη ονομάζουμε τη διαφορά των πραγματικών διαστάσεων του άξονα από το τρήμα, εφόσον το τρήμα έχει μεγαλύτερη διάσταση από τον άξονα. Έτσι η ελάχιστη χάρη θα είναι:

$$X_{\varepsilon} = B_{\varepsilon} - A_{\mu} \eta X_{\varepsilon} = \Lambda_{\varepsilon\beta} - \Lambda_{\mu\alpha} \quad (1.4)$$

Η μέγιστη χάρη είναι:

$$X_{\mu} = B_{\mu} - A_{\varepsilon} \eta X_{\mu} = \Lambda_{\mu\beta} - \Lambda_{\varepsilon\alpha} \quad (1.6)$$

- Σύσφιγξη: είναι η διαφορά των πραγματικών διαστάσεων του τμήματος από τον άξονα. Η σύσφιγξη είναι αρνητική χάρη, όπως και η χάρη είναι αρνητική σύσφιγξη.

Η ελάχιστη σύσφιγξη θα είναι:

$$\Sigma_{\varepsilon} = A_{\varepsilon} - B_{\mu} \eta \Sigma_{\varepsilon} = \Lambda_{\varepsilon\alpha} - \Lambda_{\mu\beta} \eta \Sigma_{\varepsilon} = -X_{\mu} \quad (1.5)$$

Η Μέγιστη σύσφιγξη θα είναι:

$$\Sigma_{\mu} = A_{\mu} - B_{\varepsilon} \eta \Sigma_{\mu} = \Lambda_{\mu\alpha} - \Lambda_{\varepsilon\beta} \eta \Sigma_{\mu} = -X_{\varepsilon} \quad (1.6)$$

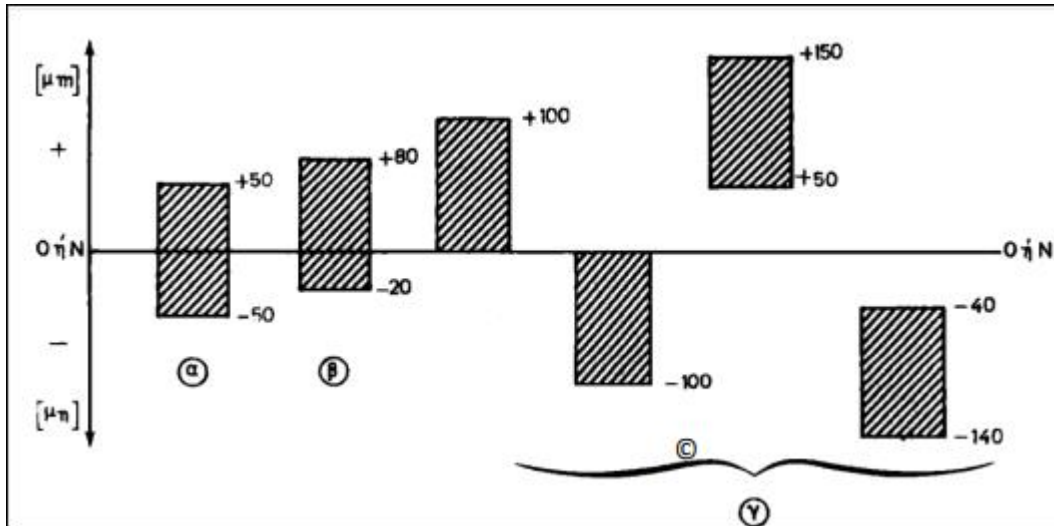
Η Μέση σύσφιγξη θα είναι:

$$\Sigma_M = \frac{\Sigma_M + \Sigma_E}{2} \quad (1.7)$$

Η ανοχή της συναρμογής προσδιορίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

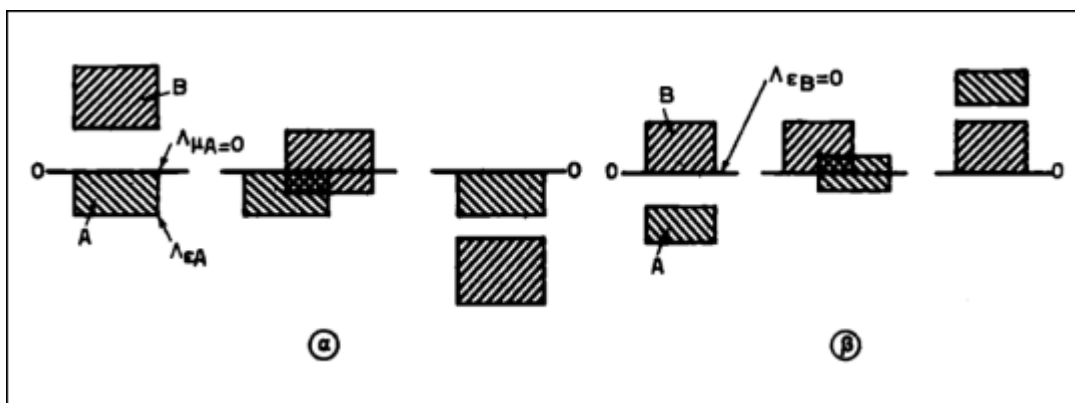
$$T = T_A + T_B = \Sigma_{\mu} - \Sigma_{\varepsilon}$$

Ανάλογα με τη θέση του πεδίου ανοχής ως προς την ονομαστική διάσταση διακρίνουμε το συμμετρικό σύστημα ανοχών, το ασύμμετρο και το μονόπλευρο.



Εικόνα 24: Διάφορες θέσεις, που μπορεί να πάρει το πεδίο ανοχής ως προς τη γραμμή μηδενός 0 - 0

Συναρμογή βασικού άξονα έχουμε όταν το μέγιστο του άξονα A_{μ} συμπίπτει με την ονομαστική διάσταση ($A_{\mu} = N$), ενώ το ελάχιστο του άξονα A_{ϵ} μεταβάλλεται με την ποιότητα του άξονα και με την ονομαστική του διάμετρο. Ο βαθμός ελευθερίας της συναρμογής (χαρακτήρας) προσδιορίζεται από την εκλογή της κατηγορίας του τμήματος. Στη συναρμογή βασικού τμήματος, το ελάχιστο του τμήματος παραμένει σταθερό και ίσο με την ονομαστική διάσταση ($B_{\epsilon} = N$) ή το κατώτερο όριο ανοχής του συμπίπτει με τη γραμμή μηδενός ($\Lambda_{\epsilon B} = 0$), ενώ ο χαρακτήρας της συναρμογής καθορίζεται από την επιλογή της κατηγορίας του άξονα.



Εικόνα 25: (α) Το σύστημα βασικού άξονα. (β) Το σύστημα βασικού τμήματος

5. Μετρήσεις και Μετρολογία

Ο όρος Μετρολογία προκύπτει από τις ελληνικές λέξεις «μέτρον» και «λόγος». Είναι η επιστήμη των μετρήσεων, των συστημάτων μέτρων και σταθμών. Η μέτρηση είναι μια από τις πιο γνωστές και σημαντικές δραστηριότητες σε όλα τα επίπεδα της κοινωνικής και οικονομικής ζωής, καθώς συναντάται στις εμπορικές συναλλαγές, στις βιομηχανίες, στο περιβάλλον, στον έλεγχο προϊόντων και διεργασιών, στα εργαστήρια, στις δοκιμές και στην έρευνα, στις ιατρικές και λοιπές εξετάσεις, κ.α. Πριν προχωρήσουμε, κρίνεται σκόπιμο να παρουσιαστούν συνοπτικά κάποιες βασικές έννοιες.

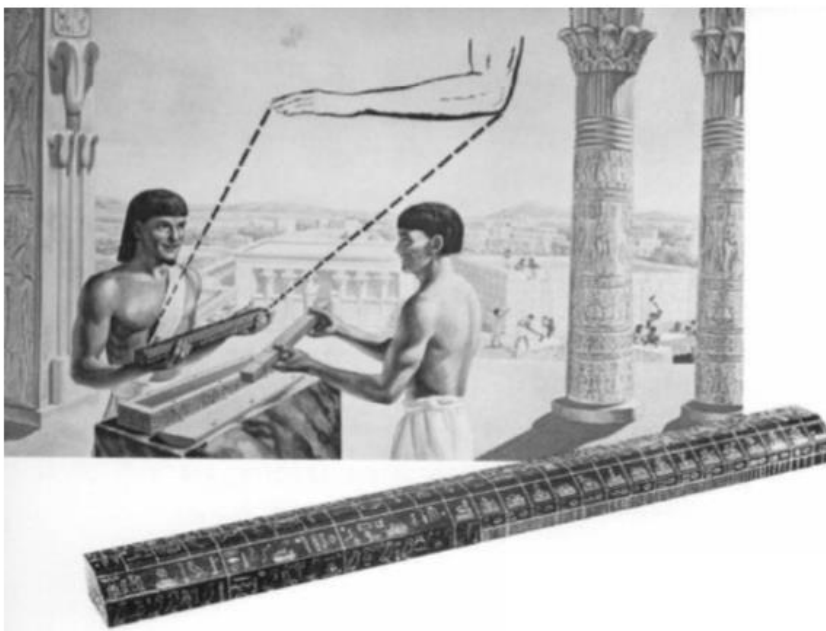
5.1 Βασικές έννοιες

1. **Μονάδα μέτρησης:** Η τιμή ενός μεγέθους εκφράζεται συνήθως ως το γινόμενο ενός αριθμού και μίας μονάδος. Η μονάδα μέτρησης είναι απλά μια συγκεκριμένη ποσότητα του μεγέθους η οποία χρησιμοποιείται ως τιμή αναφοράς και ο αριθμός είναι το πηλίκο της μετρούμενης ποσότητας με την μονάδα μέτρησης. Οι μονάδες μέτρησης χρησιμοποιούνται για να δοθεί μια αξία στις φυσικές ποσότητες.
2. **Σύστημα Μονάδων:** είναι ένα σύνολο κανόνων που υπαγορεύει το πώς καθορίζεται με έναν συνεπή τρόπο η μονάδα του μέτρου κάθε ποσότητας, η οποία χρησιμοποιείται στις φυσικές επιστήμες και την τεχνολογία.
3. **Ακρίβεια (αβεβαιότητα) μέτρησης (Accuracy):** Πρόκειται για την εκτίμηση του πόσο η μετρημένη ποσότητα πλησιάζει την αληθή, πραγματική της τιμή. Η ακρίβεια είναι ο βαθμός ταύτισης μεταξύ της εκτιμημένης (ή μετρημένης) τιμής και της αντίστοιχης πραγματικής.
4. **Αβεβαιότητα (Uncertainty):** Πρόκειται για την ποσοτική μέτρηση της ποιότητας του αποτελέσματος μέτρησης, η οποία επιτρέπει τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων με αντίστοιχα άλλα αποτελέσματα, αναφορές, προδιαγραφές και όρια ακριβείας (standards). Η αβεβαιότητα μπορεί να είναι, είτε μια παράμετρος που συνδέεται με το αποτέλεσμα μιας μέτρησης, είτε μια παράμετρος που συνδέεται με ένα επίπεδο εμπιστοσύνης κατά το οποίο η προκύπτουσα τιμή πράγματι θα κινείται μέσα σε ένα εύρος τιμών, το οποίο καθορίζεται από ένα διάστημα αβεβαιότητας.

5. **Σφάλμα (Error):** είναι η διαφορά μεταξύ της μετρούμενης τιμής και αυτής που προκύπτει από την αντίστοιχη πρόγνωση μιας στατιστικής κατανομής (ή κάποιου άλλου μαθηματικού αλγόριθμου). Αυτό μπορεί να οφείλεται σε λανθασμένη μέτρηση ή σε ακατάλληλη επεξεργασία δεδομένων. Τα σφάλματα διακρίνονται σε: τυχαία και συστηματικά.
6. **Πρότυπο (Standard):** Είναι ένα σύνολο κανόνων που καθορίζουν το πώς οι άνθρωποι εξελίσσουν, παράγουν και διαχειρίζονται υλικά, υπηρεσίες, τεχνολογίες, διεργασίες και συστήματα. Η διαδικασία καθιέρωσης προτύπου με στόχο να αποκομιστούν οφέλη χωρίς να πληγεί ο ανταγωνισμός λέγεται **Τυποποίηση (Standardization)**.

5.2 Σύντομη Ιστορική Αναδρομή

Μέσα στις πρώτες ανθρώπινες ανακαλύψεις είναι τα μέτρα και τα σταθμά, καθώς από τα πρώτα βήματα του ανθρώπου, παρουσιάστηκε έντονη η ανάγκη εύρεσης μονάδων μέτρησης. Η Μετρολογία είναι ίσως, η αρχαιότερη επιστήμη στον κόσμο. Στην Αρχαία Αίγυπτο ήδη από το 3000 π.Χ. είχε ξεκινήσει η χρήση προτύπων μέτρησης. Η πρώτη μονάδα μέτρησης μήκους εκείνη την εποχή ήταν το χέρι του εκάστοτε Φαραώ, από τον αγκώνα μέχρι την άκρη του μεσαίου δακτύλου και επιπλέον το πλάτος της παλάμης.



*Εικόνα 26:
Αιγυπτιακός
Βασιλικός πήχυς*

Η μονάδα αυτή αποτυπωνόταν σε γρανίτη και αποτελούσε το πρότυπο για τους κατασκευαστές και τους αρχιτέκτονες της εποχής. Οι μονάδες που πρωτοεμφανίστηκαν σχετίζονταν άμεσα με το ανθρώπινο σώμα και ονομάστηκαν ανθρωπομετρικές μονάδες.

Για μεγαλύτερες αποστάσεις, επινοήθηκαν άλλες μονάδες μέτρησης όπως η απόσταση βολής της πέτρας, η περίοδος ηλίου ή σελήνης, η ημερήσια διαδρομή ενός πεζού κ.λπ. Τα ορόσημα στην ιστορική εξέλιξη της Μετρολογίας υπήρξαν πολλά. Πολλά ήταν και τα συστήματα μέτρησης που δημιουργήθηκαν σε διάφορες περιοχές της Γης. Το γεγονός αυτό δημιούργησε -όπως ήταν αναμενόμενο- προβλήματα στις ανθρώπινες συναλλαγές.

Πολύ αργότερα και όταν τα προβλήματα αυξήθηκαν, το 1799 στο Παρίσι εμφανίστηκε το Δεκαδικό Μετρικό Σύστημα με τη δημιουργία δύο προτύπων από πλατίνα για το μέτρο και το κιλό, οπότε και καθιερώθηκε το Διεθνές Σύστημα Μονάδων (International System of Units – S.I. System).

Στην Ελλάδα, η πλήρης καθιέρωση του Μετρικού Συστήματος έγινε την 1^η Απριλίου του 1959, οπότε αντικαταστάθηκε η μέχρι πρότινος μονάδα βάρους η οκά από το χιλιόγραμμο κιλό. Η Μετρολογία όμως, στην Ελλάδα επίσημα ξεκίνησε μόλις μετά την ενοποίηση της Ευρωπαϊκής Αγοράς, το 1993.

Μέγεθος	Βασική Μονάδα	Σύμβολο
Μήκος	Μέτρο	m
Μάζα	Χιλιόγραμμο	kg
Χρόνος	Δευτερόλεπτο	s
Ηλεκτρικό ρεύμα	Αμπέρ	A
Θερμοδυναμική θερμοκρασία	Κέλβιν	K
Ποσότητα ουσίας	Μολ	mol
Ένταση φωτισμού	Καντέλα	cd

Εικόνα 27: Βασικές Μονάδες SI

5.3 Κατηγορίες Μετρολογίας

- Μετρολογία της επιστήμης (Scientific Metrology)

Έχει να κάνει με την οργάνωση, την εξέλιξη, την καθιέρωση αλλά και τη διατήρηση των προτύπων των μετρήσεων.

- Μετρολογία στην Βιομηχανία (Industrial Metrology)

Στοχεύει στην άρτια λειτουργία των μετρητικών οργάνων που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία, αλλά και σε διαδικασίες παραγωγής προϊόντων και ελέγχου αυτών. Σε αρκετά κράτη, η Επιστημονική και η Βιομηχανική Μετρολογία θεωρούνται μια ενιαία κατηγορία.

- Νομική Μετρολογία (Legal Metrology)

Ασχολείται με τις μετρήσεις οι οποίες επηρεάζουν τη διαφάνεια των οικονομικών συναλλαγών, την υγεία και την ασφάλεια. Είναι απόρροια της παγκόσμιας ανάγκης για δίκαιο εμπόριο, ειδικά σε τομείς όπου υπεισέρχεται το βάρος και γενικότερα οι μετρήσεις. Σε πρώτο επίπεδο, η Νομική Μετρολογία έχει να κάνει με όργανα μέτρησης τα οποία είναι νομικά ελεγμένα. Επικεφαλής είναι ο Παγκόσμιος Οργανισμός Νομικής Μετρολογίας (International Organization of Legal Metrology - OIML).

5.4 Διακρίβωση (Calibration)

Αποτελεί ουσιαστικά συνιστώσα της Μετρολογίας. Είναι η σύγκριση της «εξόδου» (output) ενός συστήματος ή οργάνου, με αυτήν ενός αντίστοιχου οργάνου ή συστήματος αναφοράς πολύ μεγαλύτερης ακριβείας. Ο στόχος της σύγκρισης αυτής είναι ο προσδιορισμός των ρυθμίσεων εκείνων που θα βελτιώσουν την υπό έλεγχο ακρίβεια. Η βελτίωση της ελεγχόμενης ακριβείας μέσω προσδιοριζόμενων ρυθμίσεων μέσα από τη σύγκριση αυτή, καλείται βαθμονόμηση. Με τη διακρίβωση μειώνονται οι επιδράσεις των συστηματικών σφαλμάτων και όχι των τυχαίων σφαλμάτων. Για να είναι ουσιαστική η διακρίβωση, το σύστημα αναφοράς θα πρέπει να είναι

τουλάχιστον πέντε φορές ακριβέστερο από το υπό έλεγχο σύστημα. Με τη σύγκριση μπορεί να προκύψει ένας πίνακας τιμών για τις όποιες νεότερες μετρήσεις που θα γίνουν με το πρώτο όργανο.

5.5 Ιχνηλασιμότητα (Traceability)

Είναι η αδιάσπαστη αλυσίδα συγκρίσεων η οποία εξασφαλίζει ότι κάθε αποτέλεσμα μέτρησης ή η τιμή ενός προτύπου συνδέεται με αναφορά σε ένα υψηλό επίπεδο ακρίβειας και καταλήγει στο τελικό, ύψιστο επίπεδο μέτρησης του πρωτεύοντος προτύπου. Η βασική αρχή αλυσίδας πίσω από τη διακρίβωση είναι να συγκριθεί κάποιο όργανο με κάποιο πρότυπο υψηλότερης ακρίβειας (συνήθως με το εθνικό ή το διεθνές πρότυπο).

Πίνακας 1: Δείγμα ιεραρχικής σχέσης αλυσίδας ιχνηλασιμότητας		
a/a	Επίπεδο αναφοράς	Όριο ακρίβειας έως
1	Εθνικό πρότυπο	0.002%
2	Εργαστήριο διακρίβωσης	0.010%
3	Βιομηχανικό πρότυπο	0.070%
4	Βιομηχανικό δείγμα	1.000%
5	Προϊόν παραγωγής	10.000%

Πίνακας 1: Δείγμα ιεραρχικής σχέσης αλυσίδας ιχνηλασιμότητας

Η αλυσίδα ιχνηλασιμότητας υπονοεί σχεδιασμένες και προγραμματισμένες σε περιοδική βάση διακριβώσεις με καταγραφή – αρχειοθέτηση όλων των συγκριτικών αποτελεσμάτων.

Με βάση τα προηγούμενα, η Μετρολογία έχει τρεις κύριες δραστηριότητες:

- Τον ορισμό των διεθνώς αποδεκτών μονάδων μέτρησης.
- Την απόδειξη και καθιέρωση των μονάδων μέτρησης μέσω επιστημονικών μεθόδων.

- Την ίδρυση και διάδοση αλυσίδων ιχνηλασιμότητας μέσω του προσδιορισμού και της τεκμηρίωσης της αξίας και της ακριβείας των μετρήσεων.

5.6 Πιστοποίηση (Certification)

Πρόκειται για τη Διαδικασία επιθεώρησης του Συστήματος Διοίκησης Ποιότητας ενός οργανισμού από έναν ανεξάρτητο φορέα (**Οργανισμό πιστοποίησης– Certification body**), ο οποίος είναι διαπιστευμένος και έχει την τεχνική ικανότητα και αναγνώριση να πιστοποιεί τέτοια συστήματα.

Το αντικείμενο της επιθεώρησης είναι το κατά πόσον το Σύστημα Διοίκησης Ποιότητας είναι συμβατό και συμμορφούμενο με τις απαιτήσεις του προτύπου ISO 9001:2000.

5.7 Διαπίστευση (Accreditation)

Πρόκειται για την επίσημη αναγνώριση από έναν αρμόδιο αναγνωρισμένο φορέα (**Οργανισμός διαπίστευσης - Accreditation body**) ότι ένας φορέας (εργαστήριο κ.λπ.) είναι ικανός να παρέχει συγκεκριμένες υπηρεσίες ή λειτουργίες.

5.8 Σφάλματα

Το σφάλμα αναφέρεται στη συνδυασμένη ακρίβεια ενός οργάνου μέτρησης και της πειραματικής διαδικασίας ή στη διαφορά μεταξύ της πραγματικής τιμής και της τιμής που υποδεικνύεται από το όργανο (σφάλμα).

Η ακριβής πραγματική τιμή του μετρούμενου μεγέθους είναι κατά κύριο λόγο δύσκολο να ορισθεί, καθώς διάφορες επιρροές επιδρούν και στην πραγματική τιμή και στην μετρούμενη τιμή. Με σκοπό, λοιπόν, τον προσδιορισμό της εγγύτητας της συμφωνίας των δύο αυτών τιμών (ορθότητα μετρητικού οργάνου), γίνεται μία προσέγγιση που περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των σφαλμάτων των μετρήσεων και την ποσοτικοποίησή τους μέσω των σχετικών αβεβαιοτήτων τους, δηλαδή μέσω του εκτιμώμενου εύρους της τιμής των σφαλμάτων.

$$e = \text{Μετρούμενη τιμή} - \text{Πραγματική τιμή}$$

Τα όργανα μέτρησης συνήθως βαθμονομούνται σε κάποια κανονική συχνότητα έναντι ενός προτύπου. Το πιο αυστηρό πρότυπο είναι αυτό που διατηρεί ένας οργανισμός τυποποίησης όπως το NIST στις Ηνωμένες Πολιτείες ή το ISO στις ευρωπαϊκές χώρες. Ωστόσο, στην ακρίβεια της φυσικής, η ακρίβεια και το σφάλμα υπολογίζονται βάσει του οργάνου και των δεδομένων μέτρησης.

Όμως κατά την πειραματική διαδικασία υπάρχουν παράγοντες που υπεισέρχονται που δεν τους γνωρίζουμε ή δεν μπορούμε να τους λάβουμε υπόψη. Έτσι, δεν είναι εύκολο να διορθωθούν όλα τα σφάλματα. Ακόμα κι αν επαναλάβουμε τις μετρήσεις ενός μεγέθους, τα σφάλματα δεν μπορούν να εξαλειφθούν. Μπορεί όμως να γίνει μία κατανομή των μετρούμενων τιμών που μπορεί να αναλυθεί συστηματικά με τη στατιστική. Τα σφάλματα παρόλο αυτά πρέπει να υπολογίζονται, ώστε να δίνονται ορθά συμπεράσματα.

5.8.1 Τυχαία και συστηματικά Σφάλματα

Τα σφάλματα μέτρησης μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες:

- τυχαία σφάλματα και
- συστηματικά σφάλματα.

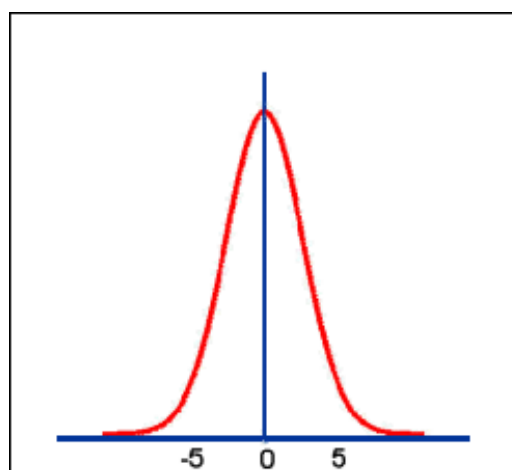
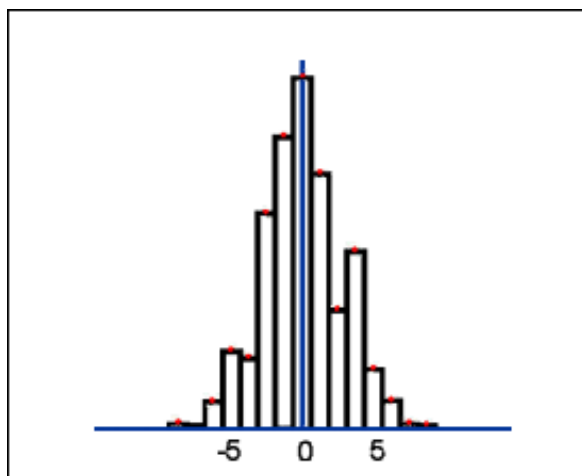
Τυχαίο σφάλμα υπάρχει πάντα σε μια μέτρηση. Προκαλείται από εγγενώς απρόβλεπτες διακυμάνσεις των μετρήσεων μιας συσκευής μέτρησης ή από την ερμηνεία της συσκευής ανάγνωσης ή από τον πειραματιστή. Τα τυχαία σφάλματα εμφανίζονται ως διαφορετικά αποτελέσματα για φαινομενικά την ίδια επαναλαμβανόμενη μέτρηση. Μπορούν να εκτιμηθούν συγκρίνοντας πολλαπλές μετρήσεις και μειωμένες με τον μέσο όρο των πολλαπλών μετρήσεων.

Σύμφωνα με τη στατιστική θεωρία εάν ένα φαινόμενο είναι πράγματι τυχαίο, τότε η οριακή κατανομή που θα προκύψει (μετά από άπειρες προσπάθειες) θα είναι μια κανονική κατανομή ή κατανομή Gauss. Η κατανομή Gauss είναι ίσως η πιο κοινή κατανομή στη θεωρία των πιθανοτήτων, δηλαδή εάν επαναλάβουμε ένα πείραμα το αποτέλεσμα που παίρνουμε για π.χ 100 προσπάθειες φαίνεται στην εικόνα 32, ενώ για

άπειρες στην εικόνα 33 και περιγράφεται μαθηματικά από την καμπύλη ή από τον τύπο:

$$P(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma^2}} \quad (1.8)$$

που εκφράζει την πιθανότητα να συμβεί το αποτέλεσμα x όπου x_0 είναι η πιο πιθανή τιμή και σ η τυπική απόκλιση.



Εικόνα 28: Κατανομές

Το συστηματικό σφάλμα είναι προβλέψιμο και συνήθως σταθερό ή ανάλογο με την πραγματική τιμή. Εάν μπορεί να εντοπιστεί η αιτία του συστηματικού σφάλματος, τότε συνήθως μπορεί να εξαιρεθεί. Τα συστηματικά σφάλματα προκαλούνται από την ατελή βαθμονόμηση των οργάνων μέτρησης ή από ατελείς μεθόδους παρατήρησης ή παρεμβολές του περιβάλλοντος στη διαδικασία μέτρησης και πάντα επηρεάζουν τα αποτελέσματα ενός πειράματος σε μια προβλέψιμη κατεύθυνση.

5.8.2 Μέση τιμή και σφάλμα

Σε πολλές περιπτώσεις, όταν παίρνουμε πολλές μετρήσεις στις ίδιες συνθήκες την ίδια ποσότητα και βρίσκουμε διαφορετικά αποτελέσματα, βρίσκουμε τη μέση τιμή και το απόλυτο σφάλμα της μέσης τιμής (ή τυπική απόκλιση της μέσης τιμής). Εάν

δηλαδή σε ένα πείραμα η μέτρηση του μεγέθους x επαναληφθεί N φορές, και οι μετρούμενες τιμές είναι $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$, τότε ως πραγματική θεωρούμε την ακόλουθη μέση τιμή:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_k + \dots + x_N}{N} = \frac{\sum_{k=1}^N x_k}{N} \quad (1.9)$$

5.8.3 Σημαντικά ψηφία και αριθμητικές πράξεις

Τα σημαντικά ψηφία μιας πειραματικά μετρούμενης τιμής είναι όλοι οι αριθμοί που μπορούν να αναγνωστούν κατευθείαν από την κλίμακα του οργάνου συν έναν αμφισβητήσιμο ή εκτιμώμενο αριθμό ή κλάσμα της μικρότερης υποδιαίρεσης. Για την καταγραφή των πειραματικών δεδομένων και των υπολογιστικών αποτελεσμάτων θα πρέπει να χρησιμοποιείται ο σωστός αριθμός των σημαντικών ψηφίων. Τις περισσότερες φορές είναι τα ψηφία που γνωρίζουμε με ακρίβεια, εκτός από τα μηδενικά τα οποία δείχνουν το δεκαδικό σημείο. Το πλήθος των σημαντικών ψηφίων ενός μετρούμενου μεγέθους ταυτίζεται με την ακρίβεια των οργάνων μέτρησης.

Το είδος των αριθμητικών πράξεων επηρεάζει το αποτέλεσμα και ειδικότερα το αποτέλεσμα καθορίζεται από τον όρο που έχει τη μικρότερη ακρίβεια. Πιο συγκεκριμένα, μετά την πρόσθεση ή αφαίρεση το πλήθος των δεκαδικών ψηφίων του αποτελέσματος καθορίζεται από τον αριθμό που έχει τον μικρότερο αριθμό δεκαδικών ψηφίων. Μετά τον πολλαπλασιασμό ή τη διαίρεση το πλήθος των σημαντικών ψηφίων του αποτελέσματος καθορίζεται από τον αριθμό με τον μικρότερο αριθμό σημαντικών ψηφίων.

5.8.4 Διάδοση σφαλμάτων

Εάν ένα μέγεθος z εξαρτάται από (μία ή) δύο μετρούμενες ποσότητες (x και y) ή και περισσότερες οι οποίες έχουν μέσες τιμές \bar{x}, \bar{y} και ανεξάρτητα μεταξύ τους σφάλματα ($\delta \bar{x}, \delta \bar{y}$ αντίστοιχα), τότε υπολογίζουμε το σφάλμα με τον κανόνα διάδοσης των σφαλμάτων, δηλαδή:

$$\delta \bar{z} = \sqrt{\left(\frac{\partial u}{\partial x} \delta \bar{x}\right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y} \delta \bar{y}\right)^2} \quad (1.10)$$

όπου $\frac{\partial}{\partial x}$ η μερική παράγωγος ως προς x.

Οι κανόνες υπολογισμού των σφαλμάτων μπορούν να αποδοθούν από τις σχέσεις του παρακάτω πίνακα.

	Σχέση μεταξύ Z και (x,y)	Σχέση μεταξύ των σφαλμάτων Δz και δx̄, δȳ
1	$z=x+y$ $z=x-y$	$\delta \bar{z}^2 = \delta \bar{x}^2 + \delta \bar{y}^2$
2	$z=xy$ $z=x/y$	$\left(\frac{\delta \bar{z}}{\bar{z}}\right)^2 = \left(\frac{\delta \bar{x}}{\bar{x}}\right)^2 \pm \left(\frac{\delta \bar{y}}{\bar{y}}\right)^2$
3	$z=x^n$	$\left(\frac{\delta \bar{z}}{\bar{z}}\right) = n \left(\frac{\delta \bar{x}}{\bar{x}}\right)$
4	$z=\ln x$	$\delta \bar{z} = \left(\frac{\delta \bar{x}}{\bar{x}}\right)^2$
5	$z=e^x$	$\left(\frac{\delta \bar{z}}{\bar{z}}\right) = \delta \bar{x}$
6	$z = \frac{x+y}{2}$	$\delta \bar{z} = \frac{1}{2} \sqrt{\delta \bar{x}^2 + \delta \bar{y}^2}$

Πίνακας 2: Σχέσεις μεταξύ σφαλμάτων

6. Συσκευές μετρήσεων

6.1 Είδη ελέγχων

Υπάρχουν δύο είδη ελέγχων:

1. Ο υποκειμενικός έλεγχος ενός προϊόντος γίνεται με τη χρήση των αισθήσεων (αφή, όραση) χωρίς να χρησιμοποιούνται όργανα.
2. Ο αντικειμενικός έλεγχος γίνεται με μετρητικά όργανα, ελεγκτήρες κλπ., αναλόγως με την ακρίβεια που επιθυμούμε. Με τους ελεγκτήρες συγκρίνουμε το προϊόν (τεμάχιο), για να διαπιστώσουμε αν βρίσκεται μέσα στις προδιαγραφές που ορίζει ο κατασκευαστής.

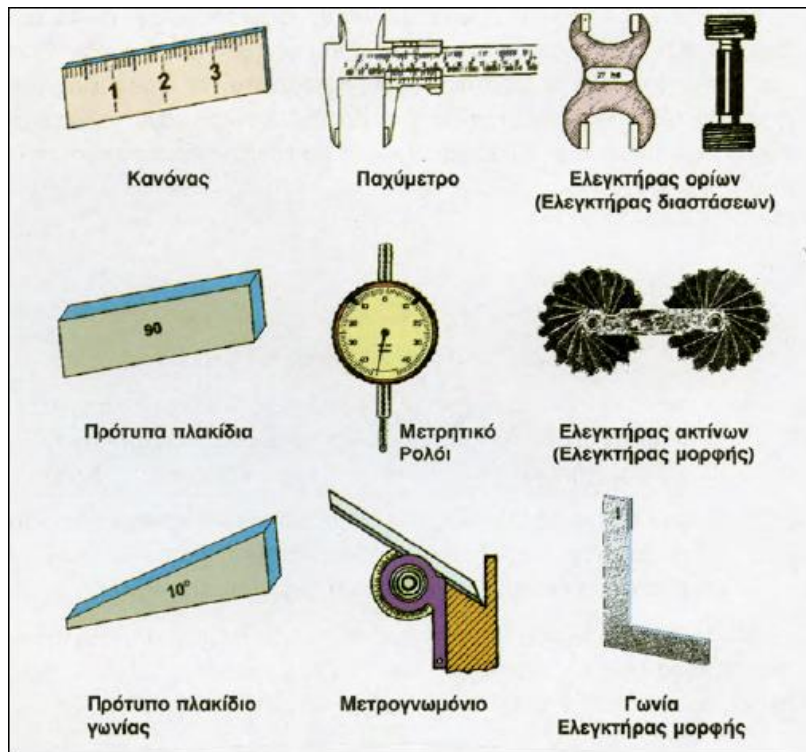
6.2 Μέσα ελέγχου

Τα μετρητικά όργανα κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες:

- Μετρητικά όργανα
- Ελεγκτήρες
- Βοηθητικά όργανα

Τα μετρητικά όργανα και οι ελεγκτήρες για να μετρήσουν για παράδειγμα το μέγεθος ενός τεμαχίου, πρέπει να δημιουργήσουν και τα ίδια, με την κατάλληλη κίνηση των μερών τους, το αντίστοιχο μέγεθος. Τα όργανα δείχνουν απευθείας τη μέτρηση με τους δείκτες, με τον βερνιέρο, με την κινητή κλίμακα.

Βοηθητικά μέσα είναι όλα τα μέσα που βοηθούν στην πραγματοποίηση μια μέτρησης όπως η συσκευή στήριξης οργάνων, τα πρίσματα κ.α.



Εικόνα 29: Μετρητικά όργανα

6.3 Όργανα μέτρησης μηκών

Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες οργάνων μέτρησης μήκους:

- Στην πρώτη κατηγορία περιλαμβάνονται οι μετρητικές ταινίες, οι μικροταινίες, οι μεταλλικοί κανόνες, τα παχύμετρα και τα μικρόμετρα.
- Στη δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνονται οι διαβήτες, τα μετρητικά ρολόγια και οι μικροταινίες, οι οποίες είναι στενές λωρίδες από ύφασμα ή πλαστικό ή μέταλλο με χαραγμένες επάνω τις υποδιαίρέσεις του μέτρου. Κατασκευάζονται συνήθως σε συγκεκριμένα μήκη.

6.3.1 Μεταλλικός κανόνας

Οι μεταλλικοί κανόνες είναι από τα πιο συνηθισμένα και από τα πιο απαραίτητα εργαλεία του μηχανουργού. Ο βαθμός ακριβείας τους είναι ο χαμηλότερος από τα υπόλοιπα όργανα μέτρησης. Η χρήση των μεταλλικών κανόνων είναι αρκετά εύκολη, γίνονται όμως εύκολα και σφάλματα κατά τη χρήση τους σε μία μέτρηση.

Οι μεταλλικοί κανόνες του μετρικού συστήματος βαθμονομούνται σε χιλιοστόμετρα ή σε μισά χιλιοστόμετρα. Ο μεταλλικός κανόνας μπορεί να χρησιμοποιηθεί αξιόπιστα για ακρίβεια μέχρι 1/64" (με αγγλοσαξονική βαθμονομία) ή 0,5 mm (με μετρική βαθμονομία). Οι κανόνες κατασκευάζονται από χάλυβα και υπάρχουν σε μήκη δέκα 10 cm έως 200 cm. Υπάρχουν κανόνες οι οποίοι για ευκολία μετρήσεως έχουν από τη μια πλευρά υποδιαιρέσεις σε χιλιοστόμετρα και από την άλλη υποδιαιρέσεις σε ίντσες.

Στη μέτρηση με κανόνα συνιστάται να μη χρησιμοποιείται σαν αρχή το «μηδέν» του κανόνα, αλλά μια άλλη διαίρεσή του, συνήθως το 1 cm. Οι κανόνες πρέπει να ελέγχονται για διαπίστωση του βαθμού φθοράς τους. Αν διαπιστωθεί φθορά μεγαλύτερη από την επιτρεπόμενη, πρέπει να αντικαθίστανται.

Εκτός από τούς κοινούς μεταλλικούς κανόνες υπάρχουν και οι ανοξείδωτοι, οι οποίοι αντέχουν περισσότερο σε σκληρή χρήση και χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα σε διαβρωτικό περιβάλλον (π.χ. στο περιβάλλον μιας χημικής βιομηχανίας).



Εικόνα 30:Μεταλλικός κανόνας

Στις περιπτώσεις που δεν είναι εφικτή η χρήση του κανόνα, για παράδειγμα μέτρηση μεγάλων μηκών ή για μέτρηση μεγάλων καμπύλων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης η μετροταινία.

6.3.2 Παχύμετρο

Για την αύξηση της διακριτικής ικανότητας του κανόνα χρησιμοποιείται η αρχή του βερνιέρου. Ο βερνιέρος είναι μία απλή και εύχρηστη διάταξη η οποία επιτρέπει την αύξηση της διακριτικής ικανότητας του οργάνου κατά τουλάχιστον μία τάξη μεγέθους, δηλαδή επιτρέπει μετρήσεις με ακρίβεια 0.02 mm ή 0.001 inch.

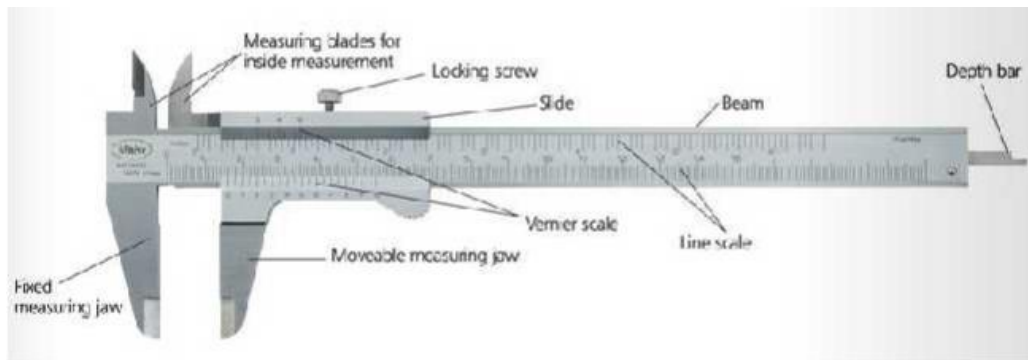
Η αρχή λειτουργίας του βερνιέρου είναι απλή και χρησιμοποιεί παράλληλα προς την κλίμακα μέτρησης του κανόνα μια δεύτερη, κινητή κλίμακα με κατάλληλο αριθμό υποδιαίρεσεων. Η δεύτερη αυτή κλίμακα είναι διαιρεμένη σε 10 ίσα τμήματα που αντιστοιχούν σε 9 υποδιαίρεσεις της βασικής κλίμακας. Με τον τρόπο αυτό, όταν τα δύο 0 συμπίπτουν, τότε συμπίπτει και το 9 της βασικής κλίμακας με το 10 της κλίμακας του βερνιέρου.

Αν ο βερνιέρος μετατοπιστεί κατά ένα διάστημα μεταξύ του 0 και του 1 της βασικής κλίμακας, ή γενικότερα μεταξύ δύο τυχόντων υποδιαίρεσεων, τότε θα υπάρξει στην κλίμακα του βερνιέρου μια υποδιαίρεση μεταξύ 0 και 10 που θα βρίσκεται πλησιέστερα από όλες τις άλλες ή θα συμπίπτει με κάποια υποδιαίρεση της βασικής κλίμακας. Η υποδιαίρεση αυτή του βερνιέρου αποτελεί και το αντίστοιχο δεκαδικό ψηφίο της ένδειξης. Για παράδειγμα, αν το 0 του βερνιέρου βρίσκεται μεταξύ του 2 και του 3 της βασικής και το 6 του βερνιέρου συμπίπτει με το 8 της βασικής, η ένδειξη του οργάνου θα είναι 2.6.



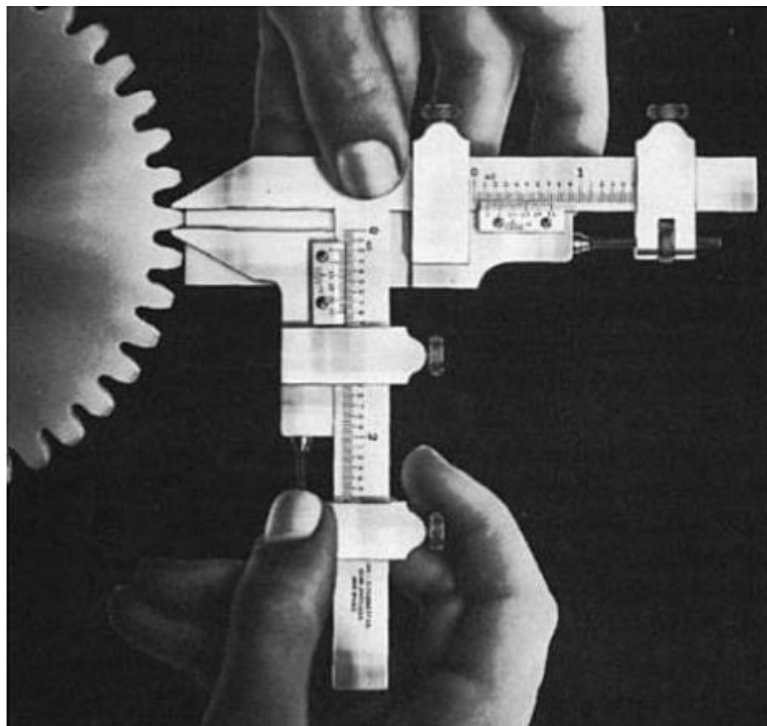
Εικόνα 31: Παχύμετρο

Η αρχή του βερνιέρου χρησιμοποιείται κυρίως σε μία βελτιωμένη μορφή κανόνα το λεγόμενο παχύμετρο. Το όργανο αυτό είναι πολύ εύχρηστο και είναι το πιο διαδεδομένο μετρητικό όργανο των μηχανουργείων για συνήθεις μετρήσεις μικρής και μέσης ακρίβειας.



Εικόνα 32: Παχύμετρο

Το παχύμετρο και το παχύμετρο μέτρησης δοντιών οδοντωτών τροχών χρησιμοποιούνται για να μετρηθούν και τα χαρακτηριστικά μεγέθη διαφόρων στοιχείων μετάδοσης κίνησης.



Εικόνα 33: Παχύμετρο μέτρησης οδοντωτών τροχών – μέτρηση ύψους και πάχους δοντιού

Παχύμετρο με μεγάλη ακρίβεια παρουσιάζουν εκείνα με μετρητικό ρολόι.



Εικόνα 34: Παχύμετρο με μετρητικό ρολόι

6.3.3 Μικρόμετρο

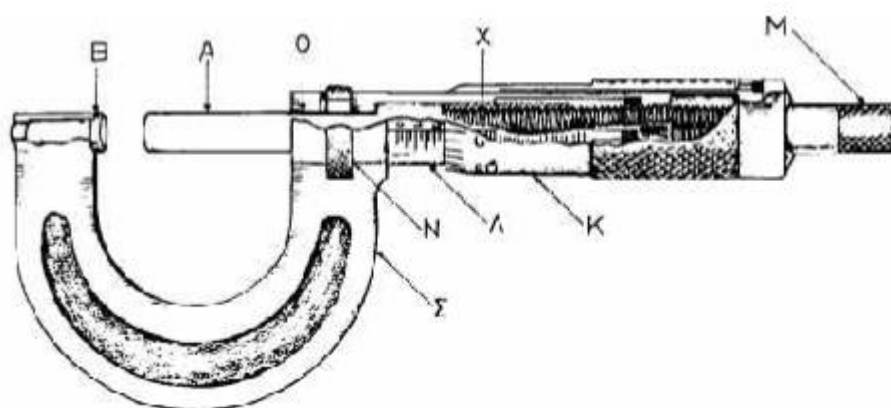
Για μετρήσεις με μεγαλύτερη ακρίβεια χρησιμοποιούνται τα μικρόμετρα. Τα όργανα αυτά μεταχειρίζονται μικρομετρικούς κοχλίες και βερνιέρους για να μετρήσουν διαστάσεις μέχρι 0.01mm ή 0.0001 inch.

Μικρόμετρα υπάρχουν διαφόρων τύπων ανάλογα με τα είδη των διαστάσεων που θα μετρήσουν. Στο εμπόριο κυκλοφορούν ποικίλα είδη για διάφορες χρήσεις. Τέτοια είναι μικρόμετρο για τη μέτρηση ελασμάτων, μικρόμετρο για τη μέτρηση εξωτερικών αυλακιών, μικρόμετρο με ράμφη για μέτρηση εσωτερικών και εξωτερικών διαστάσεων, μικρόμετρο σπειρωμέτρησης, μικρόμετρο με αριθμητήρα, μικρόμετρο με μετρητικό ρολόι, κλπ.



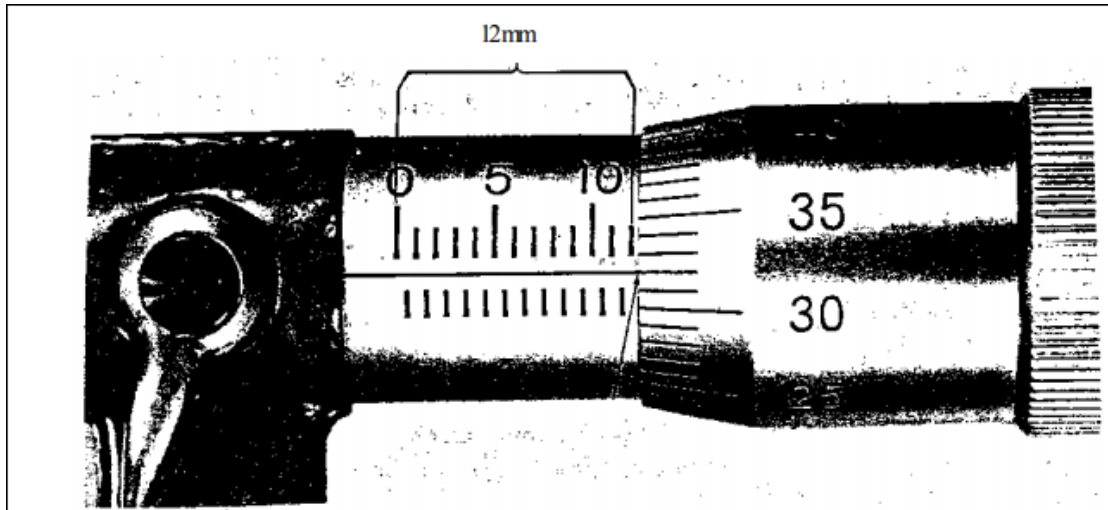
Εικόνα 35: Μικρόμετρο σπειρωμέτρησης

Στην εικόνα 37 παρουσιάζεται η βασική μορφή μικρομέτρου, το οποίο αποτελείται βασικά από ένα τεμάχιο σχήματος U στο οποίο υπάρχει μια επαφή σταθερή (η αριστερή) και μία κινητή (η δεξιά) η οποία κινείται με την βοήθεια μικρομετρικού κοχλία. Διαβαθμίσεις σε mm υπάρχουν στο οριζόντιο σταθερό στέλεχος, και σε 0.01mm στο περιστρεφόμενο τμήμα του που δρα ως βερνιέρος. Το εικονιζόμενο μικρόμετρο μετρά διαστάσεις από 0 έως 25mm με ακρίβεια 0.01mm. Η ακρίβεια αυτή προκύπτει γιατί μία περιστροφή του βερνιέρου που είναι χωρισμένος σε 50 υποδιαίρέσεις αντιστοιχεί σε 0.5mm μετακίνηση της κινητής επαφής.



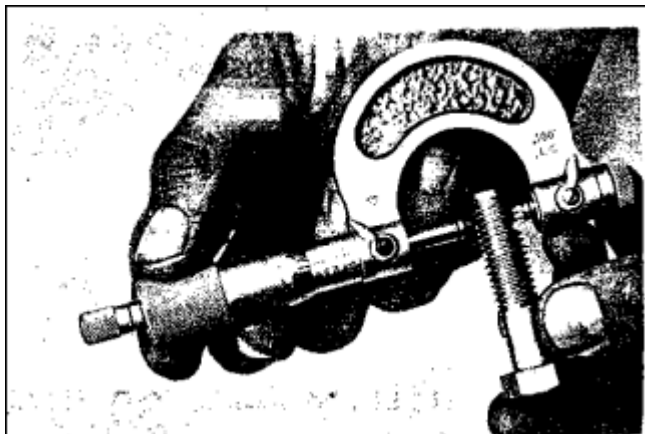
Εικόνα 36: Μικρόμετρο

Στην εικόνα 38 παρουσιάζεται μία ένδειξη μέτρησης με μικρόμετρο. Η ένδειξη αυτή είναι 12.32mm. Η μέτρηση με τη βοήθεια του μικρομέτρου γίνεται φέροντας το προς μέτρηση αντικείμενο μεταξύ των δύο επαφών του μικρομέτρου. Βασικό μειονέκτημα του μικρομέτρου είναι ο περιορισμός που υπάρχει στη μέγιστη διάσταση μέτρησης που καθορίζεται από τη μέγιστη δυνατή απόσταση μεταξύ των δύο επαφών.



Εικόνα 37: Μικρόμετρο

Ανάλογα με τη συγκεκριμένη μορφή του αντικειμένου στο σημείο που θα μετρήσουμε, είναι πιθανόν να χρειαστούμε και διαφορετικό σχήμα επαφών.

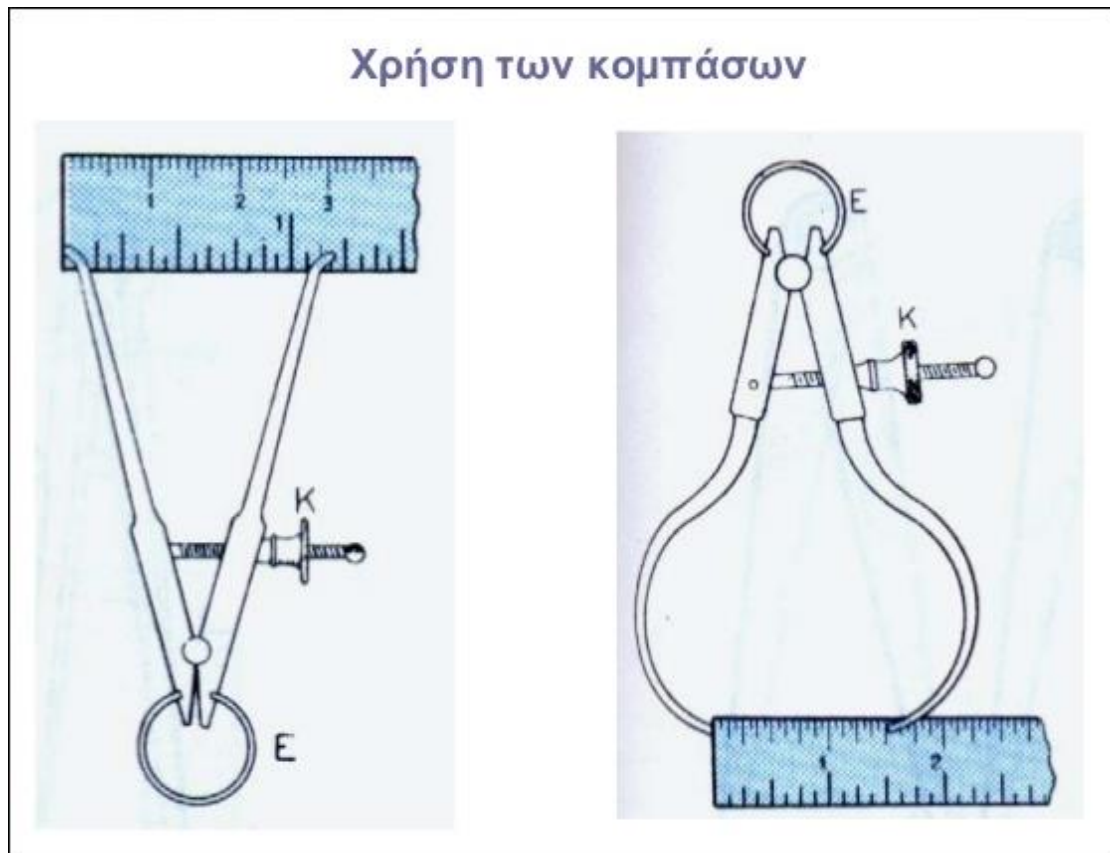


Εικόνα 38: Μικρόμετρο

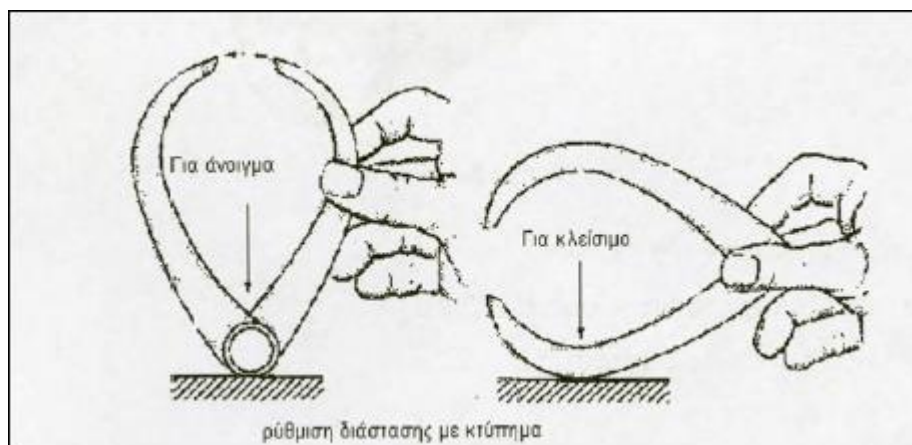
6.4 Όργανα Σύγκρισης

Ως όργανα σύγκρισης μπορούν να θεωρηθούν όλα τα όργανα με τα οποία είναι δυνατή η σύγκριση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών ή διαστάσεων ενός αντικειμένου με πρότυπα μεγάλης ακρίβειας. Τα όργανα αυτά όπως και τα όργανα μέτρησης κατασκευάζονται με διάφορες τάξεις ακρίβειας μετρήσεων ανάλογα με την ακρίβεια κατασκευής των προτύπων. Χαμηλής ακρίβειας όργανο για τη σύγκριση

μηκών είναι το απλό διαστημόμετρο (κομπάσο), με το οποίο είναι δυνατή η μεταφορά μιας μέτρησης από το αντικείμενο σε ένα κανόνα.



Εικόνα 39: Όργανο σύγκρισης



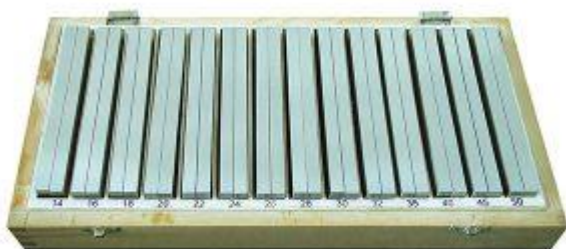
Εικόνα 40: Ρυθμιστής διάστασης με χτύπημα

Για μετρήσεις εσωτερικών διαμέτρων μεγαλύτερης ακρίβεια χρησιμοποιούνται και τηλεσκοπικά διαστημόμετρα με τα οποία είναι δυνατή η μεταφορά διαστάσεων από

το αντικείμενο σε μικρόμετρο. Επειδή η σύγκριση απαιτεί ουσιαστικά δύο μετρήσεις, τα αποτελέσματά της περιέχουν την επίδραση δύο σφαλμάτων.

6.5 Πρότυπα πλακίδια (gage block ή slip gage)

Τα μετρητικά πρότυπα πλακίδια ή πλακίδια Johansson είναι πλακίδια από ειδικό χρωμιονικελιούχο χάλυβα, τα οποία έχουν κατασκευαστεί ώστε να παρουσιάζουν ιδιαίτερα μεγάλη ακρίβεια πάχους. Είναι πρότυπα άκρων μήκους έως 200 mm. Είναι ορθογώνια παραλληλεπίπεδα, των οποίων δύο επιφάνειες είναι τελείως λείες, επίπεδες και παράλληλες. Τα πλακίδια αυτά προσφέρονται σε διάφορα πάχη και ακρίβειες διαστάσεων. Τα πλακίδια ανωτάτης ακρίβειας AA παρουσιάζουν σφάλμα $0.05+L/1000\mu$, όπου L το μήκος του πλακιδίου σε mm. Υπάρχουν επίσης πλακίδια σε διαστάσεις inch.



Εικόνα 41: Πρότυπα πλακίδια

6.6 Μετρητικό ρολόι

Βασικό όργανο σε πολλές συσκευές σύγκρισης μεγάλης ακρίβειας είναι και το μετρητικό ρολόι. Το όργανο αυτό με τη βοήθεια μηχανικών διατάξεων μοχλών και οδοντωτών τροχών μετατρέπει τη μεταφορική κίνηση ενός ωστηρίου σε περιστροφική ενός δείκτη. Το εύρος μετρήσεων του οργάνου αυτού κυμαίνεται

συνήθως από 2 έως 50 mm και από 0.003 έως 2.000 inch. Η διακριτική ικανότητα των οργάνων κυμαίνεται από 0.002 έως 0.01 mm ή 0.00005 έως 0.001 inch.

Συνήθως, τα μετρητικά ρολόγια τοποθετούνται με τη βάση τους πάνω σε τράπεζες ακριβείας με επίπεδη επιφάνεια και με τη βοήθεια προτύπων πλακιδίων δεδομένου πάχους, καθορίζεται με ακρίβεια το ύψος του ωστηρίου από την επιφάνεια της τράπεζας. Το ύψος αυτό αποτελεί το επίπεδο αναφοράς του οργάνου ως προς το οποίο θα μετρηθούν αποκλίσεις των διαστάσεων των υπό μέτρηση αντικειμένων.



Εικόνα 42: Μετρητικό Ρολόι

6.7 Μέθοδος συρματιδίων

Τα συρματίδια χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση μεμονωμένων διαστάσεων των σπειρωμάτων, χωρίς η μέτρηση να επηρεάζεται από τις υπόλοιπες βασικές διαστάσεις. Είναι όργανα υψηλής ακρίβειας με πολλές εφαρμογές, αλλά απαιτούν συνεργασία με συσκευές μέτρησης μήκους. Μπορούν για παράδειγμα να χρησιμοποιηθούν σε συνεργασία με μικρόμετρα υψηλής ακρίβειας, όμως συνιστανται ακόμα πιο ακριβή όργανα.



Εικόνα 43: Μέτρηση με τη μέθοδο συρματιδίων

6.8 Οπτικοί Μετρητές

Οι οπτικοί μετρητές στηρίζονται στη μεγέθυνση του σπειρώματος και γενικότερα του αντικειμένου και στη χρήση ειδικά βαθμονομημένων φακών (σταυρονήματα) προκειμένου να μετρηθούν οι διάφορες διαστάσεις. Τα δύο βασικά όργανα που χρησιμοποιούνται για αυτή τη δουλειά είναι το μηχανολογικό μικροσκόπιο και η μηχανή προβολής. Τα όργανα αυτά μπορεί να είναι φορητά ή σταθερά.

6.9 Καλίμπρα βήματος

Χρησιμοποιείται κατά την παραγωγή κοχλιών και τη συναρμολόγηση κομματιών με κοχλίες. Είναι όργανο χαμηλής ακρίβειας, εξειδικευμένο και πολύ απλό στη χρήση του. Ειδικότερα, μετρά το βήμα του κοχλία άμεσα με απλή προσαρμογή των ελασμάτων του στο εκάστοτε σπείρωμα.



Εικόνα 44: Μέτρηση με καλίμπρα βήματος

6.10 Πνευματικά μετρητικά όργανα

Η λειτουργία των πνευματικών οργάνων βασίζεται στο φαινόμενο που προκύπτει όταν πεπιεσμένος αέρας διαφεύγει από στόμιο ελεγχόμενου μεγέθους και η ελεύθερη ροή του εμποδίζεται από εγχυτήρα διασταυρούμενων ροών, έναντι σταθερής επιφάνειας. Για την μέτρηση εσωτερικών και εξωτερικών διαμέτρων χρησιμοποιούνται δύο εγχυτήρες που βρίσκονται σε αντεστραμμένες κατευθύνσεις με αποτέλεσμα να ενεργούν ως ένα κοινό κανάλι ροής αέρα. Με τον τρόπο αυτόν, το πνευματικό όργανο θα δείξει την πραγματική τιμή της διαμέτρου ανεξαρτήτων των μικρών μεταβολών θέσης του τεμαχίου λόγω της αντιστάθμισης των εγχυτήρων. Το μέσο μέγεθος υλικού μιας κυλινδρικής επιφάνειας μπορεί να υπολογιστεί με την χρήση πνευματικών οργάνων που ανιχνεύουν την αθροιστική επίδραση των εμποδίων μπροστά από κάθε εγχυτήρα λόγω των αυτό-αντισταθμιστικών ιδιοτήτων που διαθέτουν.

Τα πλεονεκτήματα των πνευματικών μετρητικών οργάνων καταδεικνύονται εμφανώς, από το γεγονός ότι η μέτρηση διαστάσεων με πεπιεσμένο αέρα είναι πλέον αποδεκτή από ολόκληρη τη βιομηχανία μεταλλικών κατασκευών. Προτιμούνται ιδιαίτερα για επαναληπτικές μετρήσεις ή μετρήσεις που διεξάγονται υπό συνθήκες μη ευνοϊκές για την αναγκαία ευαισθησία.

6.11 Ηλεκτρονικά μετρητικά όργανα

Τα ηλεκτρονικά όργανα από λειτουργικής άποψης ανήκουν στα όργανα μέτρησης μήκους. Μετατρέπουν τη μετατόπιση ή απόσταση σε αντίστοιχες μεταβολές ηλεκτρικού ρεύματος ή τάσης υποβοηθούμενα από ηλεκτρομηχανικούς μετατροπείς.

Υπάρχουν δύο τύποι ηλεκτρονικών οργάνων:

- αυτά που παρουσιάζουν το αποτέλεσμα της μέτρησης και σε ψηφιακή μορφή και υπό μορφή αναλογικής κλίμακας και
- εκείνα που παρουσιάζουν μόνο ψηφιακές ενδείξεις.

Καθένας από αυτούς τους κύριους τύπους διαθέτει ένα διαφορετικό επίπεδο ακριβείας και εκφράζεται και με διαφορετικά χαρακτηριστικά.

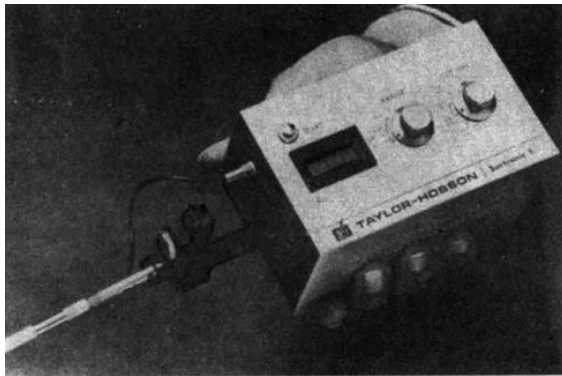
Ο τύπος των σύγχρονων ηλεκτρονικών οργάνων που βρίσκει ευρέως εφαρμογή είναι ο Γραμμικός Μεταβλητός Διαφορικός Μετασχηματιστής και είναι γνωστός στο εμπόριο με την ονομασία LVDT (Linear Variable Differential Transformer). Είναι ένας αισθητήρας με τον οποίο μπορούμε να ανιχνεύσουμε τη θέση ή και την μετατόπιση, ως προς ένα αρχικό σημείο, ενός αντικειμένου ή ενός άξονα. Ο Γραμμικός Μεταβλητός Διαφορικός Μετασχηματιστής είναι όργανο μεγάλης ακρίβειας, αλλά μικρού εύρους μέτρησης (μερικά εκατοστά). Χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που χρειαζόμαστε να μετρήσουμε με μεγάλη ακρίβεια μικρές μετατοπίσεις.

Η μέτρηση μήκους με ηλεκτρονικά όργανα προσφέρει πλεονεκτήματα, αν και πολλές φορές δεν είναι ορατά. Το αποτέλεσμα είναι αξιόπιστο, αλλά εξαρτάται από τις συνθήκες κάτω από τις οποίες γίνονται οι μετρήσεις. Η ομαλότητα του επιπέδου όπου θα στηριχτεί το μετρούμενο αντικείμενο πρέπει να ομαλό, οι επιφάνειες λείες και παράλληλες μεταξύ τους και η τράπεζα εργασίας πάνω στην οποία θα τοποθετηθεί να είναι σε αξονική συμμετρία με τον άξονα της κεφαλής μέτρησης.

6.12 Μέτρηση τραχύτητας

Το ηλεκτρονικό προφιλόμετρο ή τραχύμετρο (roughness profilometer) είναι το πιο συνηθισμένο εργαλείο μέτρησης της ποιότητας των επιφανειών. Το τραχύμετρο εντοπίζει τις ανομοιομορφίες (αποκλίσεις) της επιφάνειας με τη βοήθεια ακίδας. Ο

στυλίσκος έχει αδαμάντινη ακίδα πάνω στην επιφάνεια και ανάλογα με τις ανωμαλίες της επιφάνειας εμφανίζονται αλλαγές στην κίνηση της ακίδας.



Εικόνα 45: Διάφορα είδη τραχύμετρων

Μια παραδοσιακή τεχνική μέτρησης της τραχύτητας μιας επιφάνειας είναι η σύγκριση της επιφάνειας με πρότυπες επιφάνειες γνωστής τραχύτητας, όπως αυτές των μπλοκ αναφοράς (surface comparator plates). Η σύγκριση βασίζεται στις ανθρώπινες αισθήσεις και μπορεί να είναι οπτική ή μέσω αφής. Η συγκεκριμένη μέθοδος έχει υποκειμενικό χαρακτήρα και χαμηλή ακρίβεια μέτρησης, αν και μπορεί να χρησιμεύσει για μια προσεγγιστική εκτίμηση του μεγέθους της τραχύτητας.

7. Σύγχρονες μέθοδοι μετρήσεων

Στη σύγχρονη εποχή, με την ανάπτυξη της μαζικής παραγωγής και της ψηφιακής τεχνολογίας, έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται ψηφιακά ελεγχόμενες ή προγραμματιζόμενες μηχανές. Η χρήση ψηφιακά καθοδηγούμενων μηχανών βελτιώνει την ακρίβεια και την αξιοπιστία των μετρήσεων, ενώ παράλληλα επιτρέπει τη μερική αυτοματοποίηση των σχετικών εργασιών και συνεπώς την οικονομικότερη και ταχύτερη εκτέλεσή τους.

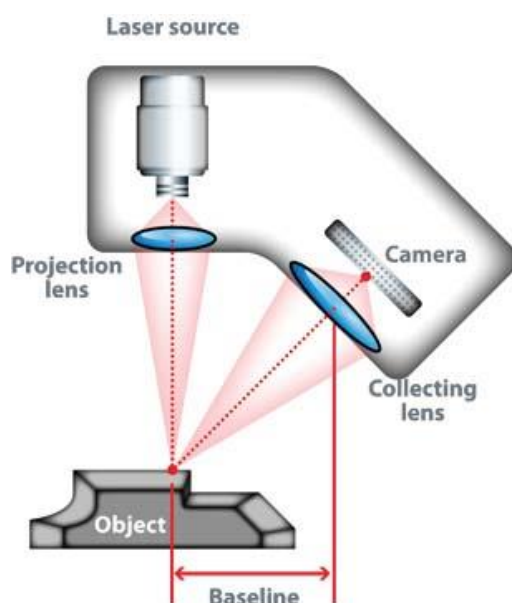
7.1 Τρισδιάστατοι σαρωτές

Ένας τρισδιάστατος σαρωτής είναι μια συσκευή που αναλύει ένα πραγματικό αντικείμενο με σκοπό να συλλέξει πληροφορίες σχετικά με το σχήμα και πιθανόν την εμφάνιση του (όπως το χρώμα). Οι πληροφορίες που συλλέγονται μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να κατασκευαστούν ψηφιακά τρισδιάστατα μοντέλα. Υπάρχουν πολλές προσεγγίσεις για την 3D σάρωση, ορισμένες είναι ιδανικές για μικρής εμβέλειας σάρωση, ενώ άλλες για μεσαίες ή μεγάλης εμβέλειας σαρώσεις.

Σαρωτές μικρής εμβέλειας

- 3d σαρωτές τριγωνισμού laser

Οι σαρωτές τριγωνισμού λέιζερ χρησιμοποιούν είτε μια γραμμή λέιζερ, είτε ένα μοναδικό σημείο λέιζερ για τη σάρωση ενός αντικείμενου. Ένας αισθητήρας λαμβάνει το φως λέιζερ που αντανακλάται από το αντικείμενο και χρησιμοποιώντας



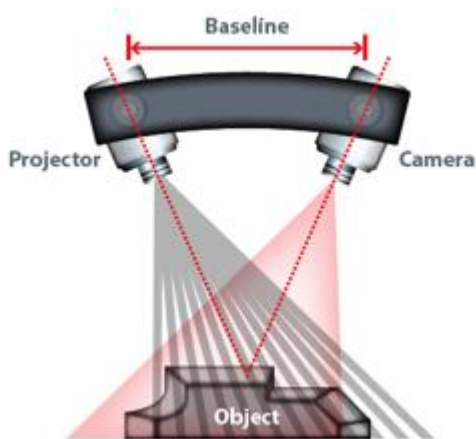
τριγωνισμό, το σύστημα υπολογίζει την απόσταση από το αντικείμενο στο σαρωτή.

Εικόνα 46: 3d σαρωτής τριγωνισμού laser

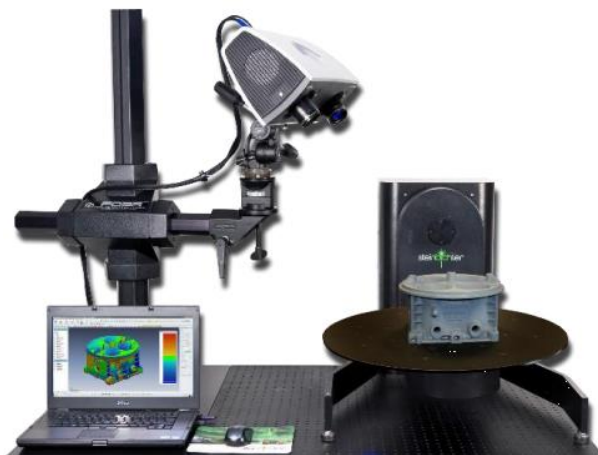
Η απόσταση μεταξύ της πηγής λέιζερ και του αισθητήρα είναι γνωστή με μεγάλη ακρίβεια, καθώς και η γωνία μεταξύ του λέιζερ και του αισθητήρα. Καθώς το φως λέιζερ ανακλάται από το σαρωμένο αντικείμενο, το σύστημα μπορεί να διακρίνει με ποια γωνία επιστρέφει προς τον αισθητήρα και επομένως την απόσταση από την πηγή λέιζερ μέχρι την επιφάνεια του αντικειμένου.

- **3d σαρωτές δομημένου φωτός (μπλε ή λευκό)**

Οι σαρωτές δομημένου φωτός χρησιμοποιούν και αυτοί τριγωνισμό, αλλά αυτά τα συστήματα προβάλλουν μια σειρά από γραμμικά μοτίβα πάνω σε ένα αντικείμενο. Στη συνέχεια, με την εξέταση των άκρων της κάθε γραμμής στο πρότυπο υπολογίζεται η απόσταση από το σαρωτή στην επιφάνεια του αντικειμένου. Ουσιαστικά, αντί η κάμερα να δει μια γραμμή λέιζερ, βλέπει την άκρη του προβλεπόμενου μοτίβου και υπολογίζει την απόσταση.



Εικόνα 47: 3d σαρωτής δομημένου φωτός

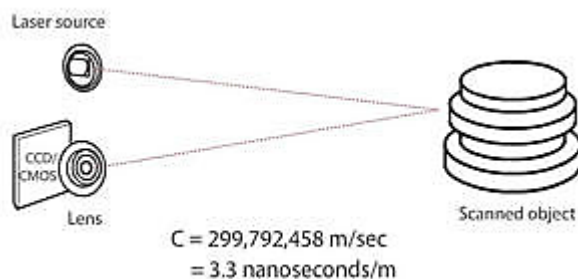


Εικόνα 48: 3d σαρωτής δομημένου μπλε LED φωτός

Μεσαίας και μεγάλης εμβέλειας

- **Pulse-based 3d σαρωτές laser**

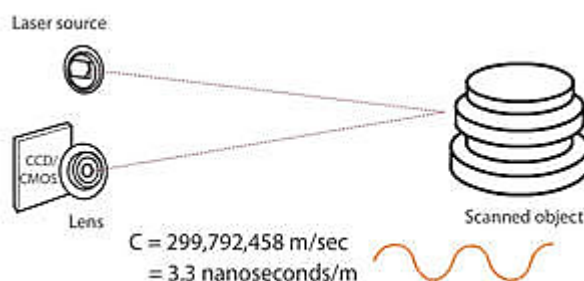
Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν κυκλώματα με ακρίβεια πικοδευτερολέπτων για τη μέτρηση του χρόνου που χρειάζονται τα εκατομμύρια των παλμών του λέιζερ για να επιστρέψουν στον αισθητήρα και υπολογίζουν την απόσταση. Με την περιστροφή του λέιζερ και του αισθητήρα (συνήθως μέσω ενός καθρέφτη), ο σαρωτής μπορεί να σαρώσει μέχρι μια πλήρη περιστροφή 360 μοιρών γύρω από τον εαυτό του.



Εικόνα 49: Pulse-based 3d σαρωτές laser

- **Phase-shift 3d σαρωτές laser**

Λειτουργούν παρόμοια με τα pulse-based συστήματα. Εκτός από τον παλμό του λέιζερ, τα συστήματα αυτά διαμορφώνουν επίσης την ισχύ της δέσμης λέιζερ και ο σαρωτής συγκρίνει τη φάση του λέιζερ που αποστέλλεται και στη συνέχεια επιστρέφει στον αισθητήρα. Αυτού του είδους η μέτρηση είναι πιο ακριβής.



Εικόνα 50: Phase-shift 3d σαρωτές laser

Focus Faro 3D

Οι 3D σαρωτές μεγάλου όγκου -όπως το Focus Faro 3D- χρησιμοποιούν υπέρυθρη τεχνολογία λέιζερ για να παράγουν εξαιρετικά λεπτομερείς τρισδιάστατες εικόνες των πολύπλοκων περιβαλλόντων και γεωμετριών σε λίγα μόνο λεπτά. Οι εικόνες που προκύπτουν είναι μια συναρμολόγηση των εκατομμυρίων 3D σημείων μέτρησης η οποία είναι γνωστή ως point cloud.

Ο σαρωτής λέιζερ λειτουργεί εκπέμποντας μια δέσμη υπέρυθρου φωτός λέιζερ και διαβάζοντας την ενέργεια που αντανακλάται πίσω στο σαρωτή τοποθετεί ένα σημείο σε έναν τρισδιάστατο χώρο. Το λέιζερ στέλνεται από το σαρωτή επάνω σε ένα περιστρεφόμενο καθρέφτη που προβάλλει ένα επίπεδο του λέιζερ φωτός έξω από το σαρωτή. Ολόκληρη η κεφαλή του σαρωτή τότε περιστρέφεται και το λέιζερ σαρώνει όλη την επιθυμητή περιοχή. Τα αντικείμενα που βρίσκονται στην πορεία του λέιζερ αντανακλούν ενέργεια πίσω στο χώρο. Η πυκνότητα των συλλεγόμενων σημείων ελέγχεται από την ταχύτητα περιστροφής του σαρωτή. Όσο πιο αργά περιστρέφεται ο σαρωτής, τόσο πυκνότερο είναι το μοτίβο των σημείων που συλλέγονται, ενώ όσο πιο γρήγορα περιστρέφεται ο σαρωτής, τόσο λιγότερο πυκνό είναι το μοτίβο των σημείων που συλλέγονται. Με τον τρόπο αυτό, εκατομμύρια διακριτών μετρήσεων μπορούν να συλλέγονται μέσα σε λίγα λεπτά.



Εικόνα 51: Faro Focus 3D – Μεγάλης εμβέλειας 3D σαρωτής

Στις περισσότερες περιπτώσεις, μια μόνο σάρωση δεν μπορεί να παράγει ένα πλήρες μοντέλο του αντικειμένου. Συνήθως απαιτούνται πολλαπλές σαρώσεις από πολλές διαφορετικές κατευθύνσεις για να ληφθούν όλες οι απαραίτητες πληροφορίες. Αυτές οι σαρώσεις θα πρέπει να συγκεντρωθούν σε ένα κοινό σύστημα αναφοράς και στη συνέχεια να συγχωνευθούν για να δημιουργήσουν ένα πλήρες μοντέλο. Η χρήση των στόχων αναφοράς ή τα αντικείμενα στο περιβάλλον σάρωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να συνδέσουν πολλαπλές σαρώσεις, το καθένα για το δικό του σύστημα συντεταγμένων σε ένα ενιαίο, ευθυγραμμισμένο σύστημα συντεταγμένων. Αυτό δίνει τη δυνατότητα να αναπαρασταθούν γρήγορα και με ακρίβεια εξαιρετικά σύνθετα περιβάλλοντα. Η όλη διαδικασία είναι συνήθως γνωστή ως 3D scanning pipeline.

7.2 Μηχανές Μέτρησης Συντεταγμένων

Η μέτρηση με τη χρήση συντεταγμένων (coordinate metrology) χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της μορφής και των διαστάσεων ενός αντικειμένου και τη σύγκριση αυτών με το ψηφιακό ή τεχνικό σχέδιο βάσει του οποίου κατασκευάστηκε. Μια μηχανή μέτρησης συντεταγμένων ή μηχανή CMM είναι ένα ηλεκτρομηχανικό σύστημα το οποίο διαθέτει έναν αισθητήρα (probe), η θέση του οποίου μπορεί να καθοριστεί με μεγάλη ακρίβεια και ορθότητα. Με την τοποθέτηση του αισθητήρα αυτού σε διαφορά σημεία επαφής με το αντικείμενο, το οποίο είναι σταθερά τοποθετημένο σε μια θέση εντός του χώρου της μηχανής, μπορούν να καθοριστούν οι συντεταγμένες αυτών των σημείων. Ανάλογα με τη μηχανή, η αλλαγή θέσης στον αισθητήρα πραγματοποιείται χειρωνακτικά, μηχανικά ή ψηφιακά. Η πιο συνηθισμένη εφαρμογή των CMM είναι για τον έλεγχο και τη μέτρηση των προϊόντων μιας μεθόδου κατεργασίας, συνήθως μεταλλικών.



Εικόνα 52: Μηχανή CMM - Βραχίονα

Η δομή μιας μηχανής CMM μπορεί να ακολουθεί διάφορες διατάξεις, όπως αυτές της κινούμενης γέφυρας (moving bridge), του οριζόντιου βραχίονα (horizontal arm), του γερανού (gantry), της στήλης (column), της σταθερής γέφυρας (fixed bridge) και του προβόλου (cantilever).



Εικόνα 53: Μηχανή CMM -Χειροκίνητη

Σήμερα το πεδίο εφαρμογής των μηχανών CMM είναι πρακτικά απεριόριστο: από μηχανοποιημένα, συγκολλητά και χυτά εξαρτήματα μέχρι ελεύθερης μορφής διαμορφωμένα ελάσματα για την αυτοκινητοβιομηχανία και αντίστοιχες επιφάνειες σε μήτρες και κοιλότητες καλουπιών, έως στοιχεία μηχανών όπως οδοντωτοί τροχοί και πτερύγια στροβιλομηχανών. Σε γενικές γραμμές, τα εξαρτήματα που δεν ελέγχονται πλέον με τη χρήση μηχανών CMM είναι ελάχιστα. Το βασικό πλεονέκτημα μιας CMM είναι η σχετικά καλή ακρίβεια και επαναληψιμότητα των μετρήσεων.

7.3 Άλλος εξοπλισμός μέτρησης με επαφή

Τα τελευταία χρόνια, επεκτείνεται η χρήση κέντρων/εργαλειομηχανών CNC για τη διενέργεια μετρήσεων, εφαρμογή η οποία είναι γνωστή και με τον όρο «έλεγχος πάνω στη μηχανή» (on-machine inspection). Ένας άλλος τύπος εξοπλισμού μέτρησης με επαφή, ο οποίος χρησιμοποιείται όλο και συχνότερα τα τελευταία χρόνια, είναι αυτός των φορητών (portable) ή «προσωπικών» μηχανών μέτρησης. Οι μηχανές αυτές έχουν συνήθως τη μορφή ενός τεχνητού βραχίονα με 6 αρθρώσεις, ακολουθούν

δηλαδή διάταξη αντίστοιχη με αυτή ενός ανθρώπινου βραχίονα. Στο άκρο του βραχίονα είναι προσαρμοσμένη μια ακίδα επαφής. Η ακρίβεια ενός βραχίονα μέτρησης θεωρείται γενικά επαρκής.

7.4 Μετρητής κραδασμών laser (Laser Doppler Vibrometer)

Ο laser μετρητής κραδασμών (Laser Doppler Vibrometer) είναι ένας ακριβής και ευέλικτος μετατροπέας κραδασμών για εφαρμογές, όπου είναι αδύνατη ή ανεπιθύμητη η τοποθέτηση ενός μετατροπέα κραδασμών σε ένα δονούμενο αντικείμενο. Βρίσκει εφαρμογή σε βιομηχανικά περιβάλλοντα και χρησιμοποιείται για παράδειγμα για δοκιμή κραδασμών στο αμάξωμα και τα πάνελ του αυτοκινήτου, σε εξαρτήματα αυτοκινήτων, κινητήρες, εξάτμιση ή στα συστήματα πέδησης. Χρησιμοποιείται επίσης, για προληπτική συντήρηση και παρακολούθηση της κατάστασης σε περιστροφικά μηχανήματα.



Εικόνα 54: Laser Doppler Vibrometer

Τα LDV αποτελούν μια απομακρυσμένη τεχνική μέτρησης, υπό την έννοια του ότι αν τοποθετηθούν μακριά από το υπό μελέτη αντικείμενο, ακόμη και σε μια απόσταση μεγαλύτερη των 30m, μπορούν να πραγματοποιήσουν μετρήσεις με ικανοποιητική ακρίβεια (1-2.5% RMS της ανάγνωσης). Διευρύνουν σημαντικά τις δυνατότητες μετρήσεων σε σύγκριση με τους παραδοσιακούς αισθητήρες κραδασμών. Επιτρέπουν απομακρυσμένες, μη παρεμβατικές, υψηλής χωρικής ανάλυσης μετρήσεις, με μειωμένο χρόνο δοκιμών και υψηλές επιδόσεις (εύρος υψηλών συχνοτήτων πάνω από

20 MHz, εύρος ταχύτητας ± 30 m/s, ανάλυση περίπου 8nm για τη μετατόπιση και 0.5 $\mu\text{m/s}$ για την ταχύτητα).

Σε γενικές γραμμές, η μέτρηση των κραδασμών μπορεί να γίνει για ένα από τα τρία μεγέθη που χαρακτηρίζουν έναν κραδασμό, δηλαδή τη μετατόπιση, την ταχύτητα ή την επιτάχυνση. Η μετατόπιση μετρείται με αισθητήρες δινορευμάτων (eddy current) που αλλιώς ονομάζονται και αισθητήρες προσέγγισης (proximity probe). Η ταχύτητα των κραδασμών μετρείται είτε με αισθητήρες ταχύτητας (velocity pick-up), είτε με μετρητές κραδασμών LDV. Οι αισθητήρες που έχουν ευρύτερη εφαρμογή είναι οι αισθητήρες επιτάχυνσης (accelerometer).

Η μη παρεμβατική μέθοδος των LDV αποτελεί πλέον μια ελκυστική εναλλακτική επιλογή, παρουσιάζοντας πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών μεθόδων.

7.5 Επιταχυνσιόμετρα

Οι μετατροπείς οι οποίοι μετρούν την επιτάχυνση ονομάζονται επιταχυνσιόμετρα. Τα επιταχυνσιόμετρα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Ανοιχτού βρόγχου και
- Κλειστού βρόγχου ή σερβοεπιταχυνσιόμετρα.

Επιταχυνσιόμετρα ανοιχτού βρόγχου

Χωρίζονται σε διάφορους τύπους ανάλογα με τον μετατροπέα σχετικής θέσης που χρησιμοποιούν και τον τρόπο που υλοποιούν το ελατήριο και τον αποσβεστήρα. Τα βασικότερα είδη είναι τα παρακάτω:

- Επιταχυνσιόμετρα με ποτενσιόμετρο.
- Επιταχυνσιόμετρα με μετατροπέα πιεζοαντίστασης (ελεύθερη ή προσκολλημένη).
- Επιταχυνσιόμετρα με γραμμικό μεταβλητό διαφορικό μετασχηματιστή (LVDT).
- Ημιαγωγικά επιταχυνσιόμετρα.
- Πιεζοηλεκτρικά επιταχυνσιόμετρα

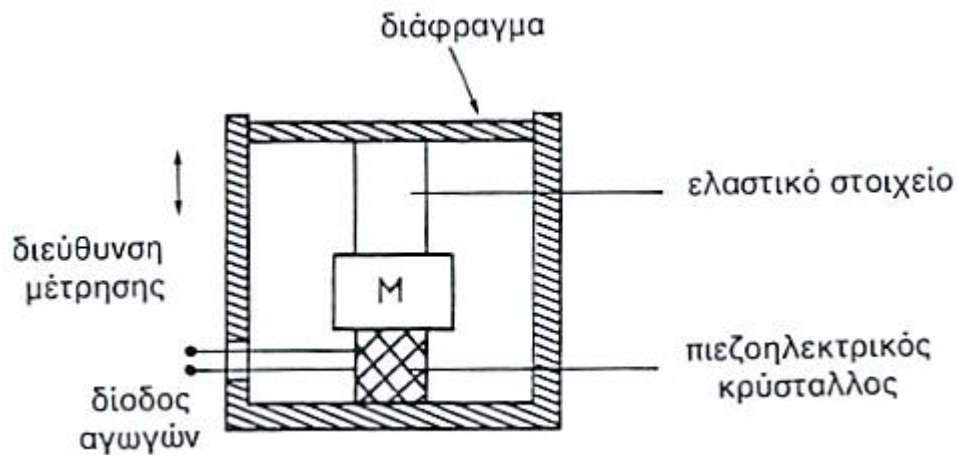
Στα επιταχυνσιόμετρα με ποτενσιόμετρο χρησιμοποιείται ένα ποτενσιόμετρο για τη μέτρηση της μετατόπισης της θέσης της μάζας ως προς το περίβλημα. Η αντίσταση στηρίζεται στο περίβλημα, ενώ η κινητή επαφή παρασύρεται από την κίνηση της μάζας. Μετρούν επιταχύνσεις μέχρι μερικές δεκάδες g για συχνότητα μερικές δεκάδες Hz, έχουν ευαισθησία κάθετης διεύθυνσης περίπου $\pm 1\%$ και ακρίβεια γύρω στο 1% πλήρους απόκλισης για θερμοκρασία γύρω στους 20°C .

Στα επιταχυνσιόμετρα με μετατροπέα πιεζοαντίστασης, η πιεζοαντίσταση παίζει το ρόλο του ελατηρίου. Μετρούν επιταχύνσεις μέχρι μερικές εκατοντάδες g για συχνότητα εκατοντάδων Hz, έχουν ευαισθησία κάθετης διεύθυνσης περίπου $\pm 2\%$ και ακρίβεια γύρω στο 1% πλήρους απόκλισης για θερμοκρασία γύρω στους 20°C .

Τα επιταχυνσιόμετρα με LVDT, για τη μέτρηση της μετατόπισης χρησιμοποιούν γραμμικό μεταβλητό διαφορικό μετασχηματιστή (LVDT), όπου τα πηνία συνδέονται με το περίβλημα και ο οπλισμός με τη μάζα. Μετρούν επιταχύνσεις μέχρι μερικές εκατοντάδες g για συχνότητα εκατοντάδων Hz, έχουν ακρίβεια γύρω στο 2% πλήρους απόκλισης και παρέχουν σχετικά υψηλή τάση εξόδου (έως και 1 V για συχνότητα 2 KHz).

Τα ημιαγωγικά επιταχυνσιόμετρα χρησιμοποιούν κάποιο ημιαγωγό για τη μέτρηση της μετατόπισης ή της αδρανειακής δύναμης και μετρούν επιταχύνσεις μερικές εκατοντάδες g.

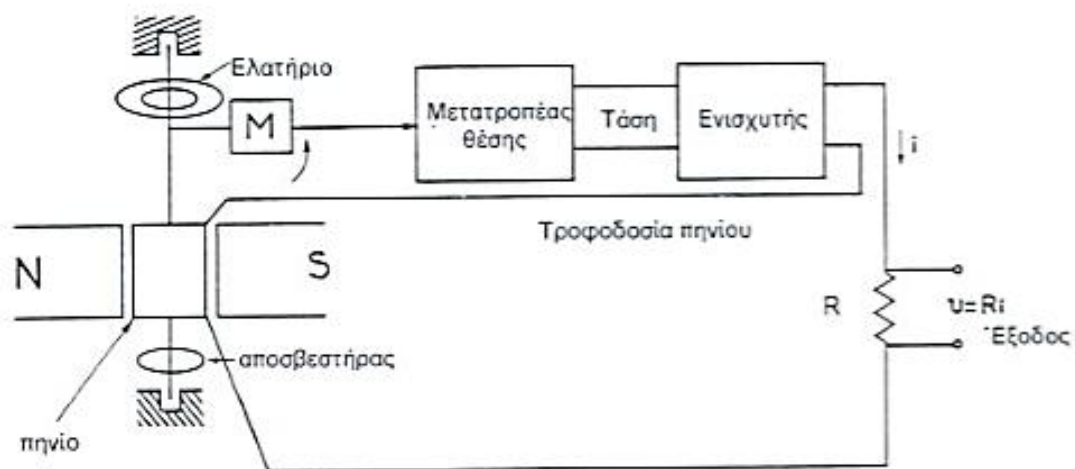
Τα πιεζοηλεκτρικά επιταχυνσιόμετρα βασίζονται στη χρήση ενός πιεζοηλεκτρικού κρυστάλλου, πάνω στον οποίο τοποθετείται το σώμα μάζας M . Η κατασκευή γίνεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε ο κρύσταλλος να βρίσκεται σε τάση ακόμη και για μηδενική επιτάχυνση. Με τον τρόπο αυτό δεν καταπονείται στον εφελκυσμό.



Εικόνα 55: Κατασκευή πιεζοηλεκτρικού επιταχυνσιόμετρου

Επιταχυνσιόμετρα κλειστού βρόγχου

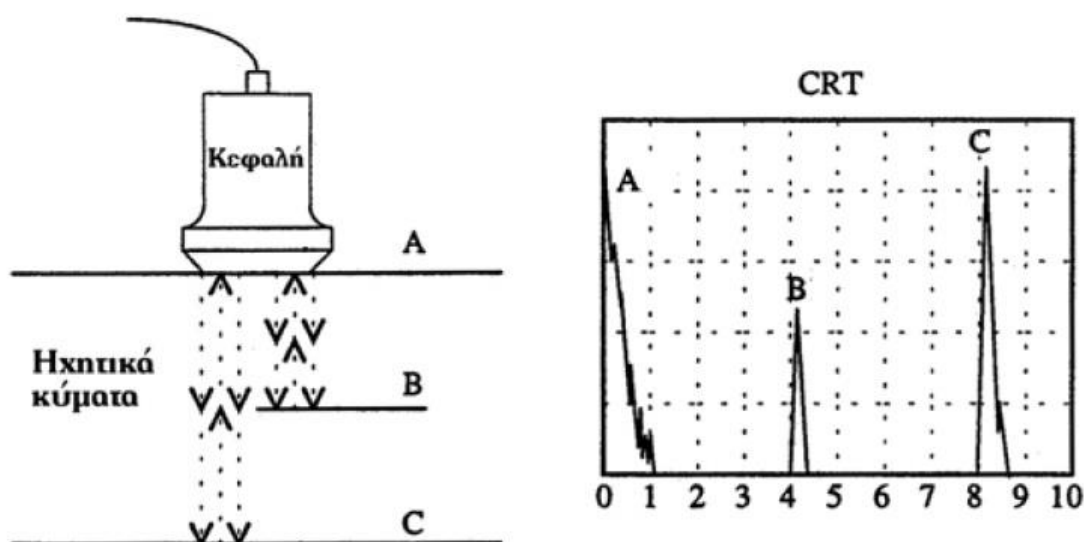
Τα συγκεκριμένα επιταχυνσιόμετρα διαθέτουν μεγαλύτερη ακρίβεια από τα επιταχυνσιόμετρα ανοικτού βρόγχου. Δε διαθέτουν ελατήριο ή άλλο ελαστικό υλικό, αλλά μόνο μια μάζα M πάνω στην οποία όταν εμφανιστεί επιτάχυνση g , ασκείται μια αδρανειακή δύναμη $F = M \cdot g$, η οποία τείνει να κινήσει τη μάζα. Η μετακίνηση μετρίεται με μετατροπέα θέσης και μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα ανάλογου μεγέθους, το οποίο ενισχύεται και τροφοδοτεί ένα ηλεκτρομηχανικό μετατροπέα εξόδου. Η δύναμη που προκύπτει εφαρμόζεται στη μάζα και εξισορροπεί την αδρανειακή δύναμη. Το ρεύμα που τροφοδοτεί τον ηλεκτρομηχανικό μετατροπέα εξόδου έχει ένταση ανάλογη της επιτάχυνσης.



Εικόνα 56: Αρχή λειτουργίας επιταχυνσιόμετρου κλειστού βρόγχου

7.6 Υπερήχοι (Ultrasonics)

Η βασική αρχή λειτουργίας του ελέγχου με υπερήχους έγκειται στη χρήση ενός μετατροπέα ενέργειας (ultrasound transducer), ο οποίος μετατρέπει μια μορφή ενέργειας (συνήθως ηλεκτρική) σε μηχανική ενέργεια (υπερηχητικό κύμα). Ο μετατροπέας αυτός τοποθετείται στην επιφάνεια του υπό εξέταση υλικού και έχει ως αποτέλεσμα τη διάδοση της ηχητικής ενέργειας στο εσωτερικό του υλικού, ενώ η καταγραφή του ανακτώμενου σήματος μπορεί να γίνει είτε χρησιμοποιώντας τον ίδιο μετατροπέα, είτε χρησιμοποιώντας έναν άλλο μετατροπέα. Ανεξάρτητα από τον τρόπο διάδοσης και ανάκτησης των υπερηχητικών κυμάτων, κατά την καταγραφή σήματος η μηχανική ενέργεια του κύματος μετατρέπεται σε κατάλληλη μορφή ενέργειας για την ανάλυση των αποτελεσμάτων (συνήθως σε ηλεκτρικό σήμα που απεικονίζεται στον παλμογράφο). Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό της μεθόδου είναι το γεγονός ότι μπορεί να εντοπίσει τόσο επιφανειακές, όσο και εσωτερικές ασυνέχειες και ατέλειες, παρέχοντας μας με μεγάλη ακρίβεια το βάθος στο οποίο βρίσκονται. Επιπλέον, η μέθοδος αυτή επιτρέπει την ανίχνευση σφαλμάτων χωρίς καμία απολύτως αλλοίωση του εξεταζόμενου δοκιμίου ή υλικού, καθώς δεν αφήνουν κατάλοιπα ούτε προκαλούν μόνιμες παραμορφώσεις. Για τους παραπάνω λόγους, η χρήση υπερήχων είναι μία από τις αποτελεσματικότερες μεθόδους ανίχνευσης σφαλμάτων και βλαβών.



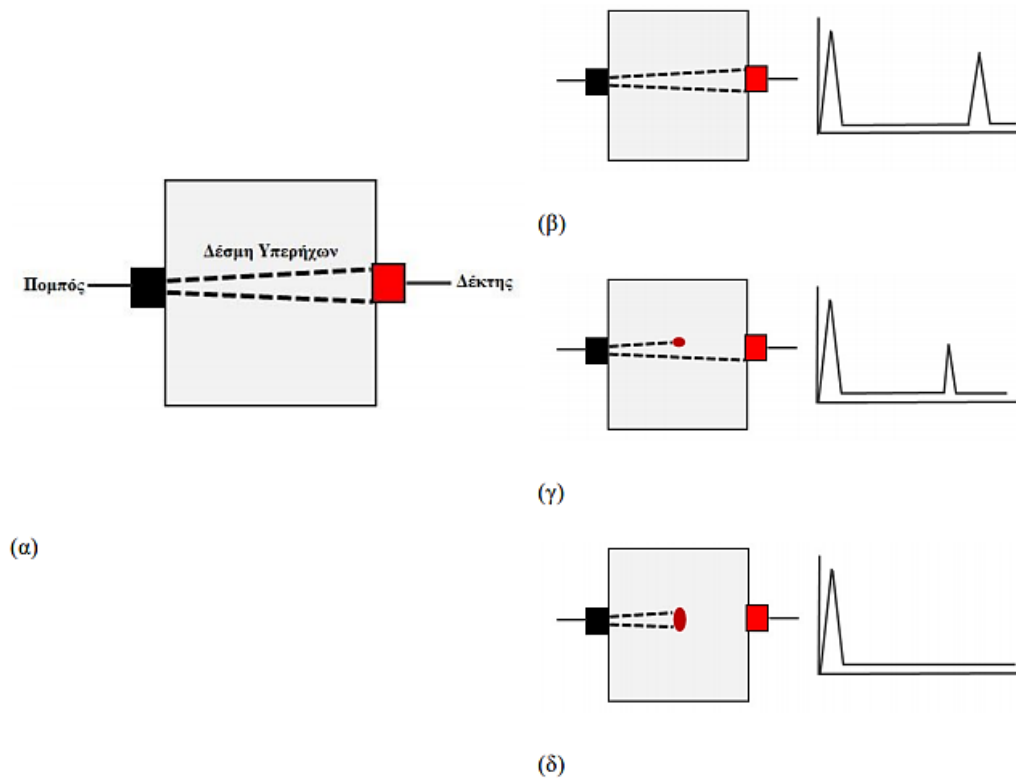
Εικόνα 57: Αναπαράσταση λειτουργίας υπερήχων

Η μέθοδος των υπερήχων έχει ευρύ πεδίο εφαρμογών, οι συνηθέστερες είναι: παχυμέτρηση αντικειμένων (Ultrasonic Thickness Testing – UTT), χαρτογράφηση πάχους σωλήνων (Corrosion Mapping), εύρεση μεγέθους επίπεδης διαστρωμάτωσης (lamination testing – ULT), ανίχνευση σφαλμάτων/ατελειών σε υλικά (συγκολλήσεις, προϊόντα χύτευσης και σφυρηλασίας) (Ultrasonic Flaw Detection – UFD), μέτρηση πυκνότητας υλικών, μέτρηση σκληρότητας υλικών, κτλ.

Η μέθοδος ελέγχου με υπερήχους βασίζεται στην παρακολούθηση και καταγραφή των μετρήσιμων αλλαγών στην ένταση του υπερηχητικού κύματος, όταν αυτό διαδίδεται στο εσωτερικό ενός υλικού. Η παρεμπόδιση του διαβιβαζόμενου στα υλικά ηχητικού κύματος προέρχεται από τις ενδιάμεσες επιφάνειες (στα σύνορα του δοκιμίου ή στην επιφάνεια μιας εσωτερικής ρωγμής κ.ά.) ή από την απορρόφηση του ήχου που οφείλεται στη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε άλλη μορφή λόγω εσωτερικών τριβών. Αυτές οι δύο αλληλεπιδράσεις έχουν συμβάλει στη διαμόρφωση δύο βασικών υπερηχητικών μεθόδων ελέγχου των υλικών, τη μέθοδο της διέλευσης (through transmission method) και τη μέθοδο της παλμοηχούς (pulse echo method).

Μέθοδος διέλευσης (through transmission method)

Η μέθοδος της διέλευσης απαιτεί τη χρήση δύο κεφαλών, μία για την παραγωγή των υπερηχητικών παλμών ενέργειας που διαδίδονται στο υλικό και μία για την καταγραφή των λαμβανόμενων σημάτων. Οι δύο μετατροπείς τοποθετούνται αντιδιαμετρικά στις δύο πλευρές του υπό εξέταση στόχου και η ανίχνευση της εσωτερικής ατέλειας βασίζεται στη μείωση του εύρους του λαμβανόμενου σήματος ή την πλήρη εξαφάνισή του στην περίπτωση ύπαρξης φθοράς μεγάλων διαστάσεων.

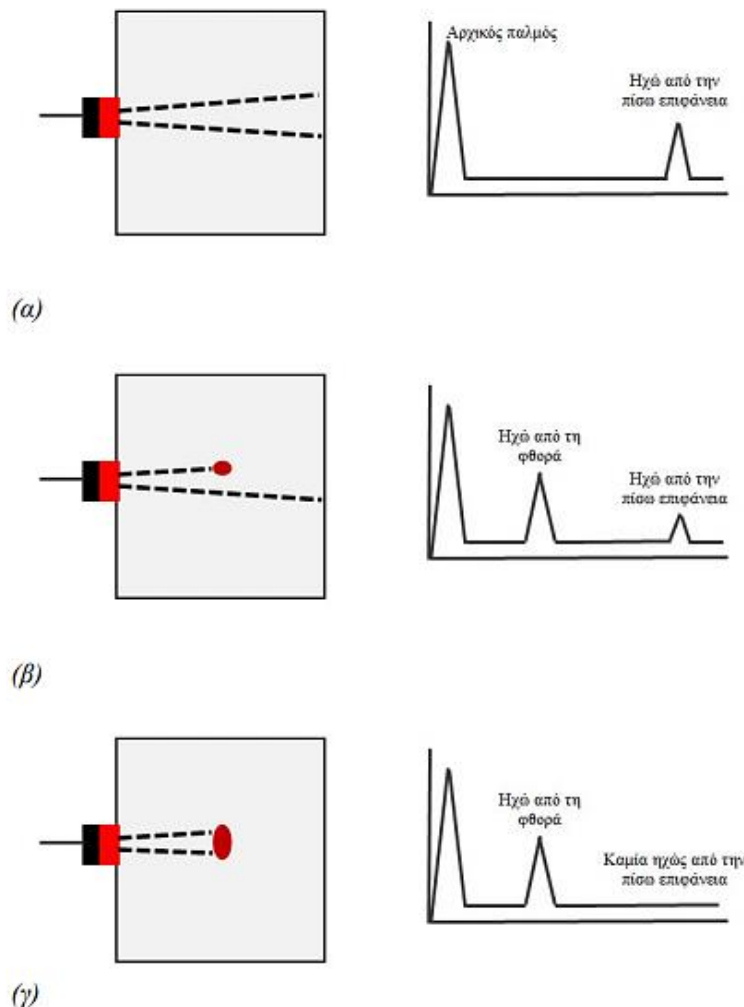


Εικόνα 58: (α) Θέση πομπού και δέκτη υπερήχων στον έλεγχο με τη μέθοδο διέλευσης (β) Ανάκτηση αποτελέσματος στην περίπτωση που δεν υπάρχει εσωτερική ατέλεια (γ) με εσωτερική ατέλεια μικρών διαστάσεων και (δ) με εσωτερική ατέλεια μεγάλων διαστάσεων απορροφώντας το σήμα.

Μέθοδος παλμοηχούς (pulse echo method)

Η μέθοδος της παλμοηχούς είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική ελέγχου και βασίζεται στη διάδοση και καταγραφή υπερηχητικών κυμάτων χρησιμοποιώντας τον ίδιο μετατροπέα, ο οποίος λειτουργεί ως πομπός και ως δέκτης ταυτόχρονα. Ο ηχητικός παλμός που παράγεται από την κεφαλή διαδίδεται στο εσωτερικό του υλικού και όταν αυτός συναντήσει μια εσωτερική ασυνέχεια (ανακλαστήρα), μέρος της ενέργειας ανακλάται, ενώ το υπόλοιπο μέρος συνεχίζει μέχρι να φτάσει στην πίσω επιφάνεια του δείγματος, στην οποία ανακλάται και πάλι. Έτσι, η ηχώ που εκπέμπεται από την ατέλεια επιστρέφει πρώτη στον μετατροπέα, αφού βρίσκεται πιο κοντά στην επιφάνεια, και ακολουθεί η ηχώ από την πίσω επιφάνεια. Με τη μέθοδο της παλμοηχούς, σε αντίθεση με την άμεση διάταξη της τεχνικής διέλευσης, είναι δυνατός ο εντοπισμός της θέσης μιας ασυνέχειας, με πρόσβαση μόνο από τη μία πλευρά του δοκιμίου. Βέβαια, σε αυτήν την περίπτωση η υπερηχητική δέσμη

διατρέχει το υλικό δύο φορές (εμπρός και πίσω), πράγμα που προκαλεί μεγάλη αποδυνάμωση.

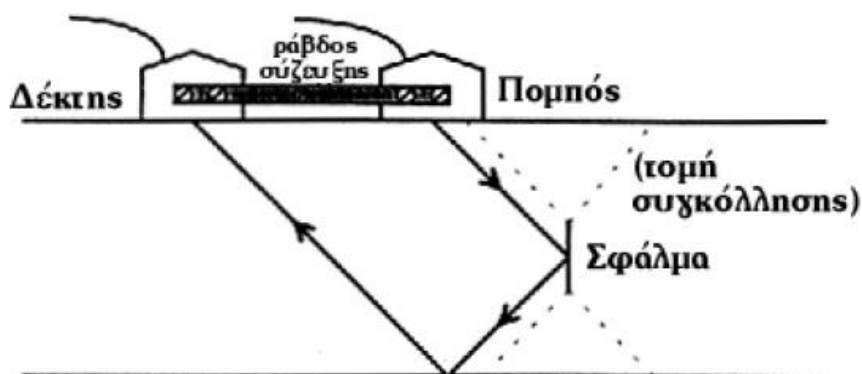


Εικόνα 59: Αρχή λειτουργίας μεθόδου παλμοηχούς και (α) ερμηνεία αποτελέσματος χωρίς εσωτερική ατέλεια, (β) με εσωτερική ατέλεια μικρότερης διαμέτρου από τη διάμετρο της δέσμης και (γ) με εσωτερική ατέλεια μεγαλύτερης διαμέτρου από αυτή της δέσμης.

Μέθοδος ζεύγους κεφαλών

Σε αυτήν την τεχνική χρησιμοποιείται ζεύγος κεφαλών (technique pitch-catch), μία κεφαλή εκπομπής ήχου και μία άλλη λήψεως, τη στιγμή που και οι δύο βρίσκονται στην ίδια επιφάνεια του δοκιμίου. Οι κεφαλές βρίσκονται σε συγκεκριμένη σταθερή απόσταση μεταξύ τους, ώστε οι παλμοί από την κεφαλή εκπομπής που θα ανακλαστούν από ένα ελάττωμα, να κατευθυνθούν προς την κεφαλή λήψεως και έτσι να δημιουργηθεί το σήμα επί της οθόνης. Η απόσταση μεταξύ των κεφαλών εξαρτάται από την γωνία της κεφαλής, το πάχος του υλικού και το βάθος των αναμενόμενων σφαλμάτων. Το πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι ότι κατακόρυφα σφάλματα εξαιρετικά δύσκολα να εντοπιστούν με γωνιακές κεφαλές 0° ,

ανιχνεύονται εύκολα. Το μειονέκτημα είναι ότι εντοπίζονται μόνο ελαττώματα προκαθορισμένου βάθους.



Εικόνα 60:
Μέθοδος
pitch-catch

Τύποι απεικόνισης ατελειών

Τα δεδομένα που λαμβάνονται μπορούν να παρουσιαστούν στην οθόνη της συσκευής σε διάφορες μορφές/τύπους. Ο κάθε τύπος παρουσίασης προσφέρει μια διαφορετική οπτική γωνία στην εξέταση και αξιολόγηση του εξεταζόμενου υλικού.

Σάρωση τύπου A

Η σάρωση τύπου A (A-Scan) είναι το συνηθέστερο σύστημα. Απεικονίζει το ποσό της ανακλώμενης ενέργειας σε μία οθόνη με μορφή. Ο οριζόντιος άξονας της οθόνης παριστάνει το χρόνο που διανύει μέσα στο υλικό ο υπέρηχος μέχρι να επιστρέψει στην κεφαλή, ενώ ο κατακόρυφος άξονας το εύρος/πλάτος σήματος, δηλαδή την ηχητική ενέργεια που επιστρέφει στην κεφαλή. Στην A-σάρωση, το σχετικό μέγεθος μίας τυχαίας ασυνέχειας μπορεί να εκτιμηθεί συγκρίνοντας το πλάτος του σήματος που μας δίνει η τυχαία ατέλεια με το πλάτος του σήματος που μας δίνει μια πρότυπη/γνωστή ατέλεια, ενώ η θέση της ασυνέχειας μπορεί να προσδιοριστεί από την θέση του σήματος επί του άξονα της βάσεως του χρόνου (οριζόντιος άξονας). Από το σχήμα και την συμπεριφορά του σήματος κατά την κίνηση της κεφαλής συμπεραίνεται και ο τύπος του σφάλματος.

Σάρωση τύπου B

Η σάρωση τύπου B (B-Scan) μας δίνει την απεικόνιση της τομής του δοκιμίου κάτι το οποίο γίνεται με σάρωση κατά μήκος της επιφάνειας του. Στην οθόνη, ο οριζόντιος άξονας αναπαριστά την απόσταση που διανύει η κεφαλή κατά τη σάρωση, ενώ ο κάθετος άξονας το βάθος της ατέλειας. Με τη χρήση φωσφορίζουσας επικάλυψης υψηλής διάρκειας στην οθόνη, το είδωλο διατηρείται για κάποια χρονική περίοδο, και μπορεί να φωτογραφηθεί για μόνιμη καταγραφή. Το εύρος του λαμβανόμενου σήματος είναι ανάλογο με την λαμπρότητα του ειδώλου, ενώ ο συγχρονισμός της κίνησης της κεφαλής με την απεικόνιση μπορεί να αναπαριστάνει πραγματικά τις διαστάσεις του σφάλματος.

Σάρωση τύπου C

Η σάρωση τύπου C (C-Scan) μας δίνει την κάτοψη της επιφάνειας σαρώσεως δείχνοντας τα ελαττώματα σαν περιοχές διαφορετικής φωτεινότητας σε σύστημα εκτύπωσης ή αποτύπωσης, που συγχρονίζεται με την κίνηση της κεφαλής καθώς αυτή διατρέχει την επιφάνεια του υλικού. Το μεγάλο πλεονέκτημα του συστήματος είναι η άμεση και μόνιμη καταγραφή. Τα μειονεκτήματα είναι ότι δεν υπάρχει ένδειξη του βάθους ή του προσανατολισμού του σφάλματος και η προετοιμασία της εγκατάστασης είναι χρονοβόρα.

Σάρωση τύπου S (S-scan) ή Συστοιχία Φάσης με Υπερήχους (phased array ultrasonics)

Ο έλεγχος με συσκευές υπερήχων τύπου phased array αφορά την ανίχνευση ασυνεχειών, με χρήση κεφαλών πολλαπλών κρυστάλλων. Στην κεφαλή, η ενεργοποίηση συγκεκριμένων κρυστάλλων με διαφορετική σειρά ή σε ελάχιστα διαφορετικούς χρόνους, μεταβάλλει τη διεύθυνση και την εστίαση της δέσμης των υπερήχων, ενώ παρέχεται πλήρης απεικόνιση της τομής, ακόμα και της κάτοψης του υπό εξέταση δοκιμίου. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στο πάχος του δοκιμίου, ενώ ο κάθετος άξονας σε βάθος.

Παραδείγματα συσκευών μέτρησης με υπερήχους

- **Συσκευή μέτρησης υπερήχων SKIL 0520 AA**

Το SKIL 0520 «Ranger» είναι ένα εργαλείο που μετρά το μήκος, την επιφάνεια, τον όγκο και τη θερμοκρασία με κύματα υπερήχων. Με ένα εύρος μέτρησης μέχρι 15 μέτρα, αυτό το εργαλείο μετρά εύκολα εσωτερικές αποστάσεις. Ο πίνακας στόχου λέιζερ υποδεικνύει το σημείο όπου το σήμα υπερήχων αντικατοπτρίζεται. Η ακρίβειά του είναι $\pm 0,5\%$ / 1 digit, το εύρος μέτρησης 0,5 - 15 m και η μέγιστη απόδοση ισχύος ≤ 1 mW.



Εικόνα 61: SKIL 0520 AA

- **Συσκευή μέτρησης υπερήχων SL800**

Οι μικρές διαρροές σε σωληνώσεις πεπιεσμένου αέρα οδηγούν σε διαρρέον αέριο με υψηλή τριβή και παράγουν μη αντιληπτούς από τον άνθρωπο ήχους στο φάσμα των υπερήχων. Με τον ίδιο τρόπο γίνεται έγκαιρα αντιληπτή η τριβή φθοράς σε κινούμενα εξαρτήματα μηχανών. Αυτές οι προκαλούμενες από την τριβή ροής ηχητικές ταλαντώσεις προσλαμβάνονται από τον καθετήρα της SL800R και μετατρέπονται μέσω ισχυρής τεχνολογίας μετατροπέα σε ήχο που μπορεί να ακουστεί, ο οποίος αναπαράγεται στα ηχομονωμένα ακουστικά και επιπλέον παρουσιάζεται ως ένδειξη μέσω γραφήματος ράβδων LED δέκα τμημάτων.

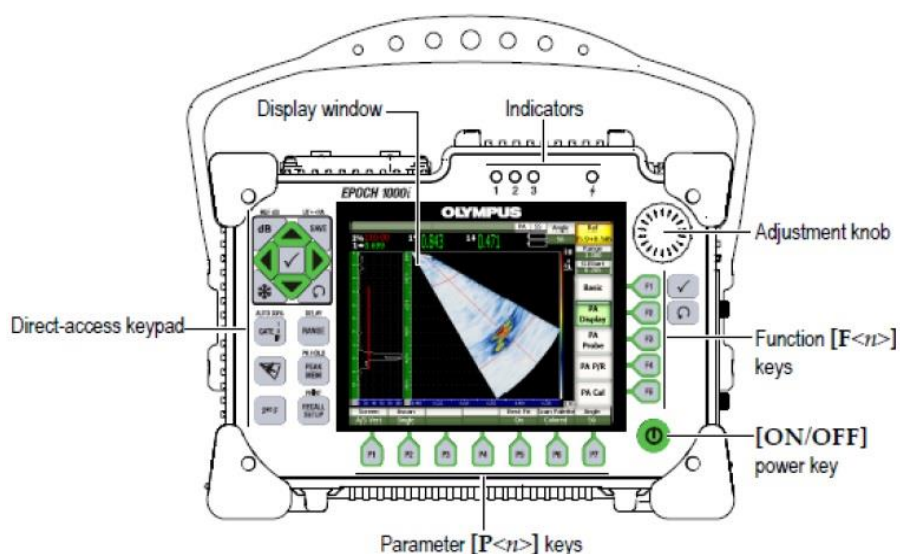
Η συνδυασμένη οπτική και ακουστική καταγραφή με προσαρμοζόμενη ένταση ήχου στα ακουστικά επιτρέπει εργασία με συγκέντρωση ακόμη και σε κακές συνθήκες φωτισμού και θορύβου περιβάλλοντος.



Εικόνα 62: Ανιχνευτής υπερήχων SL800R

- **Υπερηχητικός ανιχνευτής σφαλμάτων Epoch 1000i**

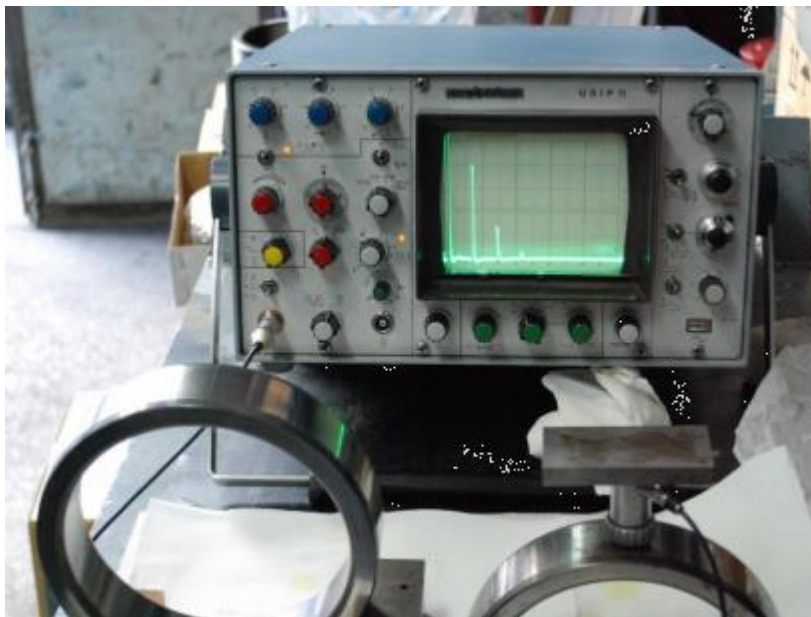
Το μηχάνημα Epoch 1000i είναι μια φορητή συσκευή υπερήχων νέας γενιάς η οποία ανιχνεύει κυρίως ελαττώματα σε συγκολλήσεις, σε σωληνώσεις και σε πολλές άλλες εφαρμογές. Το Epoch 1000i μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για ελέγχους τύπου A-Scan, όσο και για ελέγχους τύπου phased array. Αναφορικά με το επίπεδο απόδοσης της συσκευής, προσφέρει το υψηλότερο δυνατό σε ελέγχους τύπου A-Scan και ικανοποιητικό σε ελέγχους phased array. Οι λειτουργίες και τα χαρακτηριστικά της συσκευής είναι πλήρως συμμορφωμένες με το πρότυπο EN 12668-1. Το όργανο διαθέτει έγχρωμη οθόνη LCD με πλήρη VGA ανάλυση (640 X 480 pixels).



Εικόνα 63:
Πρόσωση
Epoch
1000i

- **Υπερηχητικός ανιχνευτής ατελειών USIP-11**

Πρόκειται για μια συσκευή εξαιρετικά αξιόπιστη και ακριβής. Το εύρος συχνοτήτων μεταξύ 0,5 έως 25 MHz επιτρέπει τη χρήση της σε ένα ευρύ φάσμα πειραμάτων και εφαρμογών. Οι περιοχές συχνοτήτων χωρίζονται σε τέσσερα τμήματα και μέσω ενός διακόπτη μπορούμε να επιλέξουμε την περιοχή στην οποία επιθυμούμε να εργαστούμε. Έχει την δυνατότητα να υπολογίζει ατέλειες σε βάθη τα οποία κυμαίνονται από 5mm έως 15m. Έχει σχετικά μικρό όγκο. Η συσκευή έχει τέσσερις περιοχές συχνοτήτων (0.5-2.5, 2-8, 10-15, 20-25 MHz). Η ενίσχυση μεταβάλλεται στην περιοχή 0-80dB. Αυτό σημαίνει ότι μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την συσκευή για μετρήσεις σε πολλά διαφορετικά υλικά, ενώ ταυτόχρονα παρέχει υψηλή διακριτότητα ατελειών, όταν εξετάζονται εξαρτήματα υψηλών απαιτήσεων.



*Εικόνα 64:
Υπερηχητικός
ανιχνευτής ατελειών
USIP-11*

7.7 Ανάλυση περιβάλλουσας ή Μέθοδος Envelope

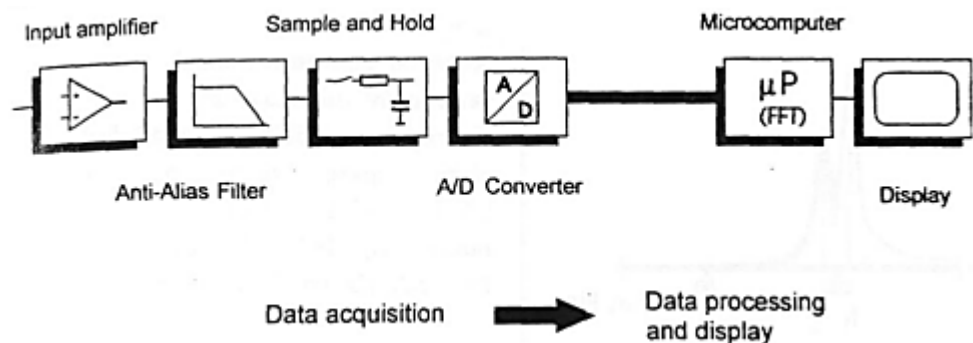
Η μέθοδος αυτή απομονώνει όλα τα σήματα των περιστροφικών δονήσεων που εμφανίζονται σε χαμηλές συχνότητες και παράλληλα ενισχύει το σήμα στη συχνότητα που εμφανίζει κάποιο σφάλμα. Χρησιμοποιείται κυρίως, σε μετρήσεις στα ρουλεμάν και στους οδοντωτούς τροχούς, όπου υπάρχει ένα επαναλαμβανόμενο χαμηλού πλάτους σήμα κραδασμών το οποίο δύναται να αποκρυφτεί από άλλες συνιστώσες του ίδιου σήματος.

7.8 Μέθοδος SEE (εκπεμπόμενη ενέργεια φάσματος)

Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί έναν αισθητήρα που λαμβάνει υπερηχητικές εκπομπές στα 150 – 500 KHz. Είναι χρήσιμη στις μετρήσεις σε ρουλεμάν και οδοντωτούς τροχούς και προειδοποιεί εγκαίρως για τυχόν σφάλματα, όπως φθορά μετάλλων, έλλειψη λίπανσης κ.α.

7.9 Ανάλυση φάσματος κραδασμών με FFT (Fast Fourier Transform)

Η ανάλυση στο πεδίο της συχνότητας είναι μια πανίσχυρη συμβατική τεχνική για την ανάλυση ταλαντώσεων και έχει αποδειχθεί ότι είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για τον εντοπισμό και την διάγνωση βλαβών σε περιστρεφόμενες μηχανές. Με τη μέθοδο FFT μετρούνται οι κραδασμοί στα στοιχεία μηχανών που απαιτούν περισσότερη ανάλυση. Κάθε σήμα αποτελείται από επιμέρους τμήματα με συγκεκριμένα πλάτη και συχνότητες, βάσει των οποίων δημιουργείται ένας πίνακας τιμών. Επιτρέπει τη διαίρεση μιας ακολουθίας μήκους N σε μικρότερου μήκους ακολουθίες, στις οποίες εφαρμόζεται ο διακριτός μετασχηματισμός Fourier. Η διαίρεση μπορεί να γίνει είτε στο πεδίο του χρόνου, είτε στο πεδίο της συχνότητας. Μέσω αυτής της διαδικασίας μειώνεται δραστικά η πολυπλοκότητα και ο χρόνος εκτέλεσης των υπολογισμών.



Εικόνα 65: Αρχή λειτουργίας FFT

7.10 Συσκευές οπτικής σύγκρισης

Οι σύγχρονες συσκευές οπτικής σύγκρισης, οι οποίες περιγράφονται με τους όρους προβολείς περιγράμματος (contour projectors) ή σκιογράφοι (shadowgraphs), διαθέτουν λογισμικό αναγνώρισης και ανάλυσης ακμών για την εκτέλεση σύνθετων

εργασιών μέτρησης. Είναι πιο απλές στη χρήση από αντίστοιχες μηχανές CMM και κοστίζουν λιγότερο. Για την οπτική επιθεώρηση και τη μέτρηση κομματιών χρησιμοποιούνται συχνά και μικροσκόπια διάφορων τύπων (οπτικό, στερεοσκόπιο κλπ). Μια μέθοδος οπτικού ελέγχου είναι αυτή της γραμμικής συστοιχίας (linear array), στην οποία μια δέσμη φωτός προβάλλεται κάθετα στο αντικείμενο.

Μια άλλη κατηγορία μεθόδων οπτικού ελέγχου χρησιμοποιεί λέιζερ χαμηλής ισχύος, τα οποία εκπέμπουν μια εστιασμένη ακτίνα φωτός, η οποία με τη χρήση ενός κατευθυντήριου μηχανισμού σαρώνει μια περιοχή. Στην πιο απλή εφαρμογή της μεθόδου, η ακτίνα σαρώνει κάθετα μια περιοχή. Στο αντίθετο από την ακτίνα άκρο υπάρχει ένας φακός που συλλέγει το φως, καθώς και ένα αισθητήρας που καταγράφει τη διακοπή στη λήψη φωτός, που προκαλεί η σκιά του υπό μέτρηση αντικειμένου. Τα σχετικά δεδομένα τροφοδοτούνται σε έναν μικροεπεξεργαστή, ο οποίος μετρά με ακρίβεια τον χρόνο που αντιστοιχεί στη σάρωση του αντικειμένου (χρόνος κατά τον οποίο ο αισθητήρας δεν λαμβάνει φως). Με βάση αυτό τον χρόνο μπορεί να υπολογιστεί με αρκετά καλή ακρίβεια και ταχύτητα το μέγεθος.

8. Αντί επιλόγου

Από τα παραπάνω διαφαίνεται ότι οι μετρήσεις αποτελούν βασικότατο μέσο για την κατανόηση των φυσικών νόμων από τον άνθρωπο, καθότι ενώνουν τη θεωρία με την πράξη. Στη σύγχρονη εποχή, οι απαιτήσεις ποιότητας ολοένα και αυξάνονται, ενώ το ανθρώπινο μάτι είναι ανίκανο να μετρήσει με την ακρίβεια που απαιτείται, ώστε να παραχθούν τα υψηλότερης ποιότητας εξαρτήματα που χρειάζονται. Ειδικότερα, στον κατασκευαστικό τομέα ο έλεγχος της κατασκευαστικής ποιότητας μιας μηχανής σχετίζεται με τη μέτρηση κρίσιμων για την ποιότητα μεγεθών και χαρακτηριστικών. Τα στοιχεία μηχανών είναι αδύνατο να υπάρξουν χωρίς να έχουν προηγηθεί οι απαραίτητες μετρήσεις. Δεν είναι τυχαίο εξάλλου, το γεγονός ότι στις σύγχρονες βιομηχανίες οι μετρήσεις αποτελούν το 10 – 15 % του κόστους παραγωγής.

Σε αυτό το σημείο, αξίζει να τονιστεί πως η προσέγγιση της παρούσας εργασίας είναι μόνο μια προσπάθεια να αναπτυχθεί η θεωρητική πλευρά της μετρολογίας και πώς αυτή συνδέεται με τα στοιχεία μηχανών. Για τη μέγιστη κατανόηση των μετρήσεων οι οποίες λαμβάνουν χώρα στα στοιχεία μηχανών, σκόπιμη κρίνεται η διεξαγωγή έρευνας, κάτι που θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί σε μελλοντικά εγχειρήματα.

9. Βιβλιογραφία

- Αλμπαντάκη Μ. (2014). *Μετρήσεις με μηχανικά-ηλεκτρονικά και πνευματικά όργανα*. Μη εκδεδομένη πτυχιακή εργασία, Ηράκλειο.
- Bechara, A. (2008). *Σύγχρονα όργανα και τεχνικές συντήρησης μηχανών* [Σημειώσεις μαθήματος], Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Βόσου, Κ. (χ.χ.) *Στοιχεία Μηχανολογίας* [διαφάνειες Powerpoint]. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Βουκελάτος, Ε. (χ.χ.). *Σημαντικά ψηφία – στρογγυλοποίηση* [Σημειώσεις μαθήματος]. Μεσολόγγι: ΤΕΙ μεσολογγίου.
- Γιαννάτσης, Ι., Δεδούσης, Β., Κανελλίδης, Β. (2015) *Σύγχρονες τεχνολογίες κατασκευής με τη βοήθεια H/Y*. Αθήνα: ΣΕΑΒ.
- Δούκας, Γ. (2005). *Ιστορική εξέλιξη της επιστήμης της Μετρολογίας* [Σημειώσεις μαθήματος]. Θεσσαλονίκη: ΑΠΘ.
- Δρόσου, Μ.Ε. (2010). *Μέτρηση κραδασμών σε στροβιλομηχανές με χρήση συστήματος Laser*. Μη εκδεδομένη πτυχιακή εργασία, Αθήνα.
- Καλλικούρδη, Μ. (1983). *Μηχανολογικό Σχέδιο*, Αθήνα: Ίδρυμα Ευγενίδου.
- Κατσουλάκος, Ν. (χ.χ.). *Εισαγωγή στη Μηχανολογία* [διαφάνειες Powerpoint]. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Κολοφωτιάς, Π. (2017). *Σύστημα Λήψης Απόφασης για την Αντιμετώπιση Βλαβών σε Μηχανές*. Μη εκδεδομένη πτυχιακή εργασία, Μεσολόγγι.
- Κουή, Μ., Αβδελίδης, Ν., Θεοδωρακέας, Π., Χειλάκου, Ε. (2015). Έλεγχος με υπερήχους. [3]. Στο Κουή, Μ., Αβδελίδης, Ν., Θεοδωρακέας, Π., Χειλάκου, Ε. (2015). *Μη καταστρεπτικές και φασματοσκοπικές μέθοδοι εξέτασης των υλικών*. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. κεφ 3. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/6171>.

- Κουσίδης, Σ. (2013). *Μη Καταστροφικός Έλεγχος Μέθοδος Υπερήχων*. Μη εκδεδομένη πτυχιακή εργασία, Κοζάνη.
- Κουτσογιάννης, Κ. (2017). *Χρήση τεχνολογίας υπερήχων για μη καταστροφικό έλεγχο και εντοπισμό σφαλμάτων*. Μη εκδεδομένη πτυχιακή εργασία, Πάτρα.
- Λαζαρίδης, Λ. (1976). *Στοιχεία Μηχανών*. Αθήνα: Ίδρυμα Ευγενίδου.
- Λαζαρίδης, Λ. (1990). *Μηχανουργική τεχνολογία*. Αθήνα: Ίδρυμα Ευγενίδου.
- Λεοντή, Ι. (2017). *Εκτίμηση αβεβαιότητας μετρήσεων και διακρίβωση μετρητικών οργάνων μηχανουργείου*. Μη εκδεδομένη πτυχιακή εργασία, Κοζάνη.
- Λιούσας, Β. (χ.χ.). *Αισθητήρες μετατόπισης θέσης [Σημειώσεις μαθήματος]*. Σέρρες: ΤΕΙ Σερρών.
- Λοπρέστη, Σ., Μπάχα, Γ. (1977). *Μηχανουργική τεχνολογία Β'*. Αθήνα: Ίδρυμα Ευγενίδου.
- Μουρλάς, Α. (2013). *1^η Εργαστηριακή άσκηση: Μέτρηση τραχύτητας [Σημειώσεις μαθήματος]*. Αθήνα: ΑΤΕΙ Πειραιά.
- Ναβροζίδης, Γ., Κυριακίδης, Δ., Λουκάς, Γ. (2003). *Βασικές έννοιες μετρολογίας*. Θεσσαλονίκη: Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας.
- Παπαποστόλου, Χ. (χ.χ.). *Μηχανικά και αυτόματα κιβώτια ταχυτήτων ελαφρών οχημάτων*. Μη εκδεδομένη πτυχιακή εργασία, Αθήνα.
- Παπουτσιδάκης, Μ. (χ.χ.). *Οδοντωτοί τροχοί-γρανάζια [διαφάνειες Powerpoint]*. Αθήνα: ΑΤΕΙ Πειραιά.
- Παχυλάκης, Μ. (χ.χ.) *Μετρήσεις τεμαχίων με μηχανικά, ηλεκτρονικά και πνευματικά όργανα*. Μη εκδεδομένη πτυχιακή εργασία.
- Πετρόπουλος, Π. (2001). *Μηχανουργική τεχνολογία: εργαστήριο Ι*. Αθήνα: Ίδρυμα Ευγενίδου.

- Ροδόπουλος, Κ. (2016). *Μέθοδοι διάγνωσης βλαβών μηχανολογικού εξοπλισμού από δυναμικές μετρήσεις σε μεταβαλλόμενες συνθήκες λειτουργίας*. Διδακτορική διατριβή, Αθήνα.
- Στεργίου, Ι., Στεργίου, Κ. (2002). *Στοιχεία Μηχανών ΙΙ: Μετάδοση Κίνησης*, Αθήνα: Σύγχρονη Εκδοτική.
- Στεργίου, Ι., Στεργίου, Κ. (2003). *Στοιχεία Μηχανών Ι*, Αθήνα: Σύγχρονη Εκδοτική.
- Ταρχανίδης, Κ. (χ.χ.). *Μέτρηση ταχύτητας και επιτάχυνσης [διαφάνειες Open Courses]*. Καβάλα: ΤΕΙ Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης.
- Ταχλιαμπούρης, Ν. (2015). *Ανάπτυξη μεθόδου διακρίβωσης της συγκριτικής μηχανής TESA UPC του Μετροτεχνικού Εργαστηρίου Ε.Μ.Π.* Μη εκδεδομένη πτυχιακή εργασία, Αθήνα.
- Τριτσώνης, Α., Τέρτης, Γ. (2012). *Αισθητήρες κίνησης και μετατόπισης*. Μη εκδεδομένη πτυχιακή εργασία, Χανιά.
- Φλέντζερης, Κ. (2013). *Μηχανικές ιδιότητες και έλεγχος εξαρτημάτων με μη καταστροφικές και καταστροφικές μεθόδους*. Μη εκδεδομένη πτυχιακή εργασία, Αθήνα.
- Χατζηφώτης, Π. (2013). *Έλεγχος με υπέρηχο σε σιδηροτροχιές και ελάσματα πλοίου*. Μη εκδεδομένη μεταπτυχιακή εργασία, Αθήνα.
- Χουλιάρης, Γ. (χ.χ.) *Στοιχεία περιστροφικής κίνησης [διαφάνειες Powerpoint]*. ΤΕΙ Θεσσαλίας.
- Χριστοπούλου, Ε.Π. (2005). *Ανάλυση σφαλμάτων [Σημειώσεις]*.

Ηλεκτρονικές πηγές

<https://www.ltt.ntua.gr/index.php/el/>

<http://www.texnikiekpaideysi.gr/metreseis/parousiaseis---arthra>

<http://www.i3du.gr/el/scan/>

<https://www.ems-usa.com/tech-papers/3D%20Scanning%20Technologies%20.pdf>

<https://www.skil.gr/skil-0520-aa-organo-metrisis-me-uperichous-f0150520aa.html>

<https://gr.trotec.com/proionta-kai-ypiresies/syskeyes-metrisis/yperichoi/syskeyes-metrisis-yperichon/sl800/>

http://www.physics.upatras.gr/UploadedFiles/course_173_6304.pdf