



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΚΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ &  
ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ  
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: DSc Θ. ΚΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ**

**ΜΑΘΗΜΑ: ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΜΗΧΑΝΩΝ**

**Σύγχρονα όργανα και τεχνικές συντήρησης μηχανών**

**Από τον Bechara Alexi**



**ΑΘΗΝΑ 2008**

## Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στην σημασία της συντήρησης μηχανών που παίζει μεγάλο ρόλο στην επέκταση της διάρκειας ζωής των εξαρτημάτων. Στην συνέχεια αναλύονται οι τύποι βλαβών και φθορών που προκύπτουν κατά την λειτουργία των μηχανών καθώς και οι διάφορες τεχνικές που χρησιμοποιούνται για εντοπισμό των βλαβών. Ένα μέρος αυτής της διπλωματικής έχει αφιερωθεί στην λίπανση και τα λιπαντικά, που αποτελούν ένα θέμα πρωταρχικής σημασίας στην συντήρηση μηχανών. Ειδικώς, εστιάζεται στα διάφορα όργανα και εργαλεία που χρησιμοποιούνται στις σύγχρονες πρακτικές συντήρησης, μέτρησης και ρύθμισης των εξαρτημάτων των μηχανών.

Θα ήθελα σ' αυτό το σημείο να ευχαριστήσω ιδιαίτερος τον επιβλέποντα καθηγητή μου τον κ. Θ.Ν Κωστόπουλο για την υποστήριξη και βοήθεια του καθ' όλη την διάρκεια αυτής της διπλωματικής εργασίας. Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον ελληνικό λαό που με υποδέχτηκε πολύ φιλικά και με έκανε να νιώθω σαν να είμαι στην χώρα μου. Τέλος, ευχαριστώ πολύ τους γονείς μου που με στήριξαν καθ' όλη την διάρκεια διαμονής μου στο εξωτερικό.

Alexi C. Bechara



## Πίνακας περιεχομένων

1.	Εισαγωγή .....	9
2.	Ιστορική αναδρομή .....	15
3.	Τεχνικές εφαρμογές συντήρησης.....	21
3.1	Οπτική επιθεώρηση .....	21
3.2	Μέτρηση των κρουστικών παλμών (Shock Pulse Measurement) .....	21
3.3	Μέτρηση του επιπέδου των δονήσεων-κραδασμών (Vibration Monitoring) 21	
3.4	Ανίχνευση βλαβών με Θερμογράφιση (Thermography).....	22
3.5	Τριβολογία (Tribology).....	22
3.6	Παρακολούθηση παραμέτρων Αποδοτικότητας.....	24
4.	Χαρακτηριστικά και παράμετροι μέτρησης ταλαντώσεων-κραδασμών.....	27
4.1.	Μηχανικές ταλαντώσεις/δονήσεις .....	27
4.2.	Βασικές αρχές .....	27
4.3.	Μέτρηση της συχνότητας των κινούμενων εξαρτημάτων των μηχανών και του επιπέδου των κραδασμών .....	30
4.4.	Το επίπεδο των κραδασμών .....	31
4.4.	Επιλογή των σημείων μέτρησης .....	32
4.5.	Μέθοδοι Παρακολούθησης των μετρήσεων των κραδασμών .....	35
4.5.1.	Παρακολούθηση του ολικού επιπέδου κραδασμών (Overall Vibration) 35	
4.5.2.	Η μέθοδος Envelope.....	41
4.5.3.	Η μέθοδος SEE.....	41
4.6	Ανάλυση του φάσματος των κραδασμών με FFT (Fast Fourier Transform) 41	
5.	Οι κρουστικοί παλμοί.....	45
5.1	Αξιολόγηση των μετρήσεων του επιπέδου των κρουστικών παλμών .....	46
5.2	Χαρακτηριστικές ενδείξεις κρουστικών παλμών από ρουλεμάν .....	47
5.3	Σημεία λήψης μετρήσεων.....	50
6.	Λίπανση.....	55
6.1	Ορισμός της λίπανσης.....	55
6.2	Στόχοι της λίπανσης.....	55
6.3	Τύποι φθοράς.....	56
6.4	Κατηγορίες λίπανσης .....	59
6.5	Καθαρότητα των λιπαντικών.....	59
6.6	Στεγανοποίηση.....	59
6.7	Ιδιότητες και διάρκεια ζωής γράσων .....	60

6.8	Κατηγορίες γράσων.....	61
6.9	Κατηγορίες λιπαντικών ελαίων .....	62
6.10	Προσθετικά και ανάμειξη γράσων .....	62
6.11	Επιλογή των γράσων .....	63
6.12	Λίπανση των ρουλεμάν.....	63
6.13	Επιλογή κατάλληλης ποσότητας γράσου.....	64
6.14	Επιλογή κατάλληλης χρονικής στιγμής λίπανσης και διαστήματα αναλίπανσης.....	65
6.15	Εργαλεία λίπανσης.....	66
7.	Μοντάρισμα και ξεμοντάρισμα ρουλεμάν .....	75
7.1	Μέθοδοι μονταρίσματος ρουλεμάν .....	75
7.2	Εργαλεία μονταρίσματος ρουλεμάν .....	77
7.3	Μέθοδοι ξεμονταρίσματος ρουλεμάν.....	78
7.4	Ασφάλεια στο ξεμοντάρισμα .....	79
7.5	Εργαλεία μονταρίσματος ρουλεμάν.....	80
8.	Όργανα συντήρησης .....	85
8.1	Bearing Checker 100.....	85
8.1.1	Γενική περιγραφή .....	85
8.1.2	Περιγραφή οργάνου .....	86
8.1.3	Εξοπλισμός οργάνου (SPM BEARING CHECKER 100) .....	87
8.1.4	Περιγραφή της λειτουργίας του οργάνου .....	89
8.1.5	Μπαταρίες .....	90
8.1.6	Ενδείξεις οργάνου.....	91
8.1.7	Πεδίο μέτρησης.....	93
8.1.8	Αισθητήρες οργάνου .....	94
8.1.9	Λειτουργία ως στηθοσκόπιο .....	97
8.1.10	Λειτουργία ως θερμόμετρο.....	98
8.2	CMIN INSPECTOR 400-SKF .....	101
8.2.1	Γενική περιγραφή .....	101
8.2.2	Εξοπλισμός του Inspector ultrasonic probe (CMIN 400-K) .....	104
8.2.3	Εντοπισμός διαρροής.....	107
8.2.4	Γενικός έλεγχος μηχανολογικού εξοπλισμού .....	110
8.2.5	Ανιχνεύοντας Αστοχία Ρουλεμάν .....	112
8.2.6	Εντοπισμός ελαττωματικών βαλβίδων .....	113
8.2.7	Παράρτημα .....	115
8.3	Machine Condition Tester T30 .....	117
8.3.1	Γενική περιγραφή .....	117

8.3.2	Περιγραφή οργάνου .....	118
8.3.3	Εξοπλισμός οργάνου (Machine Condition Tester T30) .....	119
8.3.4	Περιγραφή της λειτουργίας του οργάνου .....	121
8.3.5	Θύρες σύνδεσης οργάνου.....	122
8.3.6	Μπαταρίες .....	123
8.3.7	Μικροτσίπ EPROM και μνήμη .....	124
8.3.8	Χειροκίνητη καταγραφή και αποθήκευση μετρήσεων.....	125
8.3.9	Αξιολόγηση και έλεγχος αποτελεσμάτων.....	126
8.3.10	Δείκτης αιχμής και ακουστικά.....	127
8.3.11	Δείγμα διαφορετικών κρουστικών παλμών.....	129
8.3.12	Αξιολόγηση αποτελεσμάτων των μετρήσεων.....	131
8.3.13	Λειτουργία ως ταχύμετρο.....	132
8.3.14	Λειτουργία ως θερμόμετρο.....	133
8.3.15	Παράρτημα .....	134
8.4	Leonova Infinity .....	139
8.4.1	Γενική περιγραφή .....	139
8.4.2	Περιγραφή οργάνου .....	140
8.4.3	Εξοπλισμός οργάνου (Leonova Infinity) .....	141
8.4.4	Περιγραφή της λειτουργίας του οργάνου .....	143
8.4.5	Μπαταρίες .....	145
8.4.6	Διαφορετικές λειτουργίες.....	147
8.4.7	Διαδικασίες μετρήσεων .....	147
8.4.8	Απεριόριστες τεχνικές λειτουργίες.....	150
8.4.9	Η προβολή των αποτελεσμάτων .....	153
8.4.10	Μέτρηση του επιπέδου των κρουστικών παλμών.....	156
8.4.11	Παραδείγματα επιλογής σημείων μέτρησης και τοποθέτηση αισθητήρων.....	158
8.4.12	Ευθυγράμμιση αξόνων.....	160
8.4.13	Εξοπλισμός ευθυγράμμισης .....	162
1.	Παράρτημα.....	163
	Βιβλιογραφία.....	165
	Websites.....	166



# Κεφάλαιο

# 1





## 1. Εισαγωγή

Σε κάθε βιομηχανία η εξασφάλιση ικανοποιητικού αποτελέσματος εξαρτάται σε γενικές γραμμές από την αξιοπιστία και την σωστή λειτουργία των μηχανών της. Η συντήρηση μηχανών μπορεί να ανακαλύπτει την έναρξη των βλαβών στον εξοπλισμό και βοηθά στη διατήρηση της καλής λειτουργίας, στην ελαχιστοποίηση της εκτός λειτουργίας παραμονής του εξοπλισμού και στην αύξηση της αξιοπιστίας και της διαθεσιμότητας του εξοπλισμού όμως δεν μπορεί να αντισταθμίσει την κακή σχεδίαση ή και τη χαμηλή ποιότητα υλικών.

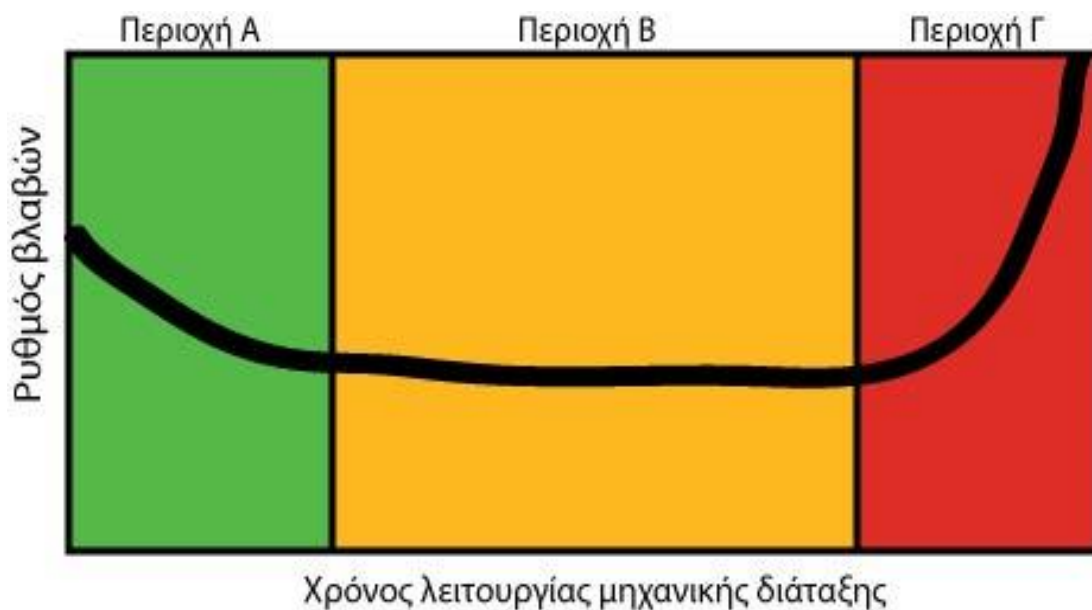
Η αξιοπιστία όμως κοστίζει δηλαδή όσο προσπαθούμε να κάνουμε τον εξοπλισμό πιο αξιόπιστο τόσο αυξάνει το αρχικό κόστος του συστήματος. Επομένως, γνωρίζοντας την βλάβη από τα πρώτα στάδια μας δίνεται το πλεονέκτημα της ετοιμασίας (**Πρόγνωση**), με άλλα λόγια μπορεί ο μηχανικός να παραγγέλλει στην σωστή ώρα ανταλλακτικά (**Ελάχιστος νεκρός χρόνος**) όπου γνωρίζει ότι υπάρχει μια δυσλειτουργία που δεν πρέπει να αγνοηθεί και πρέπει να διορθωθεί όσο πιο γρήγορα γίνεται, αλλιώς μπαίνουμε σε μία καταστροφική αλυσίδα όπου ένα μικρό πρόβλημα μπορεί να μας δημιουργεί πολλά άλλα προβλήματα κάτι που είναι ανεπιθύμητο. Γι' αυτόν τον λόγο ο εξοπλισμός πρέπει να έχει υψηλής ποιότητας συντήρηση με το μικρότερο δυνατό κόστος.

Ο βασικός κανόνας που πρέπει να ακολουθείται για την σωστή συντήρηση, είναι η ακριβής εφαρμογή των οδηγιών του κατασκευαστή της μηχανής. Οι οδηγίες αυτές περιγράφονται στο βιβλίο συντήρησης, που συνοδεύει κάθε μηχανή στη συσκευασία της. Η σωστή συντήρηση των μηχανών είναι ο μόνος τρόπος που επιβάλλεται ώστε οι νεκροί χρόνοι, λόγω βλάβης, να ελαχιστοποιούνται. Στην περίπτωση αυτή, το οικονομικό όφελος, λόγω της συνεχούς και αξιόπιστης λειτουργίας των μηχανών, είναι πολλαπλάσιο από το κόστος συντήρησης. Το κόστος αυτό αποτελείται από τα έξοδα των ανταλλακτικών και των αναλωσίμων και την αξία των εργατικών. Η συντήρηση των μηχανών γίνεται μέσα στο χώρο του μηχανουργείου από το ειδικό προσωπικό συντήρησης. Δυστυχώς σε πολλά μηχανουργεία η συντήρηση των μηχανών είναι ελλιπής και περιορίζεται στην επισκευή των βλαβών, που στην περίπτωση αυτή είναι συχνές. Αργά ή γρήγορα όμως οι υπεύθυνοι καταλαβαίνουν ότι η τακτική αυτή είναι λανθασμένη, όπως το καταλαβαίνει και κάποιος οδηγός που αντί να κάνει στο αυτοκίνητο του το προγραμματισμένο σέρβις, πληρώνει λόγω βλαβών πολλαπλάσια χρήματα.

Σημειώνουμε ότι ο ρυθμός βλαβών σε όλες τις μηχανικές διατάξεις είναι συνάρτηση του συνολικού χρόνου λειτουργίας τους βλέπε (σχήμα. 1).

Στην (περιοχή Α), όταν δηλαδή οι (μηχανικές διατάξεις είναι σχεδόν καινούριες, υπάρχει ένας μεγάλος ρυθμός βλαβών. Η περιοχή ονομάζεται περίοδος αρχικών βλαβών και οφείλεται στην εμφάνιση κατασκευαστικών ατελειών, λαθών στη συναρμολόγηση, απορρυθμίσεις λόγω μεταφοράς τους κλπ.

Η (περιοχή Β), έχει σταθερό αριθμό τυχαίων βλαβών και αποτελεί τη συνηθισμένη κατάσταση "στρωμένων" μηχανικών διατάξεων. Όσο μεγαλώνει η ηλικία των μηχανημάτων, τόσο οι φθορές τους έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση του ρυθμού βλαβών τους και τελικά την αχρήστευση της μηχανής (περιοχή Γ).



Σχήμα (1)

Οι περισσότερες μηχανές είναι *ευαίσθητες* στις κακές συνθήκες του περιβάλλοντος και της τροφοδοσίας τους. Τα επιτρεπόμενα όρια λειτουργίας που συστήνουν οι περισσότεροι κατασκευαστές, φαίνονται στον (πίνακα 1):

<b>Η ΣΩΣΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΠΑΙΤΕΙ : ΚΑΤΑΛΛΗΛΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ</b>	Θερμοκρασία	Όχι	Κάτω από 10° C Πάνω από 50° C
		Ναι	Στη σταθερή θερμοκρασία
	Υγρασία	Όχι	Πάνω από 95 %
		Ναι	Στον έλεγχο υγρασίας και στον κλιματισμό
	Καθαρότητα αέρα	Όχι	Στη βρώμικη ατμόσφαιρα
		Ναι	Στο σωστό εξαερισμό
	Τροφοδοσία	Όχι	Στις πτώσεις τάσεως και στις διακοπές
		Ναι	Στα UPS
	Επιτάχυνση	Όχι	Περισσότερο από 0.5 g
		Ναι	Στην προστασία από κραδασμούς

Πίνακας (1)

Η συντήρηση πρέπει να είναι μέρος της γενικής στρατηγικής της κάθε επιχείρησης, και θα πρέπει να προσαρμόζεται διαρκώς στις νέες τεχνολογίες .



# Κεφάλαιο

# 2



## 2. Ιστορική αναδρομή

Από τότε που φτιάχτηκε η πρώτη μηχανή, κατάλαβε ο άνθρωπος πως θα πρέπει να την συντηρεί για να διατηρείται σε καλή κατάσταση ώστε να λειτουργεί σωστά χωρίς προβλήματα και βλάβες. Αρχικά όμως η συντήρηση ήταν απλά μία δραστηριότητα κατά την οποία αν ένα τμήμα κάποιου εξοπλισμού πάθαινε βλάβη, γινόταν αντικατάσταση του τμήματος αυτού και ο εξοπλισμός έμπαινε πάλι σε λειτουργία. Έτσι ο μηχανικός δεν ενδιαφερόταν για την αίτια του προβλήματος ή για το αν και πότε θα εμφανιστεί πάλι η βλάβη αυτή.

Για μεγάλο χρονικό διάστημα η συντήρηση βασιζόταν στην εμπειρία των προηγούμενων μηχανικών και επιστημόνων οι οποίοι είχαν πείρα στην συντήρηση μηχανών. Όμως με την πάροδο του χρόνου και με το γρήγορο ρυθμό ανάπτυξης στον μηχανολογικό τομέα, άρχισε μία νέα φάση, όπου απαιτούνται περισσότερα κριτήρια για την αξιοπιστία του μηχανολογικού εξοπλισμού. Τότε η συντήρηση άρχισε να οργανώνεται σε δομημένη επιστήμη με θεωρίες και κανόνες και πέρασε από διαφορετικά στάδια όπου έγιναν έρευνες και μελέτες που έδειξαν την βέλτιστη μέθοδο συντήρησης που θα πρέπει να εφαρμοστεί σε κάθε βιομηχανία.

Οι διάφοροι μέθοδοι συντήρησης κατά χρονική σειρά εξέλιξης φαίνονται παρακάτω:

- **Πρώτη μέθοδος: (Λειτουργία ως τη βλάβη ή Run Failure)**

Είναι από τις πρώτες μεθόδους που εφαρμόστηκαν στον τομέα της συντήρησης μηχανών. Στην μέθοδο αυτή δεν πραγματοποιείται καμία επισκευή μέχρι το σταμάτημα της μηχανής τελειώς από μία βλάβη ή μέχρι την συνεχή λειτουργία σε δυσμενείς συνθήκες. Είναι η χειρότερη μέθοδος επειδή μετά το σταμάτημα, ο μηχανικός έπρεπε αρχικά να χάνει χρόνο για να καταλάβει την αιτία της βλάβης και μετά να αρχίσει την επιδιόρθωση για ένα άγνωστο χρονικό διάστημα που μπορεί να είναι τόσο μεγάλο, ώστε να επιβαρύνει σημαντικά το γενικό κόστος συντήρησης. Τελικά, μπορεί και ο χρόνος συντήρησης που αφιερώνεται να μην είναι επαρκής. Έτσι φτάνει μόνο που η μηχανή θα λειτουργεί πάλι μέσα σε αποδεκτά επίπεδα χωρίς να λάβουμε υπόψη το αίτιο της βλάβης το οποίο θα ξαναδημιουργήσει προβλήματα στο κοντινό μέλλον.



- Δεύτερη μέθοδος: **(Προληπτική συντήρηση ή Preventive Maintenance)**

Κατά την προληπτική συντήρηση σταματάμε τη μηχανή για γενική συντήρηση ανά συγκεκριμένες ώρες λειτουργίας. Χωρίς να λαμβάνουμε υπόψη την καλή ή την κακή κατάσταση των ανταλλακτικών όπου υπάρχει πιθανότητα να αυξήσουμε τον κίνδυνο εισαγωγής καινούργιων ανωμαλιών, λόγω απροσεξίας κατά το μοντάρισμα-ξεμοντάρισμα των διάφορων εξαρτημάτων.

Η χρονική περίοδο σταματήματος της μηχανής υπολογίζεται στατιστικώς και με βάση τις οδηγίες του κατασκευαστή-σχεδιαστή της μηχανής και της πολύτιμης εμπειρίας του χρήστη που μας βοηθάει σε ορισμένες περιπτώσεις στην αποφυγή κακών εκτιμήσεων. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η προληπτική συντήρηση είναι προτιμότερη από τη λειτουργία μέχρι τη βλάβη παρόλο που είναι δαπανηρή εξαιτίας του αυξημένου νεκρού χρόνου της μηχανής λόγω συνεχών αντικαταστάσεων ανταλλακτικών και μερικές φορές αντικατάστασης εξαρτημάτων που βρίσκονται σε καλή κατάσταση μαζί με τα φθαρμένα.

- Τρίτη μέθοδος: **(Προβλεπτική/ Ανιχνευτική συντήρηση ή Predictive Maintenance)**

Αποτελεί τη μετάβαση από τη συντήρηση που βασίζεται στα χρονικά διαστήματα (**TIME-BASED**) προς τη συντήρηση που βασίζεται στην κατάσταση των μηχανημάτων (**CONDITION-BASED**).

Κατά την μέθοδο αυτή γίνεται παρακολούθηση κάθε μηχανής ξεχωριστά όπως κάνει ο γιατρός με τους ασθενείς του. Κάνοντας μετρήσεις κατά την διάρκεια λειτουργίας ανά χρονικά διαστήματα, προσδιορίζουμε πλήρως την λειτουργική κατάσταση των μηχανών που μας εξασφαλίζει σωστή εκτίμηση χρόνου συντήρησης ή αντικατάστασης εξαρτημάτων εγκαίρως όταν απαιτείται πριν την ολική καταστροφή τους.

Έτσι βοηθάμε στη μείωση ζημιών όπου λύνεται μια μηχανή μόνο σε περίπτωση διαπίστωσης βλάβης και λόγω σωστής εκτίμησης χρόνου συντήρησης μας επιτρέπει να παραγγείλουμε τα ανταλλακτικά στην ώρα τους, κερδίζοντας περισσότερο χρόνο και δίνοντας στους τεχνικούς το πλεονέκτημα πραγματοποίησης άλλων επισκευών κατά το σταμάτημα της μηχανής.

- Τέταρτη μέθοδος: (Συντήρηση Ακριβείας ή Precision Maintenance)

Όπως είδαμε στην Προβλεπτική συντήρηση, κατά την λειτουργία μπορεί να διαπιστώσουμε βλάβη σε κάποιο μέρος της μηχανής όπου παραγγέλνουμε ανταλλακτικά για να το αντικαταστήσουμε, αλλά δεν μαθαίνουμε ποτέ για την ακριβή αίτια της βλάβης που προκάλεσε την δυσλειτουργία αυτή. Γνωρίζοντας όμως την αιτία του προβλήματος θα μπορέσουμε να την αφαιρέσουμε από την ρίζα της για να μην ξαναεμφανιστεί, έτσι αυξάνουμε την διάρκεια ζωής του εξαρτήματος και ελαττώνουμε τις πιθανότητες αστοχίας του. Ο καθορισμός αυτής της αιτίας χρειάζεται μια μελέτη κατά την οποία οι εξειδικευμένοι τεχνικοί κάνουν μια έρευνα στα αρχεία της μηχανής και των ανταλλακτικών της με βάση την μηχανική, την τριβολογία και τις μετρήσεις ακριβείας με σωστή χρήση οργάνων και συσκευών. Αξίζει να αναφέρουμε πως για κάθε μηχανή θα πρέπει να κρατήσουμε ένα αρχείο μαζί με το βιβλιάριο της που καταγράφει αναλυτικά τα στοιχεία αγοράς, εγκατάστασης, συντήρησης και στοιχεία αγοράς και τοποθέτησης όλων των ανταλλακτικών. Παρουσιάζουμε στον (πίνακα. 2) που ακολουθεί τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της συντήρησης ακριβείας.

<b>ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ</b>	<b>Πλεονεκτήματα</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αύξηση διάρκειας ζωής των μηχανών</li> <li>• Αύξηση αξιοπιστίας των μηχανών</li> <li>• Ελαχιστοποίηση αστοχιών και δευτεροβάθμιων ζημιών</li> <li>• Ελαχιστοποίηση απρόβλεπτων σταματημάτων των μηχανών</li> <li>• Ελαχιστοποίηση δαπανών συντήρησης</li> </ul>
	<b>Μειονεκτήματα</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αύξηση κόστους οργάνων, συσκευών και εξειδικευμένων προσωπικών</li> <li>• Αύξηση απαιτούμενου χρόνου για μελέτη και παρακολούθηση των μηχανών</li> </ul>

Πίνακας (2)



# Κεφάλαιο

# 3



### **3. Τεχνικές εφαρμογές συντήρησης**

Η σωστή συντήρηση απαιτεί χρήση διάφορων εργαλείων και οργάνων μέτρησης συνδυασμένων με τεχνικές εφαρμογές που φαίνονται παρακάτω:

#### **3.1 Οπτική επιθεώρηση**

Η οπτική επιθεώρηση των μηχανών υπήρξε ένα από τα βασικότερα και φθηνότερα εργαλεία των μηχανικών για τον προσδιορισμό της λειτουργικής κατάστασης τους. Μέχρι σήμερα η τακτική οπτική επιθεώρηση των μηχανών και όλων των συστημάτων γενικότερα, αποτελεί ένα βασικό στοιχείο οποιουδήποτε προγράμματος προβλεπτικής συντήρησης που σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να εντοπίσει πιθανά προβλήματα τα οποία δεν θα εντοπιζόντουσαν με εφαρμογή των άλλων μόνο τεχνικών που χρησιμοποιούνται κατά την προβλεπτική συντήρηση. Τα περισσότερα συστήματα προβλεπτικής συντήρησης που στηρίζονται στην ανάλυση των παλμών και των κραδασμών, εντάσσουν την οπτική επιθεώρηση σε διαδικασία ρουτίνας καταγράφοντας μάλιστα και τα αποτελέσματα της.

#### **3.2 Μέτρηση των κρουστικών παλμών (Shock Pulse Measurement)**

Με αυτήν την μέθοδο διερευνάμε την ύπαρξη ή μην του λιπαντικού στρώματος και την κατάσταση των επιφανειών των σωμάτων κύλισης και των διαδρόμων κίνησης των ρουλεμάν καθώς και άλλες αιτίες δημιουργίας κρουστικών φορτίων στα ρουλεμάν.

#### **3.3 Μέτρηση του επιπέδου των δονήσεων-κραδασμών (Vibration Monitoring)**

Η παρακολούθηση των κραδασμών, προσφέρει άμεση συσχέτιση με την κατάσταση των μηχανών. Με τη μέθοδο αυτή οποιαδήποτε φθορά ή τάση για φθορά (**μη ομαλή λειτουργία**) εντοπίζεται άμεσα με την χρήση των κραδασμών που δημιουργούνται από το μηχανολογικό εξοπλισμό προσδιορίζοντας την πραγματική κατάσταση του, αποφεύγοντας έτσι την ύπαρξη σοβαρών και ίσως ανεπανόρθωτων βλαβών.

### 3.4 Ανίχνευση βλαβών με Θερμογράφηση (Thermography)

Η μέθοδος αυτή στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό στην τεχνολογία των υπέρυθρων όπου όλα τα σώματα που έχουν θερμοκρασία πάνω από το απόλυτο μηδέν, εκπέμπουν ενέργεια ή ακτινοβολία. Η ανίχνευση περιοχών με υψηλότερη ή χαμηλότερη θερμοκρασία από τη προβλεπόμενη, οδηγούν στο συμπέρασμα για την ύπαρξη απώλειας ενεργείας λόγω αύξησης απωλειών άρα ύπαρξη κάποιου προβλήματος.

Η υπέρυθρη ακτινοβολία είναι μία μορφή της εκπεμπόμενης ενέργειας. Η ένταση της υπέρυθρης ακτινοβολίας ενός σώματος είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας της επιφανείας του. Υπάρχουν τρεις μορφές εκπεμπόμενης θερμικής ενέργειας από ένα σώμα που μπορούν να ανιχνευτούν:

- Η ενέργεια που εκπέμπεται από το ίδιο το σώμα,
- Η ενέργεια που ανακλάται από το σώμα και
- Η ενέργεια που μεταβιβάζεται από το σώμα.

Κατά τη μέτρηση της θερμοκρασίας με τη μέθοδο των υπέρυθρων, φιλτράρουμε τις δύο τελευταίες μορφές εκπεμπόμενης ενέργειας και μετράμε μόνο την πρώτη μορφή ενέργειας. Λαμβάνουμε υπόψη το υλικό από το οποίο αποτελείται το σώμα, την κατάσταση της επιφάνειας του σώματος και την κατάσταση της ατμόσφαιρας μεταξύ του σώματος και του οργάνου μέτρησης (Επίπεδο υγρασίας), που αποτελούν σημαντικό παράγοντα για επίτευξη σωστής μέτρησης θερμοκρασίας.

### 3.5 Τριβολογία (Tribology)

Η τριβολογία αναφέρεται στην τριβή που δημιουργείται κατά την λειτουργία περιστρεφόμενων τμημάτων των μηχανών καθώς στον τρόπο λίπανσης τους ώστε να περιοριστούν οι φθορές λόγω τριβής.

Στην προβλεπτική συντήρηση χρησιμοποιούνται οι τεχνικές που ακολουθούν:

- Ανάλυση των μέσων λίπανσης (γράσα, λάδια)

Με την τεχνική αυτή, είμαστε σε θέση να προβλέψουμε πιθανή μελλοντική βλάβη η οποία θα οφείλεται στο ότι τα μέσα λίπανσης έχουν χάσει πλέον τις λιπαντικές τους ιδιότητες (Υπάρχουν διαφορετικά τεστ, με τα οποία προσδιορίζουμε την κατάσταση των ελαίων που θα αναφέρονται στο κεφάλαιο της λίπανσης).

- Φασματογραφική ανάλυση

Η Φασματογραφική ανάλυση μας επιτρέπει να εντοπίσουμε τα διάφορα συστατικά που υπάρχουν στα λιπαντικά έλαια, προσδιορίζοντας με αυτόν τον τρόπο εάν το λιπαντικό ανταποκρίνεται πλέον στην επιθυμητή σωστή λειτουργία. Βασιζόμενοι στα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης δρούμε αναλόγως, αντικαθιστώντας το λιπαντικό όπου χρειάζεται, ή αναβαθμίζοντας το. Για τον εντοπισμό της αιτίας που επέφερε την αλλοίωση στο λιπαντικό θα πρέπει να χρησιμοποιείται η Φασματογραφική ανάλυση σε συνδυασμό με άλλες τεχνικές για την εξαγωγή συγκεκριμένων συμπερασμάτων.

- Φερρογράφηση (Σιδηρογράφηση)

Η Φερρογράφηση μοιάζει πολύ με τη Φασματογραφική ανάλυση με διαφορά ότι η Φερρογράφηση διαχωρίζει τα σωματίδια που προκαλούν «μόλυνση» στο λιπαντικό χρησιμοποιώντας μαγνητικό πεδίο αντί για καύση δείγματος του λιπαντικού, όπως συμβαίνει στη Φασματογραφική ανάλυση. Έτσι η Φερρογράφηση επικεντρώνεται στον εντοπισμό της ύπαρξης μεταλλικών ή μαγνητικών σωματιδίων στο λιπαντικό. Μία άλλη διαφορά έγκειται στο ότι, μας παρέχει τη δυνατότητα εντοπισμού σωματιδίων στο λιπαντικό διαστάσεων από 10 μέχρι 100  $\mu\text{m}$ , οπότε και έχουμε με αυτόν τον τρόπο, μία σφαιρικότερη εικόνα της ολικής «μόλυνσης» στο λιπαντικό.

- Ανάλυση των σωματιδίων που προκαλούν τη φθορά.

Μέχρι προσφάτως οι διάφορες μέθοδοι ανάλυσης του λιπαντικού στον τομέα της τριβολογίας γινόντουσαν με παραδοσιακές εργαστηριακές μεθόδους από εξειδικευμένο προσωπικό και ήταν εξαιρετικά χρονοβόρες και ακριβές διαδικασίες. Η σύγχρονη



πρακτική όμως αυτών των μεθόδων, βασίζεται σε συστήματα μικροεπεξεργαστών τα οποία αυτοματοποίησαν αυτές τις διαδικασίες με αποτέλεσμα να γίνουν ταχύτερες και λιγότερο ακριβές.

Κάνοντας ανάλυση των σωματιδίων που προκαλούν φθορά και με βάση την σύνθεση, το μέγεθος και την ποσότητα τους μας παρέχονται σημαντικές πληροφορίες για την κατάσταση στερεών σωματιδίων στο λιπαντικό της τα οποία θα έχουν μέγεθος μικρότερο των 10 μm. Όσο αυξάνεται η ποσότητα και το μέγεθος αυτών των σωματιδίων εντός του λιπαντικού τόσο η κατάσταση της μηχανής επιδεινώνεται. Μια άλλη μέθοδος της τεχνικής αυτής ασχολείται με τον προσδιορισμό του υλικού αυτών των σωματιδίων που ενυπάρχουν στο δείγμα του λιπαντικού.

### **3.6 Παρακολούθηση παραμέτρων Αποδοτικότητας**

Η αποδοτικότητα μιας μηχανής εξαρτάται από το επίπεδο αποδοτικότητας που έχει σχεδιαστεί από τον κατασκευαστή της και από τις συνθήκες λειτουργίας που καταγράφονται αναλυτικά στο βιβλιάριο κάθε μηχανής που πρέπει να τηρούνται αυστηρά. Ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα συντήρησης θα πρέπει να περιλαμβάνει και τη συστηματική παρακολούθηση των παραμέτρων αυτών, σε μηχανές οι οποίες είναι πρωταρχικής σημασίας για τη λειτουργία μίας εγκατάστασης. Παρατηρώντας τον βαθμό απόδοσης μιας μηχανής και συγκρίνοντας τον με προηγούμενες μετρήσεις μας βοηθάει να καταλάβουμε σε πιο επίπεδο αποδοτικότητας δουλεύει η μηχανή (ικανοποιητικό ή όχι). Σε περίπτωση που ο βαθμός απόδοσης είναι πολύ χαμηλότερο σε σχέση με προηγούμενες μετρήσεις, τότε καταλαβαίνουμε πως υπάρχει μία δυσλειτουργία στη μηχανή που θα πρέπει να επισκευαστεί αμέσως. (Σ' αυτή την περίπτωση υπάρχει ζημιά στην εγκατάσταση που αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου, αλλά υπάρχει και ζημιά στην παραγωγικότητα της εταιρίας που περιορίζεται λόγω λειτουργίας με χαμηλό βαθμό απόδοσης).

Είναι ολοφάνερο πως η προβλεπτική συντήρηση και η συντήρηση ακρίβειας είναι αποτελεσματικότερες από τις προηγούμενες μεθόδους όμως έχουν υψηλό κόστος εφαρμογής.

**(Η συντήρηση δεν μπορεί να αντισταθμίσει την κακή σχεδίαση ή και την χαμηλή ποιότητα υλικών).**

# Κεφάλαιο

**4**



## **4. Χαρακτηριστικά και παράμετροι μέτρησης ταλαντώσεων-κραδασμών**

### **4.1. Μηχανικές ταλαντώσεις/δονήσεις**

Κατά την λειτουργία μίας μηχανής αναπτύσσονται ταλαντώσεις/δονήσεις από τα περιστρεφόμενα μέρη της. Τα μεταλλικά εξαρτήματα της μηχανής μεταφέρουν τις ταλαντώσεις αυτές στα εξωτερικά σημεία της (φωλιές εδράνων, κέλυφος της μηχανής). Αυτά τα μεταλλικά μέρη των μηχανών μπορεί να είναι περιστρεφόμενα ή να κινούνται παλινδρομικά ή από αέρα ή από λιπαντικά υπό πίεση που υπάρχουν στο εσωτερικό της μηχανής.

Η μέτρηση ταλαντώσεων/δονήσεων είναι η πιο αξιόλογη και αποτελεσματική μέθοδος για την διάγνωση βλαβών σε μια μηχανή. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων θα μας αποκαλύψουν τους παράγοντες που δημιουργούν τις βλάβες και την φθορά των εξαρτημάτων (ραγίσματα εξαρτημάτων, κάμψη αξόνων, κακή ζυγοστάθμιση). Ακόμα θα μας δώσει την δυνατότητα πρόβλεψης της διάρκειας ζωής των εξαρτημάτων καθορίζοντας μ' αυτόν τον τρόπο τον χρόνο που πρέπει να αντικαταστήσουμε το φθαρμένο εξάρτημα με καινούργιο.

### **4.2. Βασικές αρχές**

Γενικά οι ταλαντώσεις/δονήσεις μιας μηχανής μπορεί να είναι περιοδικές, απεριοδικές και στοχαστικής μορφής.

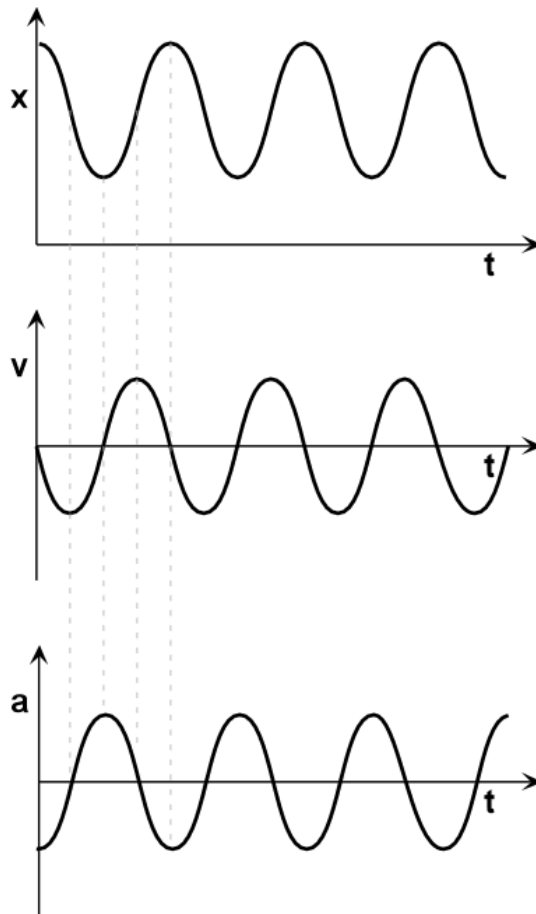
- Περιοδικές ταλαντώσεις/δονήσεις

Οι περιοδικές ταλαντώσεις είναι ταλαντωτικές κινήσεις ενός σώματος σχετικά με μία θέση αναφοράς και οι οποίες επαναλαμβάνονται συνεχώς συναρτήσει του χρόνου και είναι ίδιες μετά από κάθε χρονική περίοδο.

Η περίοδος  $T$  είναι το χρονικό διάστημα επανάληψης και η συχνότητα επανάληψης είναι  $f = 1/T$  μετράται σε Hertz (Hz) ή Revolution per minute (RPM). Η μετατροπή μονάδων RPM σε Hz γίνεται διαιρώντας τον αριθμό RPM/60.

- Αρμονική ταλάντωση

Η πιο απλή και βασική μορφή περιοδικής ταλάντωσης είναι η ονομαζόμενη αρμονική κίνηση, που παριστάνεται στο (σχήμα. 2) ως ημιτονοειδή καμπύλη συνάρτηση του χρόνου και μπορεί να δημιουργηθεί λόγω κακής ζυγοστάθμισης μιας ατράκτου.



Σχήμα (2)

Η ημιτονοειδή καμπύλη χαρακτηρίζεται από τις παραμέτρους: πλάτος, συχνότητα και γωνία φάσης.

- Πλάτος : Το πλάτος χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της μέγιστης τιμής της ταλάντωσης της μηχανής.
- Συχνότητα : Στις περιστρεφόμενες μηχανές είναι πολύ σημαντικό και εκφράζει την συχνότητα επανάληψης σε Hz.
- Γωνία φάσης : Εκφράζει το σημείο έναρξης μέτρησης στο χρόνο  $t=0$ . Είναι σημαντική παράμετρος για την διάγνωση αιτιών που προκαλούν ταλάντωση και για την ζυγοστάθμιση της μηχανής.

Εάν για παράδειγμα η ταλάντωση έχει την μορφή μιας ευθύγραμμης μετατόπισης κατά τον άξονα (χ), η στιγμιαία μετατόπιση (Displacement) του σώματος ως προς την θέση αναφοράς παρουσιάζεται ως

$$\chi = X_{PEAK} \cdot \sin(2\pi \cdot 1/T) = X_{PEAK} \cdot \sin(2\pi f\tau) = X_{PEAK} \cdot \sin(\omega \tau)$$

Όπου  $\omega = 2\pi f$  είναι η γωνιακή ταχύτητα,  $X_{PEAK}$  είναι η μέγιστη μετατόπιση από την θέση αναφοράς και  $\tau$  είναι ο χρόνος.

Η ταχύτητα (Velocity) του κινούμενου σώματος είναι η χρονική μεταβολή της μετατόπισης και προηγείται της μετατόπισης με διάφορα φάσης  $90^0$  ή  $\pi/2$  και δίνεται παρακάτω

$$v = dx/d\tau = \omega X_{PEAK} \cos(\omega\tau) = V_{PEAK} \cos(\omega\tau) = V_{PEAK} \sin(\omega\tau + \frac{\pi}{2})$$

Η επιτάχυνση (Acceleration) είναι η χρονική μεταβολή της ταχύτητας και δίνεται από την εξίσωση

$$a = dv/d\tau = d^2\chi/d\tau^2 = -\omega^2 X_{PEAK} \sin(\omega\tau) = -A_{PEAK} \sin(\omega\tau) = A_{PEAK} \sin(\omega\tau + \pi)$$

Η μετατροπή των μονάδων μετατόπισης, ταχύτητας και επιτάχυνσης φαίνεται στον πίνακα (3).

Μετατροπή	Μετατόπιση	Ταχύτητα	Επιτάχυνση
Μετατόπιση =	1	v/ω	a/ω <sup>2</sup>
Ταχύτητα =	X · ω	1	a/ω
Επιτάχυνση =	X · ω <sup>2</sup>	v · ω	1

Πίνακας (3)

Στην περιγραφή των ταλαντώσεων υπάρχουν ακόμα δύο ποσότητες που είναι η απόλυτη μέση τιμή  $X_{|AVERAGE|}$  που είναι ίση με

$$X_{|AVERAGE|} = \frac{1}{T} \int_0^T |x| dt$$

και η μέση τετραγωνική τιμή RMS  $X_{RMS}$  που δίνεται από τον τύπο:

$$X_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt}$$

Για μια πλήρως αρμονική κίνηση ισχύει:

$$X_{RMS} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} X_{|AVERAGE|} = \frac{1}{\sqrt{2}} X_{PEAK}$$

Προσδιορίζοντας την μέγιστη τιμή, την απόλυτη μέση τιμή και την RMS λαμβάνουμε πολλά χρήσιμα συμπεράσματα για το επίπεδο κραδασμών μιας μηχανής που μετράμε.

#### **4.3. Μέτρηση της συχνότητας των κινούμενων εξαρτημάτων των μηχανών και του επιπέδου των κραδασμών**

Για την εφαρμογή της μεθόδου διάγνωσης βλαβών των μηχανών με μέτρηση και ανάλυση των κραδασμών σε μία μηχανή, μελετάμε την κινηματική και την γεωμετρία των μηχανών μετάδοσης κίνησης ώστε να υπολογίσουμε τις συχνότητες των διάφορων κινούμενων μερών της μηχανής. Για παράδειγμα, η συχνότητα ενός οδοντωτού τροχού είναι ίση με το γινόμενο της συχνότητας περιστροφής της ατράκτου στην οποία συνδέεται ο οδοντωτός τροχός επί τον αριθμό των οδόντων του τροχού.

Λόγω της επίδρασης εσωτερικών και εξωτερικών δυνάμεων δημιουργούνται κραδασμοί σε μία μηχανή. Ακόμα κάθε τύπος προβλήματος ή ελαττώματος δημιουργεί κραδασμούς με το δικό του μοναδικό τρόπο. Το επίπεδο των κραδασμών χρησιμοποιείται ως ένδειξη κατάστασης της μηχανής. Οπότε αναλύοντας τον τύπο των κραδασμών μπορούμε να προσδιορίσουμε με μεγάλη ακρίβεια την αιτία του προβλήματος και να προβούμε στις κατάλληλες ενέργειες για την λύση του προβλήματος. Για την ανάλυση του επιπέδου των κραδασμών εστιάζουμε σε δύο συνιστώσες του σήματος:

- Συχνότητα: ορίζεται ο αριθμός των επαναλήψεων ενός γεγονότος σε μία χρονική περίοδο. Ο κραδασμός που εμφανίζεται σε μία καθορισμένη συχνότητα υποδηλώνει τον τύπο του σφάλματος και την αιτία που μπορεί να το προκάλεσε.
- Πλάτος: Καθορίζει το μέγεθος και την σοβαρότητα του προβλήματος. Όσο μεγαλύτερο το πλάτος, τόσο μεγαλύτερος ο κραδασμός επομένως τόσο σοβαρότερο το πρόβλημα στην μηχανή.

Είναι φανερό πως για την επίλυση του προβλήματος σε μία μηχανή, θα πρέπει πρώτα να εντοπίσουμε την γενεσιουργό αιτία της βλάβης και να την επιδιορθώσουμε. Η αντικατάσταση ενός ρουλεμάν που αστόχησε λόγω υψηλού επιπέδου κραδασμών, μπορεί να λύσει το πρόβλημα σε μία μηχανή, όμως μ' αυτόν τον τρόπο θα έχουμε απλά εφαρμόσει πρόγραμμα αντικατάστασης του φθαρμένου ρουλεμάν που θα χαλάσει πάλι σε μικρό χρονικό διάστημα. Η φθορά του ρουλεμάν προέρχεται από την ύπαρξη άλλου προβλήματος στην μηχανή (π.χ κακή ευθυγράμμιση αξόνων), που πρέπει να διορθωθεί γρήγορα πριν μας δημιουργήσει και άλλες βλάβες.

Η παρακολούθηση εν ώρα λειτουργίας αποτελεί το πιο καυτό θέμα στον χώρο της συντήρησης, καθώς νέες τεχνολογίες εφαρμόζονται και δημιουργούν λύσεις, ταυτόχρονα όμως απαιτείται υψηλή τεχνογνωσία. Το μεγάλο πλεονέκτημα της παρακολούθησης της κατάστασης των μηχανών με την βοήθεια των κραδασμών και των κρουστικών παλμών φαίνεται γραφικά από την **SKF** (σχ. 3).



Σχήμα (3)

#### 4.4. Το επίπεδο των κραδασμών

Σε κάθε περιστρεφόμενη μηχανή, ένα μέρος των δυνάμεων που δημιουργούν την λειτουργία της δρουν στην ίδια την μηχανή. Από την στιγμή που καμία μηχανή δεν είναι τελείως άκαμπτη τότε κάθε δύναμη που δρα θα προκαλεί κραδασμούς. Οι μηχανές έχουν σχεδιαστεί με ένα τρόπο έτσι ώστε να λειτουργήσουν σε ένα κανονικό επίπεδο κραδασμών για ένα αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα. Για να εκτιμήσουμε την κατάσταση για οποιοδήποτε εξάρτημα ή μέρος της μηχανής, πρέπει να ορίσουμε το κανονικό επίπεδο κραδασμών και στην συνέχεια να μετρήσουμε το παρόν επίπεδο για να γίνει σύγκριση.

Η κάθε μηχανή έχει διαφορετική δομή άρα και διαφορετικό κανονικό επίπεδο κραδασμών.

Λόγω αλλαγών στην κατάσταση λειτουργίας μίας μηχανής, το επίπεδο των κραδασμών μπορεί να αλλάξει απότομα. Μην έχοντας υπόψη μικρές βλάβες σε ρουλεμάν ή ιμάντα τείνουν να κάνουν την μηχανή λιγότερο άκαμπτη και το επίπεδο των κρουστικών παλμών θα αυξηθεί.



#### 4.4. Επιλογή των σημείων μέτρησης

Πριν την μέτρηση θα πρέπει σε κάθε περίπτωση να επιλέγουμε την καλύτερη δυνατή θέση στη μηχανή για να κάνουμε τις μετρήσεις μας. Για να γίνει αυτό, πρέπει να αποφεύγουμε:

- Επιφάνειες καλυμμένες με μπογιά.
- περιοχές στις οποίες τα έδρανα δεν φορτίζονται
- τα χωρίσματα των καλυμμάτων και τα διάκενα της κατασκευής.

Κατά τη μέτρηση με χειροκίνητο αισθητήριο όργανο, είναι πρωταρχικής σημασίας να λαμβάνουμε αξιόπιστες και συνεπείς μετρήσεις. Δηλαδή, θα πρέπει να προσέχουμε ιδιαίτερα τη θέση του οργάνου πάνω στη μηχανή, τη γωνία του οργάνου ως προς την επιφάνεια και την πίεση με την οποία εφαρμόζουμε το όργανο πάνω στη μηχανή. Θα πρέπει να διαλέξουμε τα σημεία μέτρησης όσο το δυνατόν πιο κοντά στα ρουλεμάν (ειδικά όταν πραγματοποιούμε μετρήσεις με τις μεθόδους Enveloping και SEE, οπότε και θα πρέπει να είμαστε όσο το δυνατόν πιο κοντά στη ζώνη φόρτισης τους) και να αποφεύγουμε τις μετρήσεις πάνω στο εξωτερικό κάλυμμα μιας μηχανής γιατί μπορεί να έχουμε παραπλανητικές ενδείξεις λόγω χαλαρότητας ή συντονισμού του καλύμματος. Αν είναι δυνατό, επιλέγουμε μία επίπεδη επιφάνεια όπου τοποθετούμε τον ακροδέκτη του οργάνου στο σημείο μέτρησης.

Για να είναι αξιόπιστες και σωστές οι μετέπειτα συγκρίσεις των ενδείξεων, θα πρέπει αυτές να πραγματοποιούνται στο ίδιο ακριβώς σημείο, γιατί ακόμα και μερικά εκατοστά μακρύτερα από το σημείο αναφοράς για τις μετρήσεις, θα μπορούσε να μας δώσει εντελώς διαφορετικές ενδείξεις. Γι αυτόν τον λόγο, μαρκάρουμε τη θέση αυτή δίνοντας της αριθμό για να σημειώσουμε με ευκρίνεια την θέση αυτή για μελλοντική σύγκριση, π.χ με ανεξίτηλο μελάνι ή για μεγαλύτερη ασφάλεια μπορούμε να τοποθετήσουμε μαγνητικές βάσεις.

Οι μετρήσεις θα πρέπει να γίνονται σε φυσιολογικές συνθήκες. Για παράδειγμα, όταν τα ρουλεμάν δουλεύουν σε σταθερές και φυσιολογικές θερμοκρασίες και η μηχανή λειτουργεί εντός των φυσιολογικών ορίων σε ότι αφορά τις στροφές, την θερμοκρασία την πίεση και το φορτίο, είναι η κατάλληλη στιγμή να πραγματοποιήσουμε τις μετρήσεις μας. Σε μηχανές με μεταβαλλόμενες στροφές και φορτίο, θα πρέπει να λαμβάνουμε

μετρήσεις στα ακραία όρια λειτουργίας τους, καθώς και σε επιλεγμένες στιγμές εντός αυτών των ορίων.

Οι κραδασμοί θα μετρηθούν κατά τρεις κατευθύνσεις (σχ. 4):

#### 1. Κατά την αξονική κατεύθυνση (A)

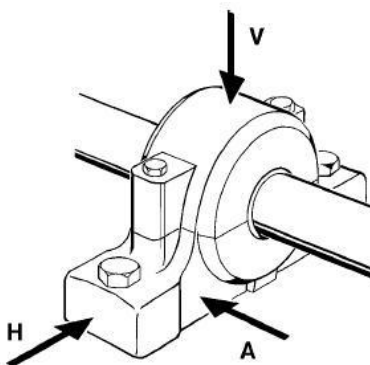
Κάτω από ιδανικές συνθήκες, οι μετρήσεις κατά την αξονική κατεύθυνση, παρουσιάζουν χαμηλά επίπεδα κραδασμών, καθώς οι περισσότερες δυνάμεις εμφανίζονται κάθετα στον άξονα. Η μέτρηση κατά την κατεύθυνση αυτή αποτελεί καλή ένδειξη κακής ευθυγράμμισης ή κάμψης αξόνων.

#### 2. Κατά την οριζόντια κατεύθυνση (H)

Οι μετρήσεις κατά την κατεύθυνση αυτή φανερώνουν τους περισσότερους κραδασμούς, οι οποίοι οφείλονται στην ευκαμψία της μηχανής στο οριζόντιο επίπεδο. Επίσης φανερώνουν την ύπαρξη αζυγοσταθμίας η οποία δημιουργεί ακτινικούς κραδασμούς, κατά το οριζόντιο και κατά το κατακόρυφο επίπεδο. Επειδή συνήθως οι μηχανές μπορούν να κινηθούν πιο ελεύθερα κατά το οριζόντιο επίπεδο, ενδείξεις αυξημένων κραδασμών κατά το επίπεδο αυτό, συχνά αποτελούν ασφαλείς ενδείξεις για την ύπαρξη αζυγοσταθμίας.

#### 3. Κατά την κατακόρυφη κατεύθυνση (V)

Οι μετρήσεις σε αυτήν την κατεύθυνση παρουσιάζουν συνήθως χαμηλότερα επίπεδα κραδασμών από ότι στην οριζόντια διεύθυνση, λόγω της δυσκαμψίας που οφείλεται στο πλαίσιο στήριξης της μηχανής και στη βαρύτητα.



Σχήμα (4)

Αυτές οι διευκρινίσεις αναφέρονται σε «τυπικές» μηχανές. Αυτό σημαίνει ότι μηχανές οι οποίες εδράζονται κάπως διαφορετικά από τον συνηθισμένο τρόπο, είναι πολύ πιθανό να έχουν αποκρίσεις διαφορετικές από αυτές που αναφέραμε παραπάνω.

Συνοψίζοντας γίνεται φανερό ότι επειδή γνωρίζουμε τις αιτίες που προκαλούν τους κραδασμούς σε κάθε κατεύθυνση, λαμβάνοντας μετρήσεις και κατά τις τρεις αυτές κατευθύνσεις, έχουμε μία πολύ καλή εικόνα για το τι ακριβώς προβλήματα υπάρχουν στη μηχανή.

Όσον αφορά τη γωνία με την οποία πρέπει να γίνονται οι μετρήσεις, ο άξονας του οργάνου μέτρησης (αισθητήρας) πρέπει να είναι πάντα κάθετος (σχ. 5) στην επιφάνεια μέτρησης ( $90^\circ \pm 10^\circ$ ).



Σχήμα (5)

Τέλος, η πίεση με την οποία πρέπει να τοποθετούμε το όργανο επί της μηχανής για να λάβουμε τη μέτρηση, θα πρέπει να είναι σταθερή και όχι υπερβολική, ενώ συνήθως το όργανο μέτρησης έχει ένδειξη μέγιστης πίεσης.

## **4.5. Μέθοδοι Παρακολούθησης των μετρήσεων των κραδασμών**

### **4.5.1. Παρακολούθηση του ολικού επιπέδου κραδασμών (Overall Vibration)**

Με τη μέθοδο αυτή, μετράται η ολική ενέργεια των κραδασμών εντός ενός πεδίου συχνοτήτων. Με τη μέτρηση της ενέργειας αυτής σε μία μηχανή ή ένα εξάρτημα αυτής και μετά από σύγκριση με την τιμή που αντιστοιχεί σε φυσιολογική κατάσταση, έχουμε μία ένδειξη για την τρέχουσα κατάσταση της μηχανής. Τιμή μεγαλύτερη από τα φυσιολογικά όρια, υποδηλώνει ότι κάποιο εξάρτημα της μηχανής εμφανίζει κάποιο σφάλμα, το οποίο προκαλεί κραδασμούς πέραν του φυσιολογικού.

Οι κραδασμοί αποτελούν την καλύτερη λειτουργική παράμετρο βάσει της οποίας μπορούμε να κρίνουμε δυναμικές καταστάσεις χαμηλών συχνοτήτων, όπως για παράδειγμα: κακή ευθυγράμμιση, χαλαρότητα, συντονισμό της κατασκευής, «μαλακή» έδραση, κάμψη του άξονα, υπερβολική φθορά ρουλεμάν κλπ.

Πιθανότατα, η πιο αποδοτική και αξιόπιστη μέθοδος για την εκτίμηση της σοβαρότητας των κραδασμών, είναι η απευθείας σύγκριση των πρόσφατων μετρήσεων με παλαιότερες, οι οποίες όμως να έχουν το ίδιο σημείο αναφοράς σχετικά με την θέση και τις συνθήκες λειτουργίας της μηχανής. Η σύγκριση αυτή θα μας δώσει την τάση μεταβολής αυτών των μετρήσεων με την πάροδο του χρόνου.

Οι παλαιότερες χρονικά τιμές, θα πρέπει να περιλαμβάνουν και τιμές οι οποίες να αντιπροσωπεύουν την «καλή» λειτουργική κατάσταση της μηχανής και οι οποίες θα αποτελούν τη γραμμή αναφοράς για την κατάσταση της μηχανής. Για να δημιουργήσουμε αυτή τη βάση σύγκρισης για τη μηχανή, θα πρέπει να πάρουμε μετρήσεις μετά από επισκευή ή όταν άλλες ενδείξεις μας πιστοποιούν την καλή λειτουργική κατάσταση της μηχανής. Οι μετέπειτα μετρήσεις, συγκρίνονται με τη γραμμή αναφοράς.

Η μέθοδος αυτή, της σύγκρισης των τωρινών ενδείξεων της μηχανής με παλαιότερες είναι η προτιμότερη μέθοδος για τον εντοπισμό τυχόν βλαβών, και αυτό γιατί κάθε μηχανή λειτουργεί με το δικό της μοναδικό τρόπο.

Για παράδειγμα, κάποιες ενδείξεις κραδασμών μπορεί να υποδηλώνουν την ύπαρξη κάποιου προβλήματος σε κάποιες μηχανές, ενώ σε κάποιες άλλες, να θεωρούνται εντός των φυσιολογικών ορίων τους. Το να ελέγχουμε απλώς τις τωρινές μετρήσεις χωρίς να τις συγκρίνουμε με τις φυσιολογικές για τη συγκεκριμένη μηχανή, μπορεί να μας

οδηγήσει σε λανθασμένα συμπεράσματα (θεωρώντας για παράδειγμα ότι κάποιο εξάρτημα παρουσιάζει πρόβλημα αφού παρατηρούμε αυξημένο επίπεδο κραδασμών στη συχνότητα που αναφέρεται σε αυτό, ενώ στην πραγματικότητα αυτή η ένδειξη είναι εντός των φυσιολογικών ορίων για τη συγκεκριμένη μηχανή).

- Πεδίο συχνοτήτων

Το πεδίο συχνοτήτων στο οποίο γίνονται οι μετρήσεις αυτής της μεθόδου καθορίζεται από τον διαθέσιμο εξοπλισμό. Μερικά όργανα συλλογής δεδομένων έχουν καθορισμένο εκ των προτέρων το πεδίο συχνοτήτων, εντός του οποίου μπορούν να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις. Κάποιοι άλλοι, επιτρέπουν στο χρήστη να ορίσει αυτός το πεδίο συχνοτήτων στο οποίο θέλει να πραγματοποιήσει τις μετρήσεις. Υπάρχει μία διαμάχη όσον αφορά το καταλληλότερο πεδίο συχνοτήτων, στο οποίο θα πρέπει να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις, παρόλο που ο **ISO**, έχει καθορίσει ποιο θα πρέπει να είναι (**ISO 10816**).

Γι' αυτόν τον λόγο, όταν συγκρίνουμε τιμές που έχουν μετρηθεί με κάποια προαναφερθείσα μέθοδο, θα πρέπει να είμαστε σίγουροι ότι αναφέρονται στο ίδιο πεδίο συχνοτήτων γιατί διαφορετικά δεν είναι άμεσα συγκρίσιμες.

Τα περισσότερα όργανα μετρούν την αξία RMS (μέση τετραγωνική τιμή).

Έρευνες έδειξαν ότι το επίπεδο ταχυτήτων των δονήσεων **RMS**, που μετριέται σε φάσμα συχνότητας 3 έως 1000 Hz, είναι το πιο χρήσιμο για την γενική αξιολόγηση της κατάστασης των μηχανών. Ο τεχνικός όρος που χρησιμοποιείται είναι σοβαρότητα των δονήσεων (**Vibration Severity**), που ορίζεται ως ανωτέρω και που επιδεικνύεται σε mm/s (ή in/s) στο όργανο. Η σοβαρότητα των δονήσεων συσχετίζεται άμεσα με το ενεργειακό επίπεδο δόνησης μηχανών, και αποτελεί έναν καλό δείκτη των καταστρεπτικών δυνάμεων που ενεργούν στη μηχανή.

Μία καλή πρακτική, αποτελεί η σύγκριση των μετρήσεων που λαμβάνουμε με τα πρότυπα του οργανισμού **ISO**, αλλά μόνο μέχρι να δημιουργήσουμε τη δική μας βάση δεδομένων για να κάνουμε με αυτόν τον τρόπο ασφαλέστερες εκτιμήσεις. Τυπικό παράδειγμα τέτοιων προτύπων αποτελεί το **ISO 2372 (10816)**, το οποίο προβλέπει την ταξινόμηση των μηχανών σε 6 κατηγορίες, ανάλογα με την ισχύ τους (σχ. 6), τη μορφή των στρεφομένων

μερών τους, τον τρόπο έδρασης τους και τον τρόπο σύνδεσης τους με τα υπόλοιπα μηχανήματα από τα οποία παραλαμβάνουν και/ή μεταβιβάζουν ισχύ.

Limits	Class I	Class II	Class III	Class IV	Class V	Class VI	mm/s RMS
71	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	100
45	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	50
28	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	20
18	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	10
11	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	5
7,1	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	2
4,5	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	1
2,8	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	0,5
1,8	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	
1,1	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	
0,7	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	
0,5	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	
0,3	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	

↑ 1 step

Σχήμα (6)

Επειδή, κάθε μηχανή κατασκευάζεται με διαφορετικό τρόπο, εδράζεται ανάλογα με την περίπτωση, λειτουργεί κάτω από διαφορετικές συνθήκες και συντηρείται διαφορετικά, είναι εντελώς ανεδαφικό να κρίνουμε τη λειτουργική της κατάσταση βασιζόμενοι στα πρότυπα ISO ή σε άλλους γενικούς κανόνες.

Μόνο μέσω της σύγκρισης των πρόσφατων μετρήσεων με παλαιότερες της ίδιας μηχανής είμαστε σε θέση να εξάγουμε σωστά συμπεράσματα για την κατάσταση της.

- Παράγοντες κλίμακας

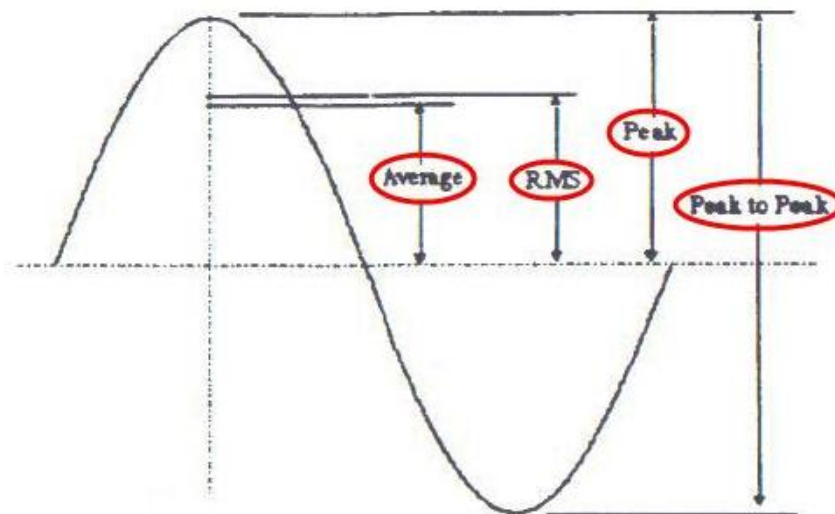
Όταν συγκρίνουμε μετρήσεις με την ίδια μέθοδο, θα πρέπει να είμαστε σίγουροι ότι οι παράγοντες της κλίμακας μετρήσεων ταιριάζουν.

Οι χρησιμοποιούμενοι παράγοντες είναι: ο παράγων κορυφής (**PEAK**), ο παράγων από κορυφή σε κορυφή (**PEAK to PEAK**), ο παράγων του μέσου όρου (**Average**) και ο παράγων **RMS** (σχ. 7).

Η τιμή του παράγοντα που ονομάζεται κορυφή (**PEAK**), αντιπροσωπεύει την απόσταση της κορυφής της κυματομορφής από την μηδενική θέση αναφοράς.

Η τιμή του παράγοντα που ονομάζεται από κορυφή σε κορυφή (**PEAK to PEAK**) αντιπροσωπεύει το πλάτος της κυματομορφής και μετράται από την άνω κορυφή μέχρι την κάτω κορυφή της καμπύλης.

Η τιμή του παράγοντα του μέσου όρου (**Average**) εκφράζει το μέσο όρο του πλάτους της κυματομορφής.



Σχήμα (7)

Για ευκολία δίνουμε στο **PEAK** την τιμή 1.

- $PEAK = 1.0$
- $RMS = 0.707 \times PEAK$
- $AVERAGE = 0.637 \times PEAK$
- $PEAK\ TO\ PEAK = 2 \times PEAK$ .

Σε αυτό το σημείο αξίζει να τονίσουμε ότι για να έχουν νόημα οι συγκρίσεις των σημάτων που λαμβάνουμε, θα πρέπει αυτά να αναφέρονται στο ίδιο εύρος συχνοτήτων και στους ίδιους παράγοντες κλίμακας.

Τέλος, καταλήγουμε ότι υπάρχουν τρία μετρήσιμα χαρακτηριστικά για τους κραδασμούς:

- 1) Η μετατόπιση
- 2) Η ταχύτητα και
- 3) Η επιτάχυνση.

Παρόλο που τα τρία αυτά μεγέθη συνδέονται με μαθηματικές σχέσεις, είναι τρεις ξεχωριστές ποσότητες.

Είναι πολύ βασικό για τις μετρήσεις των κραδασμών να επιλέξουμε το πεδίο συχνοτήτων που θα μετρήσουμε και το κατάλληλο αισθητήριο όργανο προσπαθώντας με αυτόν τον τρόπο να επιτύχουμε τις κατάλληλες μετρήσεις που θα μας αποκαλύψουν τα χαρακτηριστικά ύπαρξης σφαλμάτων εντός της μηχανής.

#### **4.5.1.1. Αισθητήρια όργανα για μέτρηση των κραδασμών**

Οι σύγχρονοι αισθητήρες μέτρησης κραδασμών μετατρέπουν το αποτέλεσμα του κραδασμού σε ανάλογο ηλεκτρικό μέγεθος (ρεύμα ή τάση), το οποίο οδηγείται σε διάταξη για περαιτέρω επεξεργασία (π.χ. από συνεχές ρεύμα σε διακριτά μεγέθη με ψηφιακή μορφή).

Σε ένα σήμα οι βασικές μηχανικές ποσότητες που αντιπροσωπεύουν τους κραδασμούς είναι η μετατόπιση, η ταχύτητα και η επιτάχυνση.

Οι τρεις βασικοί τύποι αισθητήρων οργάνων για τη μέτρηση των χαρακτηριστικών των κραδασμών είναι οι αισθητήρες μέτρησης μετατόπισης, ταχύτητας και επιτάχυνσης.

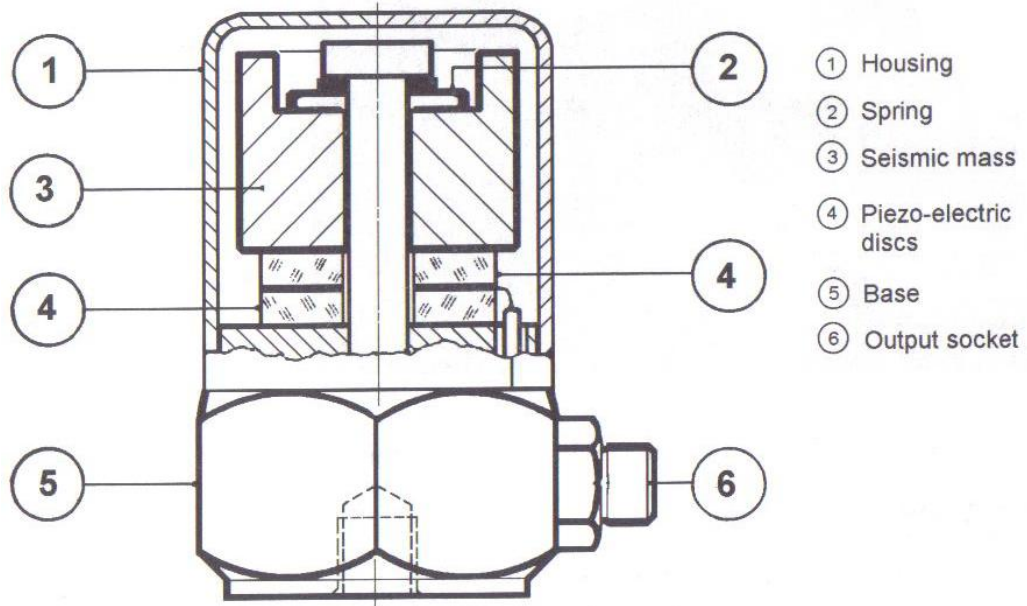
Παρόλο που η ταχύτητα είναι η πιο συχνά μετρούμενη ποσότητα σε ότι αφορά τους κραδασμούς, θα ασχοληθούμε με τα αισθητήρια όργανα μέτρησης επιτάχυνσης όπου οι μετρήσεις της επιτάχυνσης θα ολοκληρώνονται είτε από τον αισθητήρα είτε από τους συλλέκτες δεδομένων. Τα επιταχυνσιόμετρα είναι όργανα που λειτουργούν σε μεγάλο εύρος συχνοτήτων (0-400 KHz). Τα βασικότερα όργανα μέτρησης κραδασμών είναι τα πιεζοηλεκτρικά επιταχυνσιόμετρα λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων τους.

Τα επιταχυνσιόμετρα αποτελούνται από κεραμικούς δίσκους που συγκρατούνται σε μία σεισμική μάζα (σχ. 8). Εάν το σύστημα υπόκειται σε μηχανικές ταλαντώσεις, η σεισμική μάζα δημιουργεί εναλλασσόμενες μηχανικές δυνάμεις στους κρυστάλλους που παράγουν εναλλασσόμενο ηλεκτρικό φορτίο. Το φορτίο αυτό είναι ανάλογο με την μηχανική ταλάντωση.

Τα πιεζοηλεκτρικά ενισχύουν το χαμηλό επίπεδο κρουστικών παλμών για να λάβει καθαρές μετρήσεις γιατί ο κρουστικός παλμός δεν μεταφέρεται μακριά στο μέταλλο. Σε



αισθητήρες μέτρησης κρουστικών παλμών, οι παλμοί φιλτράρονται στα 36 KHz για να ξεχωριστούν οι κρουστικοί παλμοί από τους άλλους κραδασμούς που δημιουργούνται στην μηχανή.



Σχήμα (8.1)



Σχήμα (8.2)

#### 4.5.2. Η μέθοδος Envelope

Τα σήματα κραδασμών που δημιουργούνται από τα ρουλεμάν και γρανάζια έχουν πολύ μικρότερο πλάτος και εμφανίζονται σε υψηλότερες συχνότητες από αυτά που προέρχονται από περιστρεφόμενα εξαρτήματα. Η μέθοδος **Envelope** απομονώνει όλα τα σήματα περιστροφικών δονήσεων που εμφανίζονται σε χαμηλότερες συχνότητες και παράλληλα ενισχύει το σήμα στην συχνότητα που εμφανίζει κάποιο σφάλμα. Γι' αυτό χρησιμοποιείται πολύ στον εντοπισμό σφαλμάτων στα ρουλεμάν και στην εμπλοκή οδοντωτών τροχών, όπου υπάρχει ένα επαναλαμβανόμενο χαμηλού πλάτους σήμα κραδασμών, που μπορεί να αποκρυφτεί από άλλες συνιστώσες του ίδιου σήματος.

#### 4.5.3. Η μέθοδος SEE

Η τεχνολογία **SEE** (εκπεμπόμενη ενέργεια φάσματος) χρησιμοποιεί έναν ειδικό αισθητήρα που λαμβάνει υπερηχητικές εκπομπές που συμβαίνουν στα 150-500 KHz. μας δίνει την δυνατότητα εντοπισμού πολύ πρώιμων σφαλμάτων σε ρουλεμάν και οδοντωτούς τροχούς μετρώντας τις ηχητικές εκπομπές σημάτων που δημιουργούνται από φθορά μετάλλων ή άλλων καταστάσεων σαν:

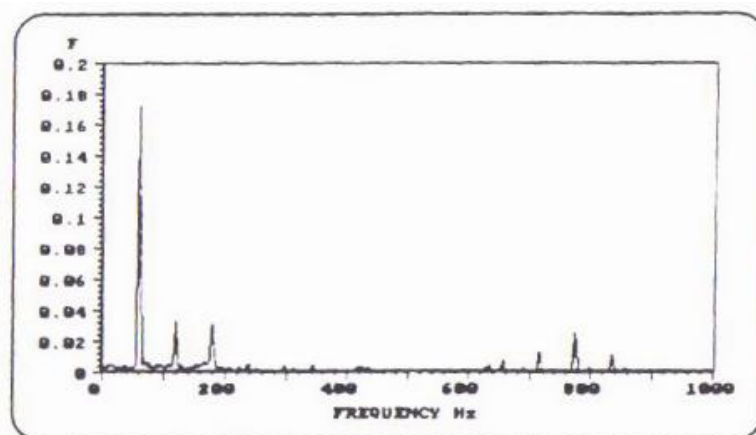
- Έλλειψη λίπανσης
- Σφάλματα ρουλεμάν
- Σπηλαίωση
- Φθορά μετάλλων
- Αλλοίωση λιπαντικού
- Δυναμική υπερφόρτωση

Το μεγάλο πλεονέκτημα της SEE είναι ότι μας παρέχει αρκετό χρόνο προειδοποίησης πριν να συμβεί το σφάλμα. Έτσι μπορούμε να προβούμε σε διορθωτικές κινήσεις οι οποίες θα επεκτείνουν την διάρκεια ζωής των εξαρτημάτων.

#### 4.6 Ανάλυση του φάσματος των κραδασμών με FFT (Fast Fourier Transform)

Με την χρήση της τεχνικής FFT μπορούμε να παρακολουθήσουμε τα σήματα των κραδασμών που χρειάζονται περαιτέρω ανάλυση. Κάθε σήμα αποτελείται από πολλά επιμέρους τμήματα με συγκεκριμένα πλάτη και συχνότητες. Δημιουργείται ένας πίνακας

τιμών με (πλάτη και συχνότητες) για όλες τις συχνότητες του σήματος. Στην συνέχεια οι τιμές αυτές παρουσιάζονται σε μορφή διαγράμματος, συναρτήσει της συχνότητας. Το τελικό διάγραμμα ονομάζεται φάσμα FFT (σχ. 9)



Σχήμα (9)

Κατά την λήψη των μετρήσεων θα πρέπει να διατηρούνται οι ίδιες συνθήκες λειτουργίας (Ισχύς, στροφές, κλπ) για σωστή παρακολούθηση της εξέλιξης μίας βλάβης στην μηχανή.

Επειδή γνωρίζουμε ότι τα διάφορα συνήθη σφάλματα των μηχανών εμφανίζουν σε συγκεκριμένες συχνότητες αυξημένους κραδασμούς, μπορούμε να διαγνώσουμε το είδος του σφάλματος. Η ίδια βλάβη σε διαφορετικό στάδιο ή σε διαφορετική μηχανή, μπορεί να εκδηλώνεται και σε διαφορετικό σημείο του φάσματος ενώ αντίστοιχα μεταβολές σε μία συχνότητα του φάσματος μπορεί να οφείλονται σε διάφορες αιτίες βλαβών.

Για ανάλυση του φάσματος FFT, θα πρέπει να

- Αναγνωρίζουμε όλα τα στοιχεία της μηχανής τα οποία μπορούν να προκαλέσουν κραδασμούς.
- Προσδιορίζουμε την ταχύτητα περιστροφής της μηχανής.
- Προσδιορίζουμε το είδος της μέτρησης που εμφανίζεται στο φάσμα FFT.
- Κρατάμε ιστορικό λειτουργίας (δεδομένα για σύγκριση με πρόσφατες μετρήσεις).
- Επιβεβαιώνουμε τις συχνότητες οι οποίες υποψιαζόμαστε ότι αποτελούν ένδειξη για ύπαρξη σφάλματος.
- Προσδιορίζουμε την σοβαρότητα του σφάλματος.

# Κεφάλαιο

# 5



## 5. Οι κρουστικοί παλμοί

Στα έδρανα κυλίσεως, οι κρουστικοί παλμοί προκαλούνται από την πρόσκρουση μεταξύ κυλιόμενων σωμάτων και της επιφάνειας διαδρομής των κυλιόμενων σωμάτων.

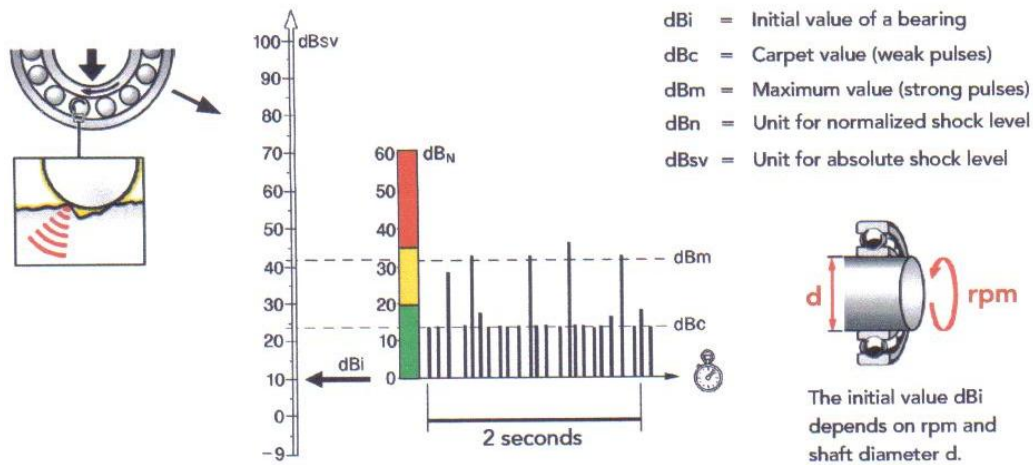
Στο σημείο της πρόσκρουσης, ένα κύμα συμπίεσης προάγεται αμέσως σε κάθε σώμα. Ο παράγων αιχμής (Peak) του κρουστικού παλμού καθορίζεται από την ταχύτητα πρόσκρουσης και δεν επηρεάζεται από την μάζα ή από την μορφή των προσκρούμενων σωμάτων. Οι κρουστικοί παλμοί διαχέονται στο υλικό του ρουλεμάν στην έδραση και στο κέλυφος του και στην συνέχεια περνάνε στα υπόλοιπα μέρη της μηχανής. Μια εκτεταμένη εμπειρία αποδεικνύει την ύπαρξη μιας σχέσης που συνδέει την κατάσταση του ρουλεμάν με την τιμή της μέτρησης των κρουστικών παλμών του. Οι κρουστικοί παλμοί είναι παλμοί μικρής διάρκειας και δημιουργούνται από μηχανικές προσκρούσεις. Λόγω ανωμαλίας των κυλιόμενων σωμάτων και της επιφάνειας διαδρομής τους δημιουργούνται μηχανικές προσκρούσεις στα περιστρεφόμενα σώματα κυλίσεως. Η τιμή του κρουστικού παλμού μετράται στην κλίμακα ήχου DECIBEL και εξαρτάται από την ταχύτητα πρόσκρουσης.

- Τιμή βάσης (Carpet Value dBc)

Η τραχύτητα της επιφάνειας και η ανωμαλία της θα προκαλέσει μια γρήγορη ακολουθία μικρών κρουστικών παλμών που μαζί θα αποτελέσουν τον παλμό βάσης dBc του ρουλεμάν.

Η τιμή της dBc επηρεάζεται από το πάχος του λιπαντικού στρώματος στις κυλιόμενες επιφάνειες του ρουλεμάν και εκφράζεται με dBc (decibel carpet value).

Όταν το πάχος του λιπαντικού στρώματος είναι κανονικό, η τιμή βάσης είναι χαμηλή. Κακή ευθυγράμμιση και κακή εγκατάσταση θα μειώσουν το πάχος του λιπαντικού στρώματος στο ρουλεμάν τότε η τιμή βάσης θα μεγαλώσει υπερβαίνοντας την κανονική τιμή (βλ. σχήμα 10).



Σχήμα (10)

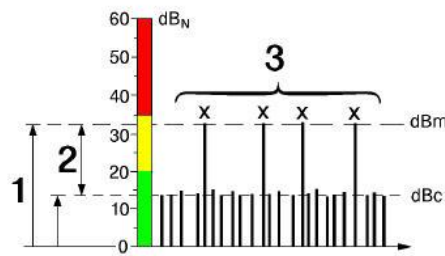
- Μέγιστη τιμή DECIBEL (Maximum Value dBm)

Οι ανωμαλίες στις επιφάνειες των ρουλεμάν θα δημιουργήσουν μια μέγιστη τιμή DECIBEL dBm. Εάν η μέγιστη τιμή είναι υψηλή και ταυτόχρονα η διαφορά μεταξύ υψηλής και χαμηλής τιμής είναι μεγάλη, τότε αυτό προκαλείται από τις βλάβες που υπάρχουν στο ρουλεμάν ή από την ύπαρξη ξένων σωματιδίων στο λιπαντικό. Η μέγιστη τιμή dBm καθορίζει την λειτουργική κατάσταση του ρουλεμάν.

### 5.1 Αξιολόγηση των μετρήσεων του επιπέδου των κρουστικών παλμών

Έχοντας τελειώσει τις απαραίτητες μετρήσεις των κρουστικών παλμών από τα διάφορα σημεία μετρήσεων που έχουμε διαλέξει, συγκρίνουμε τις νέες τιμές με πρόσφατες πριν περάσουμε στην φάση της αξιολόγησης όπου θα πρέπει να σιγουρευτούμε για τις τιμές των κρουστικών παλμών για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Ελέγχουμε πρώτα το όργανο, τους αισθητήρες και τα σημεία μέτρησης πριν περάσουμε εσφαλμένες τιμές μετρήσεων στους υπεύθυνους. Μερικές φορές μπορεί να έχουμε πολύ υψηλό επίπεδο κρουστικών παλμών που δεν ευθύνεται για βλάβη των ρουλεμάν αλλά πολύ απλά π.χ λόγω φαινομένου σπηλαιώσης στην αντλία της μηχανής ή βλάβης των οδοντωτών τροχών, κλπ.

## 5.2 Χαρακτηριστικές ενδείξεις κρουστικών παλμών από ρουλεμάν



Σχήμα (11)

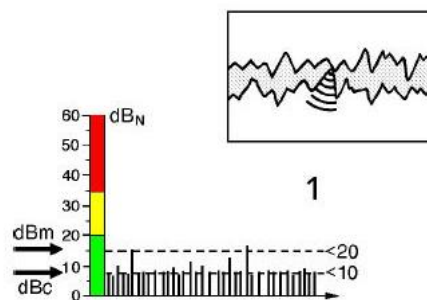
- 1) Μέγιστη τιμή dBm
- 2) Διαφορά μεταξύ dBm και dBc
- 3) Ρυθμός μέγιστων αιχμών

Η ένδειξη των κρουστικών παλμών είναι μία ακολουθία τυχαίων ή ρυθμικών παλμών (σχ. 11) Επίπεδο dBm σε σχέση με κανονική τιμή βάσης (Επίπεδο dBc).

Ο ρυθμός των δυνατών παλμών διακρίνεται καλύτερα ακούγοντας με τα ακουστικά και ρυθμίζοντας έτσι την τιμή του dBm λίγο χαμηλότερα από το επίπεδο των dBm. Τυπικά για σήματα ρουλεμάν είναι μία τυχαία ακολουθία υψηλών παλμών.

- 1) Ένδειξη από καλό ρουλεμάν

Όταν ένα ρουλεμάν είναι σε καλή κατάσταση, πρέπει να έχει τιμή του dBm κάτω από 20 και η τιμή του dBc 5-10 χαμηλότερα του dBm (σχ. 12). Πρέπει να προσέχουμε πως όταν η τιμή της μέτρησης είναι πολύ χαμηλή θα πρέπει να ελέγξουμε μήπως έχουμε διαλέξει λάθος σημείο μέτρησης ή μήπως ο αισθητήρας με τον οποίο μετράμε έχει κάποια βλάβη.

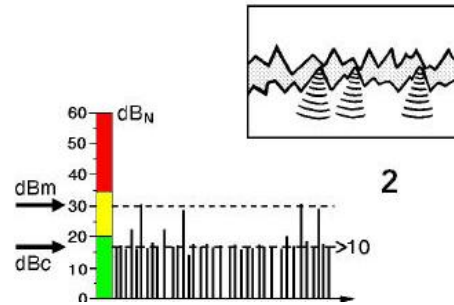


Σχήμα (12)



## 2) Πρώτο σημάδι της βλάβης

Η τιμή του dBm ανάμεσα σε 20-35 dB (κίτρινη ζώνη) και μία αύξηση στην τιμή της dBc είναι σημάδι κόπωσης στις επιφάνειες του ρουλεμάν. Η διαφορά μεταξύ dBm και dBc μεγαλώνει (σχ. 13).



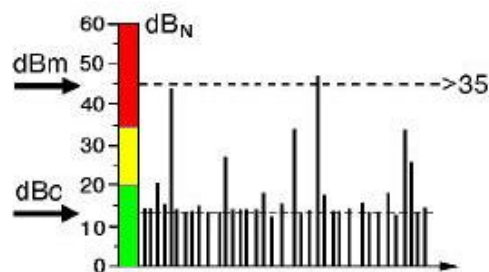
Σχήμα (13)

## 3) Σήμα από ρουλεμάν που έχει υποστεί βλάβη

Μία τιμή dBm μεγαλύτερη από 35 dB, μεγάλο κενό μεταξύ τιμής dBm και dBc και μία τυχαία αλληλουχία από υψηλών αιχμών (σχ. 14).

Η μέγιστη τιμή του dBm δείχνει το επίπεδο της βλάβης:

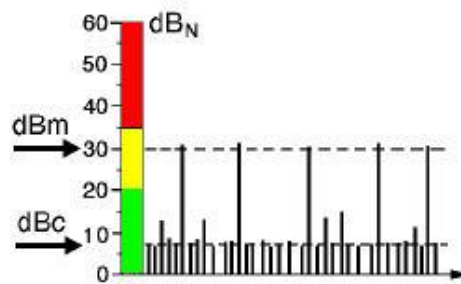
- 35-40 dB<sub>N</sub> Ελαφριά βλάβη
- 40-45 dB<sub>N</sub> Σοβαρή βλάβη
- > 45 dB<sub>N</sub> Πολύ επικίνδυνη βλάβη.



Σχήμα (14)

#### 4) Ρυθμικές αιχμές

Μία συνεχόμενη αλληλουχία ρυθμική αιχμών (σχ. 15) δημιουργείται λόγω φόρτισης ή πίεσης κατά την κανονική λειτουργία της μηχανής. Άλλος λόγος μπορεί να είναι από χτυπήματα των βαλβίδων ή κάποια στρεφόμενα σώματα που τρίβονται στο σώμα της μηχανής. Αν το σήμα είναι πολύ υψηλό στην έδραση του ρουλεμάν, μπορεί να είναι λόγω θραύσης του εσωτερικού δακτυλίου του ρουλεμάν.

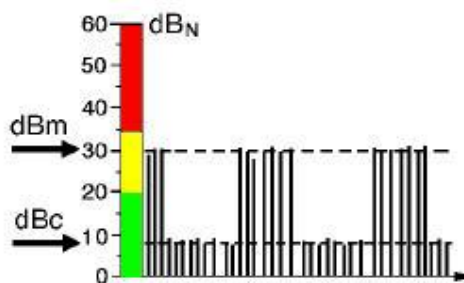


4

Σχήμα (15)

#### 5) Περιοδικές αιχμές

Οι περιοδικές αιχμές εμφανίζονται λόγω τριβής ανάμεσα σε διάφορα εξαρτήματα της μηχανής. Αυτές οι αιχμές θα προκύψουν σε συχνότητα σχετική με το επίπεδο RPM λειτουργίας τους (σχ. 16).

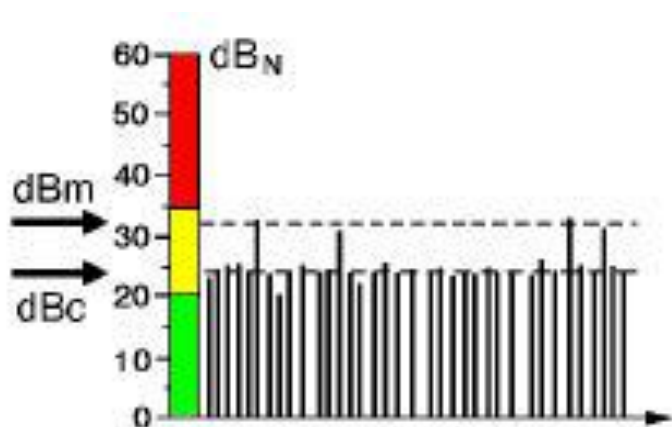


5

Σχήμα (16)

## 6) Σήμα από χαμηλό επίπεδο λιπαντικού ενός ρουλεμάν

Μία υψηλή τιμή dBc πολύ κοντά στην τιμή dBm είναι σημάδι ότι έχουμε ρουλεμάν σε στεγνή λειτουργία. Το ανεπαρκές επίπεδο λίπανσης φαίνεται από την μικρή διαφορά μεταξύ dBm και dBc (σχ. 17). Σε περίπτωση που έχουμε σπηλαιώση στην αντλία θα εμφανιστεί το ίδιο σήμα. Για να διαπιστώσουμε ποιά είναι η πηγή των κρουστικών παλμών, μετράμε έξω από την έδραση του ρουλεμάν και αν έχει υψηλό επίπεδο παλμών σημαίνει πως υπάρχει σπηλαιώση ή μπορούμε ακόμα να γρασάρουμε το ρουλεμάν όπου σε περίπτωση που φταίει αυτό, θα φανεί μεγάλη πτώση στο επίπεδο των κρουστικών παλμών.



Σχήμα (17)

## 5.3 Σημεία λήψης μετρήσεων

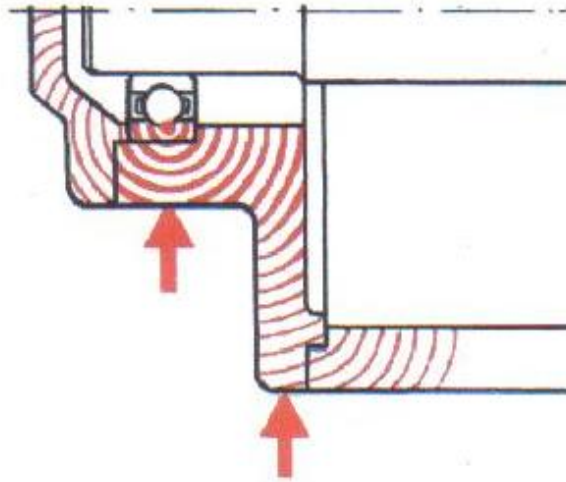
Οι κανόνες για την επιλογή των σημείων μέτρησης (θέσεις ληπτών) της μεθόδου **SPM** έχουν πρακτικό σκοπό. Προσπαθούμε να συλλάβουμε σήματα χαμηλής ενέργειας από το κύμα πίεσης τα οποία γίνονται πιο ασθενή όσο περισσότερο απομακρύνονται από το σημείο της πρόσκρουσης και όσο μικραίνει η φθίνουσα ταλάντωση που δημιουργείται λόγω του κύματος κρούσεως που χτυπάει τον αισθητήρα.

Πρέπει να σιγουρευτούμε πως τα ανοίγματα δια των οποίων περνούν τα σημεία μέτρησης πρέπει να έχουν μεγάλα διάκενα για να αποφεύγεται η επαφή του μετάλλου του λήπτη με το περιβάλλον υλικό.

Τότε η κατάσταση «πράσινο- κίτρινο- κόκκινο» ισχύει όταν :

- 1) Η διαδρομή του σήματος μεταξύ ρουλεμάν και σημείου μέτρησης πρέπει να είναι όσο γίνεται ευθεία, ίσια και μικρού μήκους ( $\approx 75$  mm ή 3 inch) (βλ. σχήμα 18).

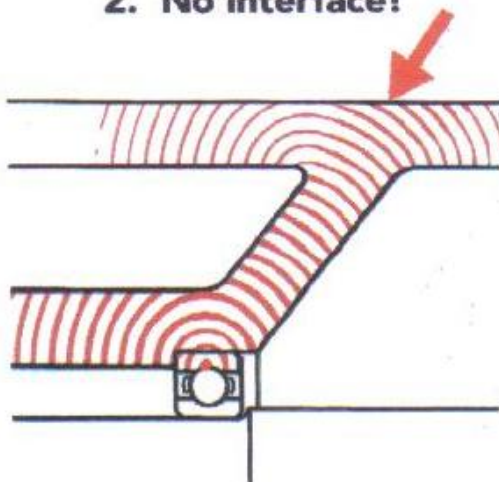
### 1. Straight and short path



Σχήμα (18)

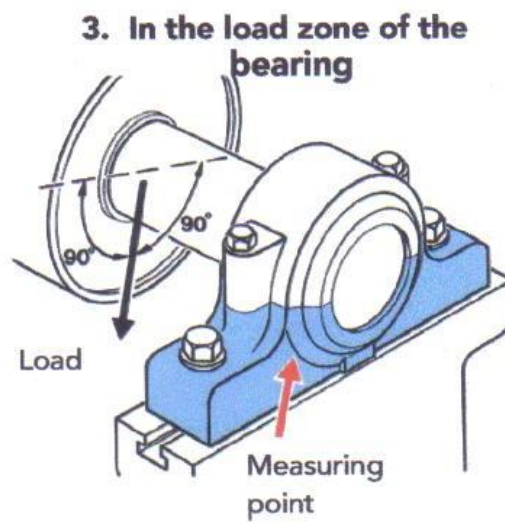
- 2) Η διαδρομή του σήματος να έχει μία διαμετωπική επιφάνεια μεταξύ του ρουλεμάν και του κελύφους (σχ. 19).

### 2. No interface!



Σχήμα (19)

- 3) Το σημείο μέτρησης πρέπει να βρίσκεται εντός της ζώνης φορτίου του ρουλεμάν (σχ. 20).



Σχήμα (20)

# Κεφάλαιο

# 6



## **6. Λίπανση**

### **6.1 Ορισμός της λίπανσης**

Η λίπανση είναι ένα από τα βασικότερα αντικείμενα απασχόλησης της συντήρησης, διότι καμία μηχανή που έχει κινούμενα μέρη δεν μπορεί να λειτουργήσει χωρίς λίπανση. Είναι πολύ σημαντική η διατήρηση όλων των εξαρτημάτων σε καλή κατάσταση.

Σε κάθε μηχανικό σύστημα όπου υπάρχει κίνηση και συνεργασία πολλών εξαρτημάτων αναπτύσσεται αντίσταση στην κίνηση που ονομάζεται τριβή. Η τριβή είναι το αποτέλεσμα των φυσικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των σωμάτων που βρίσκονται σε σχετική κίνηση μεταξύ τους και των διάφορων επιφανειών που έχουν επαφή κατά την λειτουργία του συστήματος. Λόγω τριβής έχουμε απώλεια ενέργειας (θερμότητα) που διαχέεται στο περιβάλλον και απώλεια ύλης που ονομάζεται φθορά. Η λίπανση περιορίζει την φθορά προσθέτοντας μεταξύ των τριβόμενων σωμάτων μια επιφάνεια στερεού, υγρού ή αερίου λιπαντικού, αποφεύγοντας μ' αυτόν τον τρόπο την τριβή των δύο επιφανιών. Η καλή λειτουργία μιας μηχανής εξαρτάται άμεσα από την σωστή λίπανση σε βάρους χρόνου.

### **6.2 Στόχοι της λίπανσης**

Η λίπανση στις σύγχρονες μηχανές εκπληρώνει τρεις στόχους:

- Μείωση της τριβής μεταξύ των κινούμενων επιφανειών και κατά συνέπεια μείωση και των φθορών.
- Ψύξη των κινούμενων εξαρτημάτων και απαγωγή της θερμότητας που παράγεται λόγω τριβών και λόγω διαδικασίας. Η θερμότητα αποβάλλεται από την επιφάνεια του ίδιου μηχανήματος με ή χωρίς την βοήθεια ρεύματος αέρα ή από την ανακυκλοφορία του λιπαντικού και την αποβολή θερμότητας σε ψυγείο λαδιού.

Για καλύτερη λίπανση και ψύξη χρησιμοποιούμε συστήματα ανακυκλοφορίας λαδιού που διαθέτουν φίλτρα για το φιλτράρισμα όλων των σωματιδίων που ευρίσκονται στο λιπαντικό από ένα μέγεθος και πάνω. Η διαπίστωση μεταλλικών σωματιδίων στα φίλτρα



αυτά σημαίνει υπερβολική φθορά και ότι ίσως θα πρέπει να επέμβουμε και να μην περιμένουμε το μοιραίο, να σταματήσει η μηχανή λόγω βλάβης από μόνη της.

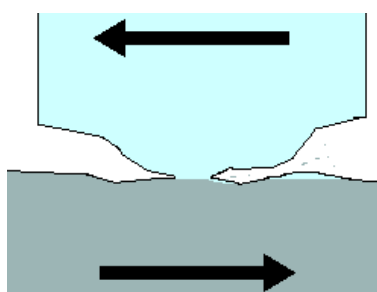
- Καθαρισμός των επιφανειών που κινούνται και έρχονται σε επαφή μεταξύ τους. Απομάκρυνση τυχόν σωματιδίων που εισέρχονται από το περιβάλλον ή προκύπτουν κατά την λειτουργία του μηχανήματος. Τα σωματίδια συνήθως είναι βαρύτερα του λιπαντικού και συγκεντρώνονται στον πυθμένα του μηχανήματος ή της δεξαμενής του λιπαντικού. Εάν υπάρχουν μεταλλικά σωματίδια, αυτά συγκεντρώνονται σε ειδικές μαγνητικές τάπες.
- Απορρόφηση κρούσεων και χτυπημάτων που δημιουργούνται κατά την περιστροφή των οδοντωτών τροχών λόγω λιπαντικού στρώματος που έχει παγιδευτεί ανάμεσα στους οδόντες εμπλεκόμενων οδοντωτών τροχών.

### 6.3 Τύποι φθοράς

Οι βασικότεροι τύποι φθοράς είναι:

- Φθορά πρόσφυσης (Adhesive wear)

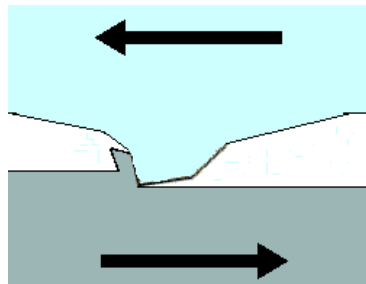
Κατά την τριβή δύο επιφανειών, αποσπώνται ψήγματα από μία επιφάνεια και προσκολλώνται στην άλλη (σχ. 21). Αλλιώς θα είναι ελεύθερα στο σύστημα και θα προκαλούν φθορά.



Σχήμα (21).

➤ Λειαντική φθορά (Abrasive wear)

Σ' αυτόν τον τύπο φθοράς, μία σκληρή επιφάνεια κόβει υλικό από άλλη πιο μαλακή επιφάνεια ολισθαίνοντας η μία πάνω στην άλλη (σχ. 22). Το υλικό που απομακρύνεται έχει μορφή ελεύθερων ψηγμάτων φθοράς.



Σχήμα (22).

➤ Φθορά επιφανειακής κόπωσης (Surface fatigue wear)

Προκαλείται κατά την επαναλαμβανόμενη ολίσθηση ή κύλιση επί της ίδιας τροχιάς. Δημιουργούνται επιφανειακά εσωτερικά ρήγματα λόγω της επαναληπτικής φόρτισης/αποφόρτισης.

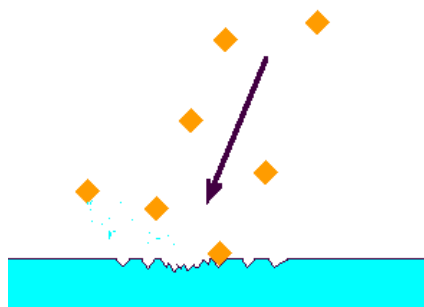
➤ Παλμική διάβρωση (Fretting wear)

Όταν στο τριβικό ζεύγος υπάρχει παλινδρομική επαπτομενική μετατόπιση μικρού πλάτους. Άλλη μία επικίνδυνη κατάσταση προκύπτει όταν δημιουργούνται και στις δύο επιφάνειες ανοίγματα/ρήγματα που ονομάζεται παλμική διάβρωση. Αυτό το φαινόμενο το συναντάμε στα ρουλεμάν και μπορεί να τα οδηγήσει σε μόνιμη βλάβη και επομένως σε αστοχία των ρουλεμάν.

➤ Μηχανική διάβρωση (Erosion)

Η διάβρωση προκαλείται από ένα αέριο ή ένα υγρό που μπορεί να φέρουν ή όχι παρασυρμένα στερεά μόρια, που προσκρούουν σε μια επιφάνεια (σχ. 23). Όταν η γωνία της πρόσκρουσης είναι μικρή, η διάβρωση είναι σημαντική και ανάλογη με το γδάρισμα.

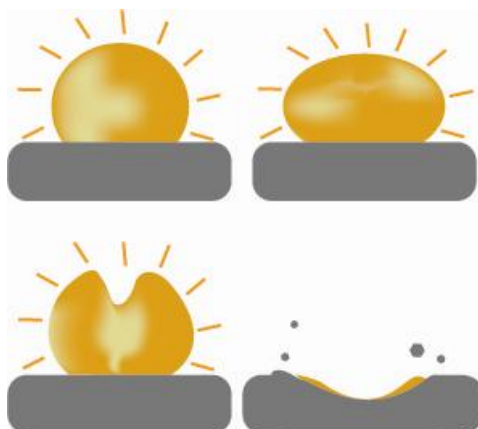
Όταν η γωνία της πρόσκρουσης είναι κανονική στην επιφάνεια, κομμάτια υλικού απομακρύνονται από την επιφάνεια.



Σχήμα (23).

➤ Σπηλαίωση (Cavitation erosion)

Το φαινόμενο της σπηλαίωσης δημιουργείται σε ροές υγρών όταν σε μια περιοχή της ροής, η στατική πίεση τείνει τοπικά να γίνει μικρότερη από την πίεση ατμοποίησης του υγρού τότε το υγρό ατμοποιείται και αναπτύσσονται θύλακες/φουσαλίδες ατμού. Ακόμα, σπηλαίωση μπορεί να δημιουργηθεί λόγω μικροανωμαλιών στις περιρρεόμενες στερεές επιφάνειες, όπου έχουν εγκλωβιστεί μικρές φουσαλίδες αέρα. Στην συνέχεια, οι φουσαλίδες ατμού μπορεί να μπουν σε περιοχές με πιο υψηλή στατική πίεση οπότε η μάζα του ατμού θα πρέπει να επανυγροποιηθεί. Λόγω μεγάλης διαφοράς στην πυκνότητα μεταξύ υγρής φάσης και φάσης ατμού έχουμε αύξηση της στατικής πίεσης κρουστικής μορφής. Αυτές οι κρούσεις δημιουργούν έντονες κρουστικές υπερπίεσεις και προκαλούν διάβρωση των τοιχωμάτων όπου αφαιρούν ψήγματα από την επιφάνεια του υλικού (σχ. 24).



Σχήμα (24)

## **6.4 Κατηγορίες λίπανσης**

Η λίπανση είναι η παρεμβολή ενός κατάλληλου σώματος μεταξύ δύο στοιχείων του τριβουσυστήματος για τον περιορισμό της τριβής και της φθοράς τους.

Τα λιπαντικά διακρίνονται σε :

- Στερεά
- Υγρά
- Υβριδικά (Στερεά και υγρά ταυτόχρονα)
- Αέρια

## **6.5 Καθαρότητα των λιπαντικών**

Τα συνηθέστερα λιπαντικά για τα ρουλεμάν είναι το λάδι και το γράσο. Η καθαρότητα των λιπαντικών πρέπει πάντα να διατηρείται. Από την στιγμή της τοποθέτησης τους αλλά και κατά την λειτουργία της μηχανής πρέπει να προσέχουμε τα λιπαντικά και τις στεγανωτικές διατάξεις, ώστε να επιτευχθεί μέγιστη διάρκεια ζωής του ρουλεμάν.

Αν το λιπαντικό είναι γράσο, πρέπει να διατηρείται πάντα σε κλειστό δοχείο γιατί τα γράσα συλλέγουν γρήγορα σκόνη και άλλα ξένα σωματίδια από το περιβάλλον της εργασίας. Τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται στην λίπανση (όχι ξύλινα) πρέπει να ξεπλένονται με καθαρά διαλυτικά και να τα στεγνώνουμε με υλικά που δεν αφήνουν υπολείμματα.

Αν το λιπαντικό είναι λάδι θα πρέπει να το φιλτράρουμε πριν λιπάνουμε το ρουλεμάν. Σε συστήματα κυκλοφορίας λαδιού, τοποθετούμε φίλτρα για την συλλογή των σωματιδίων που περιέχει το λάδι.

## **6.6 Στεγανοποίηση**

Τα στεγανωτικά προστατεύουν το ρουλεμάν αλλά και το λιπαντικό τους από ακαθαρσίες και υγρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος. Ένα πολύ σημαντικό γεγονός είναι πως αποτρέπουν την διαρροή του γράσου προς τα έξω. Άρα η σωστή επιλογή και τοποθέτηση

τους είναι πρωταρχικής σημασίας για τα ρουλεμάν. Πρέπει να τα ελέγξουμε κάθε φορά που επεμβαίνουμε στα ρουλεμάν ή όταν υποψιαζόμαστε ότι τείνουν στην καταστροφή.

### 6.7 Ιδιότητες και διάρκεια ζωής γράσων

Ο βαθμός συνεκτικότητας ενός γράσου εξαρτάται κυρίως από τον τύπο και την ποσότητα παχυντή που περιέχει. Ο παχυντής ή σάπωνας είναι το σύστημα το οποίο κρατάει το λάδι και τα πρόσθετα μαζί για να είναι δυνατή η διατήρηση της λιπαντικής ικανότητας του γράσου.

Σύμφωνα με το **NLGI** (National Lubricating Grease Institute) οι βαθμοί συνεκτικότητας των γράσων κατατάσσονται στον (πίνακα. 4).

Όσο μικρότερος είναι ο αριθμός NLGI τόσο μαλακότερο το γράσο.

Βαθμός NLGI	ASTM Διαπερατότητα $10^{-1}$ mm	Εμφάνιση σε 25 <sup>0</sup> C
000	445-475	Πολύ ρευστό
00	400-430	Ρευστό
0	355-385	Παχύρρευστο
1	310-340	Πολύ μαλακό
2	265-295	Μαλακό
3	220-250	Μέτρια σκληρό
4	175-205	Σκληρό
5	130-160	Πολύ σκληρό
6	81-115	Εξαιρετικά σκληρό

Πίνακας (4)

Το εύρος θερμοκρασιών κυμαίνεται από -30<sup>0</sup>C μέχρι 140<sup>0</sup>C. Σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, τα γράσα μαλακώνουν και μπορεί να εμφανίσουν διαρροή. Γι' αυτόν τον

λόγο διαλέγουμε γράσα εφόσον γνωρίζουμε τις συνθήκες λειτουργίας του ρουλεμάν. Σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες τα γράσα σκληραίνουν τόσο πολύ που χάνουν την λιπαντική τους δράση εμποδίζοντας τα στοιχεία κύλισης από την περιστροφή. Τότε έχουμε ολίσθηση αντί για κύλιση ιδιαίτερα στις εκκινήσεις, με συνέπεια την αστοχία του ρουλεμάν.

Η αναμενόμενη διάρκεια ζωής ενός γράσου εξαρτάται από:

- Τον τύπο του γράσου
- Τις ταχύτητες περιστροφής
- Την θερμοκρασία κατά την λειτουργία
- Τις διατάξεις στεγανοποίησης
- Τις συνθήκες του προβάλλοντος.

Το τέλος της διάρκειας ζωής του γράσου μπορεί να διαπιστωθεί πρακτικά από την σημαντική αλλαγή του χρώματος του λόγω της περιεκτικότητας του σε ακαθαρσίες.

## **6.8 Κατηγορίες γράσων**

Τα συνηθέστερα γράσα είναι αυτά που περιέχουν σάπωνες ασβεστίου (Ca), νατρίου (Na) και λιθίου (Li).

Τα γράσα με παχυντή ασβεστίου είναι αδιάλυτα στο νερό και δεν χρησιμοποιούνται σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 60<sup>0</sup>C. Γράσα υψηλής ποιότητας λειτουργούν σε θερμοκρασία μέχρι 120<sup>0</sup>C. Μερικά από αυτά τα γράσα παρέχουν προστασία έναντι του αλμυρού νερού, γι' αυτό χρησιμοποιούνται σε ναυτικές μηχανές.

Γράσα με σάπωνα νατρίου, παρέχουν πολύ καλή στεγάνωση και είναι αντισκουριακά αφού απορροφούν το νερό. Λειτουργούν ικανοποιητικά μέχρι 150<sup>0</sup>C.

Τα γράσα με σάπωνα λιθίου συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα των δύο προηγούμενων κατηγοριών. Το εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας τους είναι αρκετά μεγάλο και είναι κατάλληλα για λίπανση ρουλεμάν.

Υπάρχουν ακόμα τα συνθετικά γράσα που περιέχουν αλατώδες και μεταλλικούς σάπωνες συνήθως του ίδιου μετάλλου. Το εύρος θερμοκρασίας στο οποίο λειτουργούν είναι μεγαλύτερο από αυτό των συμβατικών γράσων.

## 6.9 Κατηγορίες λιπαντικών ελαίων

Οι τρεις βασικότερες κατηγορίες λιπαντικών ελαίων είναι:

- Ορυκτέλαια

Είναι τα περισσότερα χρησιμοποιημένα για την λίπανση των ρουλεμάν. Δεν περιέχουν ασταθή συστατικά (άζωτο, οξέα, κλπ).

- Συνθετικά έλαια

Χρησιμοποιούνται σε ειδικές εφαρμογές όπου οι θερμοκρασίες ξεπερνούν τα 90<sup>0</sup> C.

- Ζωικά και φυτικά έλαια

Δεν χρησιμοποιούνται για λίπανση ρουλεμάν γιατί υπάρχει κίνδυνος δημιουργίας οξέων με την πάροδο του χρόνου. Χρησιμοποιούνται όμως σε συνδυασμό με άλλες κατηγορίες ελαίων.

## 6.10 Προσθετικά και ανάμειξη γράσων

Στα λιπαντικά γράσα προσθέτουμε

- Αντισκουριακά για βελτίωση της προστασίας που παρέχουν συνήθως τα γράσα
- Αντιοξειδωτικά για να καθυστερούμε την αστοχία του γράσου
- EP (Extra Pressure) για να δυναμώνουμε την αντοχή των γράσων σε υψηλές πιέσεις.

Στα λιπαντικά έλαια προσθέτουμε:

- Αντιοξειδωτικά
- Αντισκουριακά
- Προσθετικά έναντι αφρίσματος (Αναγκάζει τις φυσαλίδες να σκάνε)
- Ενεργά προσθετικά για υψηλές πιέσεις

Όταν χρειαστεί να αναμιγνύουμε γράσα ακολουθούμε τους κάτωθι κανόνες:

- Δεν αναμιγνύουμε ποτέ δύο γράσα που δεν είναι συμβατά μεταξύ τους, γιατί το τελικό μίγμα θα είναι μαλακότερης συνεκτικότητας που θα έχει ως αποτέλεσμα την αστοχία του ρουλεμάν λόγω διαρροής γράσου.
- Σε περίπτωση αναλίπανσης θα πρέπει να αφαιρέσουμε ολοκληρωτικά το γράσο που είχε χρησιμοποιηθεί αρχικά από το ρουλεμάν και τις περιβάλλουσες επιφάνειες αν θα χρησιμοποιούμε διαφορετικό γράσο ή αν δεν ξέρουμε τον τύπο του γράσου που είχε χρησιμοποιηθεί πριν.

### **6.11 Επιλογή των γράσων**

Η επιλογή των γράσων είναι πολύ σημαντική γιατί όσες προφυλάξεις και να πάρουμε για σωστή λίπανση θα αποδειχθούν μάταιες αν δεν κάνουμε την σωστή επιλογή του λιπαντικού γράσου. Οι κυριότεροι παράγοντες που πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη κατά την επιλογή γράσων είναι:

- Τύπος και διαστάσεις του ρουλεμάν
- Τύπος της μηχανής
- Θερμοκρασία λειτουργίας
- Συνθήκες λειτουργίας (Φόρτισης, επίπεδο κραδασμών, κλπ)
- Εύρος ταχυτήτων περιστροφής
- Συνθήκες ψύξης
- Αποτελεσματικότητα των στεγανωτικών
- Τα προσθετικά που παρέχουν τα γράσα
- Το εξωτερικό περιβάλλον.

### **6.12 Λίπανση των ρουλεμάν**

Ένα καλώς λιπαινομένο ρουλεμάν που λειτουργεί σε ιδανικές συνθήκες θερμοκρασίας και φόρτισης θα έχει μεγάλη διάρκεια ζωής. Μια έρευνα έδειξε πως τα 36 % περίπου της πρόωρης φθοράς των ρουλεμάν οφείλεται σε κακή λίπανση. Άρα, όσο λιπαίνουμε σωστά το ρουλεμάν τόσο αυξάνεται η διάρκεια ζωής του.

- Λίπανση με γράσο

Σε περίπτωση που η λειτουργία της μηχανής είναι σε φυσιολογικές ταχύτητες και θερμοκρασίας. Τα πλεονεκτήματα του γράσου έναντι του λαδιού είναι:



- Καλύτερη πρόσφυση
  - Απαιτεί απλούστερα και οικονομικότερα συστήματα εφαρμογής (Ευκολότερη στεγανοποίηση)
  - Μεγαλύτερη προστασία έναντι υγρασίας και ρυπογόνων ουσιών που προέρχονται από το περιβάλλον.
- Λίπανση με λάδι

Το λάδι χρησιμοποιείται στα ρουλεμάν όταν οι ταχύτητες περιστροφής και οι συνθήκες λειτουργίας τους είναι τέτοιες ώστε να μην επιτρέπουν την χρήση γράσου.

Προτιμάται η λίπανση με λάδι στις παρακάτω περιπτώσεις:

- Όταν έχουμε υψηλές θερμοκρασίες λόγω υψηλών ταχυτήτων λειτουργίας, έντονης φόρτισης ή υψηλής θερμοκρασίας περιβάλλοντος.
- Όταν απαιτείται λίπανση πολύ συχνά (Μικρά χρονικά διαστήματα αναλίπανσης)
- Σε εφαρμογές που είναι ελαιολιπαινόμενες εξαρχής.

Κατά το γρασάρισμα του ρουλεμάν θα πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη μας τα κάτωθι:

- Την ποσότητα του λιπαντικού
- Τη μέθοδο της λίπανσης
- Τον τύπο και την ποιότητα του λιπαντικού
- Τα χρονικά διαστήματα μεταξύ των γρασαρισμάτων

### 6.13 Επιλογή κατάλληλης ποσότητας γράσου

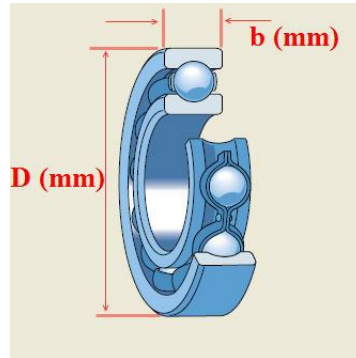
Για το γρασάρισμα των ρουλεμάν θα πρέπει να καλύπτουμε πλήρως τα σώματα κυλίσεως και προσέχουμε μην γεμίσουμε το κενό μέχρι το κάλυμμα τους για να μην υπάρχει κίνδυνος υπερθέρμανσης του εδράνου. Άρα το γεμίζουμε κατά 50-60 %. Σε μηχανές που λειτουργούν με υψηλές ταχύτητες περιστροφής ή και υψηλό επίπεδο κραδασμών, θα πρέπει να τοποθετούμε λιγότερες ποσότητες λιπαντικών απ' ό,τι σε κανονικές μηχανές.

Η απαιτούμενη ποσότητα γρασαρίσματος του ρουλεμάν εξαρτάται από τις διαστάσεις του. Ο υπολογισμός της απαιτούμενης ποσότητας λιπαντικού γίνεται με το ακόλουθο τύπο:

$$G_a = 0,005 \times D \times B \text{ (Γραμμάρια)}$$

Όπου:

- $G_a$ : Η απαιτούμενη ποσότητα γράσου
- $D$ : Η εξωτερική διάμετρος του ρουλεμάν σε mm
- $B$ : Το πλάτος του ρουλεμάν σε mm (σχ. 25)



Σχήμα (25)

#### 6.14 Επιλογή κατάλληλης χρονικής στιγμής λίπανσης και διαστήματα αναλίπανσης

Το γρασάρισμα των ρουλεμάν γίνεται συνήθως μετά το μοντάρισμα τους και σε καθαρό περιβάλλον για αποφυγή εισχώρησης σωματιδίων σ' αυτούς. Γενικά ελέγχουμε κατά την συντήρηση και το επίπεδο των λιπαντικών και σε περίπτωση που διαπιστώνουμε ελάττωση στο επίπεδο των λιπαντικών προσθέτουμε την ποσότητα μέχρι ένα επίπεδο που έχουμε αναφέρει στη προηγούμενη παράγραφο.

Αν εμφανίζεται υψηλό επίπεδο κραδασμών ή κρουστικών παλμών στην μηχανή και δεν ξέρουμε την πηγή αυτών, μπορούμε να γρασάρουμε τα ρουλεμάν με σειρά ώστε να καταλάβουμε ποιο ρουλεμάν δημιουργεί τον θόρυβο. Μετά από την λίπανση του, το επίπεδο των κραδασμών θα πέσει και αν μένει χαμηλό σημαίνει πως δεν είχαμε αρκετή ποσότητα λιπαντικού και αν μετά από λίγο χρόνο ανεβαίνει πάλι σημαίνει πως το ρουλεμάν είναι πλέον ακατάλληλο για χρήση και χρειάζεται αλλαγή.

Για τον υπολογισμό της σωστής ποσότητας γράσου στα σωστά χρονικά διαστήματα αναλίπανσης, η **SKF** ανέπτυξε ένα πρόγραμμα υπολογισμού αναλίπανσης (**Dialset**). Τα διαστήματα αναλίπανσης υπολογίζονται με βάση τις πιο σύγχρονες θεωρίες της **SKF** και εξαρτώνται από τον τύπο του ρουλεμάν, την εφαρμογή και τις ιδιότητες του γράσου που χρησιμοποιείται.

## 6.15 Εργαλεία λίπανσης

Τα εργαλεία που θα παρουσιαστούν παρακάτω είναι προϊόντα της SKF.

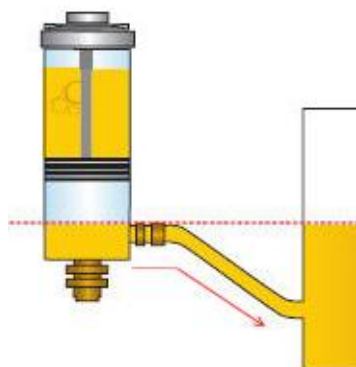
- Ρυθμιστής στάθμης λαδιού σειράς **LAHD 500/1000**

Για λίπανση με λάδι, χρησιμοποιούμε ρυθμιστή στάθμης λαδιού LAHD 500/1000 (σχ. 26) που μας δίνει την δυνατότητα αποτελεσματικής ρύθμισης της σωστής στάθμης λαδιού κατά την διάρκεια λειτουργίας της εφαρμογής αυξάνοντας την απόδοση των μηχανών και τα διαστήματα συντήρησης.



Σχήμα (26)

Ο ρυθμιστής αυτός αποτελείται από δύο συνεργαζόμενα δοχεία λαδιού (σχ. 27). Το χαμηλό δοχείο επικοινωνεί με την ατμόσφαιρα με κατάλληλο σωληνάκι και συνδέεται απευθείας στην εφαρμογή και έχει την ίδια στάθμη λαδιού μ' αυτήν. Το πάνω δοχείο είναι κλειστό και αποθηκεύει το λάδι αντικατάστασης. Όταν πέφτει η στάθμη στο κάτω δοχείο, το λάδι ρέει από το πάνω προς το κάτω ενώ ο αέρας περνάει μέσω ενός λαιμού στο πάνω δοχείο.



Σχήμα (27)

- Πιστόλι γράσου **LAGP 400**

Το πιστόλι αυτό είναι μία εναλλακτική λύση χαμηλής πίεσης για το άδειασμα φυσίγγων με γράσο της **SKF** (σχ. 28) Χρησιμοποιείται για χειροκίνητη λίπανση των ανοικτών ρουλεμάν.



Σχήμα (28)

- Γρασαδόρος **1077600**

Αυτός ο γρασαδόρος είναι ιδανικός για κάθε εφαρμογή. Παραδίδεται με έναν εύκαμπτο σωλήνα και υδραυλικό ακροφύσιο (σχ. 29).



Σχήμα (29)

- Γρασαδόρος για χρήση με ένα χέρι **LAGH 400**

Πρακτική κατασκευή για εύκολη χρήση με ένα χέρι. Διαθέτει έναν εύκαμπτο σωλήνα (σχ. 30) όπου επιτρέπει να μοντάρουμε το σωλήνα σε κάθετη και οριζόντια θέση.



Σχήμα (30)

- Πιάτο γρασαρίσματος ρουλεμάν **VKN 550**

Το πιάτο γρασαρίσματος είναι πολύ χρήσιμο και εύκολο στην χρήση (σχ. 31). Μπορεί να συνδυαστεί με πιστόλι γράσου, αεροκίνητη αντλία γράσου ή αντλία μετάγγισης. Χρησιμοποιείται για όλους τους τύπους ρουλεμάν.



Σχήμα (31)

- Αντλίες μετάγγισης γράσου σειράς **LAGF**

Οι αντλίες μετάγγισης γράσου της **SKF** είναι κατάλληλες για το γέμισμα των γρασαδόρων. Ειδικά κατασκευασμένος για χρήση με τους γρασαδόρους **1077600**, **LAGH 400** και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με το πιάτο γρασαρίσματος **VKN 550** (σχ. 32). Κατάλληλες για βαρέλια 18 και 50 Kg της **SKF**. Η χαμηλή πίεση επιτρέπει μεγαλύτερη παροχή γράσου.



Σχήμα (32)

- Αντλίες μετάγγισης γράσου σειράς **LAGG**

Μπορούν να συνδυαστούν στα σημεία λίπανσης και είναι κατάλληλες για κεντρικά συστήματα λίπανσης. Σχεδιασμένο για βαρέλια 18, 50 και 180 κιλών (σχ. 33). Έχουν μέγιστη πίεση 40-42 MPa (5,800-6,090 PSI). Το **LAGG 1M** χρησιμοποιείται για δοχεία ενός κιλού.



Σχήμα (33)

- Αυτόματοι λιπαντήρες μονού σημείου **SYSTEM 24** σειράς **LAGD**

Η ερμητική στεγάνωση του αποτρέπει την είσοδο ξένων σωματιδίων με διαφανή φύσιγγα για τον έλεγχο της στάθμης του γράσου (σχ. 34). Εγκεκριμένο με προδιαγραφές (Zone 0) για χώρους με κίνδυνο έκρηξης λόγω της ύπαρξης εκρηκτικών μιγμάτων αερίων, ατμών και σκόνης καθώς και σε στοές ορυχείων. Διαθέτει επανασχεδιασμένη ανεπίστροφη βαλβίδα που το κάνει πιο ανθεκτικό σε δονήσεις, μειώνοντας το κίνδυνο διαρροής.



Σχήμα (34)

- Πιστόλι **LAGG 400B** με μπαταρία

Εργονομικό σχέδιο και λειτουργία με μπαταρία (σχ. 35) όπου ο χρήστης δεν χρειάζεται να ασκεί δύναμη για την χρήση του. Προσφέρει ακρίβεια στην λίπανση και γρήγορο άδειασμα των φυσιγγών γράσου **SKF**.



Σχήμα (35)

- Σύστημα αυτόματης λίπανσης πολλαπλών σημείων **LAGD 400**

Το ηλεκτρονικό αυτόματο σύστημα SKF αυτής της σειράς σχεδιάστηκε για ταυτόχρονη σύνδεση με πολλά σημεία λίπανσης (σχ. 36) με αποτέλεσμα να γλιτώνουμε χρόνο σε σύγκριση με την χειροκίνητη λίπανση αυτών. Οι διαφανείς φύσιγγες που χρησιμοποιεί επιτρέπουν έλεγχο της στάθμης των γράσων αλλά διαθέτουν και έναν συναγερμό που ειδοποιεί για χαμηλή στάθμη γράσων.



Σχήμα (36)

- Μετρητής γράσου **LAGM 1000E**

Επειδή είναι δύσκολο να προσδιοριστεί η ακριβής ποσότητα γράσου όταν χρησιμοποιείται πιστόλι ή αντλία γράσου, η **SKF** κατασκεύασε αυτόν τον μετρητή ροής (σχ. 37) για αξιόπιστη μέτρηση παροχής γράσου και σωστή λίπανση. Λειτουργεί με μέγιστη πίεση 70 MPa και συνδυάζεται με πολλούς τύπους γρασαδόρων και αντλιών γράσου.



Σχήμα (37)

Όταν εργαζόμαστε με γράσο για ρουλεμάν, πρέπει να προστατεύουμε το δέρμα μας από το γράσο. Τα ελαστικά γάντια **TMBA G11D** (σχ. 38) είναι ανθεκτικά στο γράσο και σχεδιάστηκαν για προστασία των χεριών.



Σχήμα (38)





# Κεφάλαιο

# 7



## 7. Μοντάρισμα και ξεμοντάρισμα ρουλεμάν

### 7.1 Μέθοδοι μονταρίσματος ρουλεμάν

Περίπου 16 % της πρόωρης φθοράς των ρουλεμάν οφείλεται σε κακό μοντάρισμα ή σε χρήση ακατάλληλης μεθόδου μονταρίσματος. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου μονταρίσματος επιμηκύνει την διάρκεια λειτουργίας του ρουλεμάν και μειώνει το κόστος από πρόωρες φθορές. Οι μέθοδοι μονταρίσματος είναι :

- Μηχανική μέθοδος (Άρμωση εν ψυχρώ)

Συνήθως τα ρουλεμάν μικρού και μεσαίου μεγέθους μοντάρονται σε ψυχρή κατάσταση, η οποία γίνεται με χρήση σφυριού ή κάποιο παλιό σωλήνα. Αυτή η μέθοδος μπορεί να προκαλέσει την μεταφορά δυνάμεων στα στοιχεία κύλισης και να καταστρέψει τις επιφάνειες κύλισης. Τα εργαλεία άρμωσης της **SKF** βοηθούν στο να αποφευχθεί τέτοιου είδους ζημιά με σωστή κατανομή των δυνάμεων στο δαχτυλίδι με σφιχτή συναρμογή.

- Υδραυλική άρμωση (Άρμωση με υδραυλική πίεση)

Η **SKF** πρωτοπορεί στις μεθόδους υδραυλικού μονταρίσματος, όπως η μέθοδος έγχυσης λαδιού και η μέθοδος μετατόπισης κατά άξονα.

- 1) Η μέθοδος έγχυσης λαδιού κάνει το μοντάρισμα των ρουλεμάν εύκολη δουλειά, επιτρέπει στα ρουλεμάν και σε άλλα εξαρτήματα με σφιχτή συναρμογή να μοντάρονται με ασφαλή, ελεγχόμενο και γρήγορο τρόπο.
- 2) Η μέθοδος μετατόπισης κατά μήκος του άξονα της **SKF**. Η μέθοδος προϋποθέτει την χρήση του υδραυλικού περικοχλίου **HMV..E** (σχ.39) της **SKF**, με ένα ρολόι ένδειξης και με ένα μετρητή πίεσης, τοποθετημένα στην επιλεγμένη αντλία (σχ.40).



Σχήμα (39)



Σχήμα (40)

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για ρύθμιση των βαρελοειδών ρουλεμάν. Η διαδικασία μονταρίσματος γίνεται ρυθμίζοντας πρώτα την πίεση (ανάλογα με το μέγεθος του ρουλεμάν), καθορίζουμε τον αριθμό των επιφανειών που ολισθαίνουν κατά την διάρκεια του μονταρίσματος, λιπαίνουμε ελαφρά όλες τις συνεργαζόμενες επιφάνειες. Στην συνέχεια, μετατοπίζουμε το ρουλεμάν κατά μήκος του άξονα μέχρι την κατάλληλη θέση.

- Χρήση θερμαντήρων (Άρμωση με χρήση θερμότητας)

Για την θέρμανση του ρουλεμάν πριν το μοντάρισμα, χρησιμοποιούνται δεξαμενές λαδιού. Αυτή η μέθοδος προκαλεί εισαγωγή ξένων σωμάτων στο ρουλεμάν και επομένως πρόωρη βλάβη. Σήμερα όμως η θέρμανση των ρουλεμάν γίνεται με επαγωγικούς θερμαντήρες.

Η **SKF** καθιέρωσε τους επαγωγικούς θερμαντήρες για την αποφυγή καταστροφής του ρουλεμάν κατά την θέρμανση.

## 7.2 Εργαλεία μονταρίσματος ρουλεμάν

- Σετ εργαλείων άρμωσης **SKF TMTF 36**

Το σετ αυτό είναι σχεδιασμένο για γρήγορο και ακριβές μοντάρισμα μειώνοντας τον κίνδυνο φθοράς των ρουλεμάν. Ο σωστός συνδυασμός δαχτυλιδιών και σωλήνων μονταρίσματος επιτρέπει την μεταφορά της δύναμης χωρίς να καταστρέφει τον άξονα και τα στοιχεία κύλισης.



Σχήμα (40)

- Επαγωγικοί θερμαντήρες **TMBH/ΤΙΗ** (σχ. 41/42)

Η δύναμη που απαιτείται για να μοντάρουμε ένα ρουλεμάν αυξάνεται γεωμετρικά όσο αυξάνεται το μέγεθος του. Τα μεγάλα ρουλεμάν δεν προσαρμόζονται εύκολα στον άξονα ή την φωλιά. Έτσι, πριν την τοποθέτηση, θερμαίνουμε το ρουλεμάν ή και την φωλιά. Η απαραίτητη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στο ρουλεμάν και την θέση άρμωσης εξαρτάται από το μέγεθος της σύσφιξης και το μέγεθος του ρουλεμάν. Η θερμοκρασία του ρουλεμάν συνήθως είναι 80<sup>0</sup> C-90<sup>0</sup> C πάνω από την θερμοκρασία του άξονα. Ποτέ δεν θερμαίνουμε το ρουλεμάν σε θερμοκρασία υψηλότερη από τους 125<sup>0</sup> C διότι υπάρχει κίνδυνος διαστολής του, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε αποκλίσεις στις διαστάσεις ή στην σκληρότητα του.



Σχήμα (41)



Σχήμα (42)

### 7.3 Μέθοδοι ξεμονταρίσματος ρουλεμάν

Το ξεμοντάρισμα είναι δύσκολη και επικίνδυνη εργασία. Όταν ξεμοντάρουμε ρουλεμάν, πρέπει να προσέχουμε μην κάνουμε ζημιά σε άλλα εξαρτήματα όπως άξονες ή φωλιές που θα οδηγήσουν σε μείωση της απόδοσης και του χρόνου λειτουργίας των μηχανών. Ακόμα, ζημιά μπορεί να προκληθεί κατά την διάρκεια του μονταρίσματος στο ίδιο ρουλεμάν που θα ξαναχρησιμοποιηθεί στο μέλλον στην ίδια ή σε άλλη διάταξη. Η σωστή μέθοδος και τα κατάλληλα εργαλεία είναι σημαντικά όχι μόνο για αποφυγή ζημιών των εξαρτημάτων αλλά και για την ασφάλεια του προσωπικού, αποφεύγοντας επικίνδυνους τραυματισμούς κατά την εργασία.

- Μηχανική εξάρμοση

Η μηχανική εξάρμοση γίνεται με εξολκέα (σχ. 43). Για σωστή και ασφαλή εξάρμοση διαλέγουμε τον κατάλληλο εξολκέα, όπου παίζει σημαντικό ρόλο ο τύπος και η μέγιστη έλξη που εφαρμόζει. Υπερφόρτιση του εξολκέα μπορεί να προκαλέσει σπάσιμο του βραχίονα ή της ράβδου του.



Σχήμα (43)

Γενικά, συστήνεται η χρήση εξολκέων με τρεις βραχίονες, που είναι πιο σταθεροί από τους απλούς εξολκείς (σχ. 44).



Σχήμα (44)

- Εξάρμωση με χρήση θερμότητας

Συνήθως στα κυλινδρικά ρουλεμάν, ο εσωτερικός δακτύλιος έχει πολύ σφιχτή συναρμογή και απαιτεί μεγάλες δυνάμεις στο ξεμοντάρισμα του. Σε αυτές τις περιπτώσεις η χρήση εξολκέα μπορεί να προκαλέσει ζημιά στον άξονα και να τραυματίσει τον χειριστή. Με την χρήση θερμαινόμενων εργαλείων γίνεται εύκολα και γρήγορα το ξεμοντάρισμα και μειώνεται ο κίνδυνος ζημιών των εξαρτημάτων.

- Εξάρμωση με υδραυλικές μεθόδους

Οι υδραυλικές μέθοδοι της **SKF** προτιμούνται συνήθως για εξάρμωση μεγάλων ρουλεμάν και άλλων εξαρτημάτων. Αυτές οι μέθοδοι, κάνουν χρήση υδραυλικών αντλιών, περικοχλίων και ιντζέκτορων λαδιού (**Oil injectors**), που δημιουργούν τις απαραίτητες δυνάμεις για το ξεμοντάρισμα.

#### 7.4 Ασφάλεια στο ξεμοντάρισμα

Για μέγιστη ασφάλεια κατά του μονταρίσματος των ρουλεμάν:

- Πάντα φοράμε προστατευτικά ρούχα και γυαλιά
- Χρησιμοποιούμε κάλυμμα ασφαλείας γύρω από τον εξολκέα και το ρουλεμάν, ώστε να μειώνεται ο κίνδυνος τραυματισμού σε περίπτωση που σπάσει ο εξολκέας λόγω υπερφόρτισης.
- Πάντα φοράμε αντιθερμικά γάντια όταν ξεμοντάρουμε με χρήση θερμότητας.
- Δεν χτυπάμε απευθείας το ρουλεμάν με αντικείμενα όπως σφυρί και καλέμι.



## 7.5 Εργαλεία μονταρίσματος ρουλεμάν

- Σειρά εξολκέων **TMMA (Easy pull)**

Θεωρείται ένα από τα φιλικότερα για τον χρήστη και ασφαλέστερα εργαλεία της αγοράς (σχ. 45). Έχει δυνατότητα έλξης μέχρι 120 kN με ενσωματωμένο ελατήριο που λυγίζει σε περίπτωση υπερφόρτισης ειδοποιώντας μ' αυτόν τον τρόπο τον χρήστη πριν σπάσει κάποιο εξάρτημα.



Σχήμα (45)

- Υδραυλικοί εξολκείς σειράς **TMMA (Hydraulic Easy pull)**

Με μέγιστη δύναμη έλξης μέχρι 100 kN από υδραυλικά έμβολα (σχ.46). Οι εξολκείς προστατεύονται από την υπερφόρτιση με βαλβίδες εκτόνωσης.

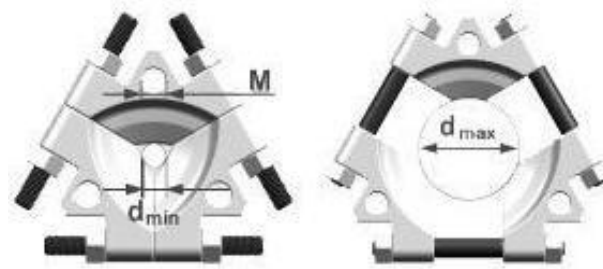


Σχήμα (46)

- Τριμερές πιάτο οπίσθιας έλξης σειράς **TMMS**

Αυτό το εξάρτημα είναι ειδικά σχεδιασμένο για χρήση σε συνδυασμό με τρίποδους εξολκείς. Το πιάτο πιάνει πίσω από το εσωτερικό δαχτυλίδι (σχ. 47) του ρουλεμάν όπου εμποδίζει τη μεταφορά της δύναμης έλξης μέσω του εξωτερικού δαχτυλιδιού και των

στοιχείων κύλισης και έτσι ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο καταστροφής του ρουλεμάν. Εφαρμόζει σε άξονες με διάμετρο 50 έως 380 mm.



Σχήμα (47)

- Δαχτυλίδια θέρμανσης αλουμινίου σειράς **TMBR**

Αυτά τα δαχτυλίδια είναι ειδικά σχεδιασμένα (σχ. 48) για το ξεμοντάρισμα των κυλινδρικών ρουλεμάν.



Σχήμα (48)

- Ρυθμιζόμενοι επαγωγικοί θερμαντήρες σειράς **EAZ**

Για συχνό ξεμοντάρισμα κυλινδρικών ρουλεμάν χρησιμοποιούνται αυτοί οι ρυθμιζόμενοι επαγωγικοί θερμαντήρες (σχ. 49).



Σχήμα (49)



# Κεφάλαιο

# 8



## 8. Όργανα συντήρησης

### 8.1 Bearing Checker 100

#### 8.1.1 Γενική περιγραφή

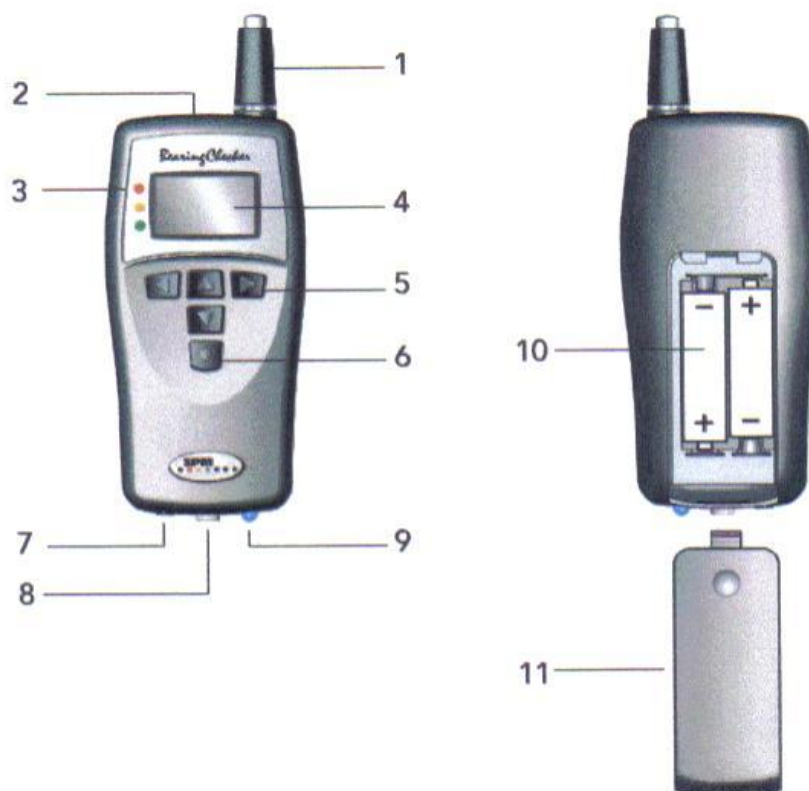
Το **SPM BC 100** χρησιμοποιείται για την μέτρηση του επιπέδου των κρουστικών παλμών κατά την διάρκεια λειτουργίας της μηχανής μέσω ενσωματωμένου μικροεπεξεργαστή που αναλύει δείγματα κρουστικών παλμών από διαφορετικά ρουλεμάν και καταγράφει πληροφορίες για την λειτουργική τους κατάσταση. Χρησιμοποιείται επίσης και για την μέτρηση της θερμοκρασίας των διαφόρων επιφανειών της μηχανής με την βοήθεια ενός υπέρυθρου αισθητήρα.

Αυτό το όργανο (σχήμα. 50) λειτουργεί με μπαταρία και είναι σχεδιασμένο να αντέχει ακόμα και στις σκληρές συνθήκες του περιβάλλοντος της βιομηχανίας. Διαθέτει μία οθόνη (4) που καταγράφει τις διαφορετικές πληροφορίες των μετρήσεων και τρία μικρά λαμπάκια LED (3) (Πράσινο-Κίτρινο-Κόκκινο) που δίνουν άμεσα την κατάσταση του ρουλεμάν. Ο αισθητήρας του οργάνου (1) διαθέτει έναν μετατροπέα που μετατρέπει τους κρουστικούς παλμούς σε ηλεκτρικό σήμα για να διαβάζονται από το όργανο. Διαθέτει και ειδικά ακουστικά που συνδέονται σε μία θύρα (7) του οργάνου τα οποία απομονώνουν τον ήχο για καλύτερη παρακολούθηση των ρουλεμάν λειτουργώντας ως ηλεκτρονικό στηθοσκόπιο, εντοπίζοντας μ' αυτόν τον τρόπο ηχητικές ανωμαλίες κατά την λειτουργία της μηχανής.



Σχήμα (50)

### 8.1.2 Περιγραφή οργάνου



Σχήμα (51)

1. Αισθητήρας
2. Υπέρυθρος αισθητήρας (Για έλεγχο της θερμοκρασίας)
3. Λαμπάκια ένδειξης κατάστασης LED
4. Οθόνη καταγραφής πληροφοριών
5. Κουμπιά πλοήγησης
6. Κουμπί έναρξης/λήψης της μέτρησης
7. Θύρα ακουστικών
8. Θύρα σύνδεσης μετατροπέα
9. Μετρητικό λαμπάκι LED μπλε χρώματος
10. Θήκη μπαταριών
11. Κάλυμμα μπαταριών που περιέχει τον σειριακό αριθμό οργάνου.

### 8.1.3 Εξοπλισμός οργάνου (SPM BEARING CHECKER 100)



Σχήμα (52)

- **EAR12** Ειδικά ακουστικά
- **TRA73** Εξωτερικός μετατροπέας με ενσωματωμένο αισθητήρα
- **TRA74** Σταθερός μετατροπέας με καλώδιο σύνδεσης
- **CAB52** Καλώδιο με συνδετήρα για μόνιμο μετατροπέα 1.5 m
- **15286** Θήκη μεταφοράς εξωτερικού μετατροπέα
- **15287** Μεγάλη θήκη για μεταφορά εξοπλισμού
- **15288** Προστατευτική θήκη με λουρί για δέσιμο στο καρπό
- **15455** Προστατευτική θήκη για κρέμασμα στην ζώνη
- **93363** Καλώδιο LEMO-BNC
- **93062** Καλώδιο BNC-TNC με πρίζα σύνδεσης.



Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φαίνονται στον πίνακα (5)

<b>Casing/cover:</b>	ABS/PC, IP54
<b>Size:</b>	158 x 62 x 30 mm (6.2 x 2.4 x 1.2 in)
<b>Weight:</b>	185 g (6.5 ounces) including battery
<b>Keypad:</b>	Sealed membrane (silicone rubber)
<b>Display:</b>	Graphic monochrome, 64 x 128 pixels, LED backlight
<b>Bearing condition indication:</b>	Green, yellow and red light LEDs
<b>Measurement indication:</b>	Blue light LED
<b>Power supply:</b>	2 x 1.5 V AA batteries, alkaline or rechargeable
<b>Battery life:</b>	> 20 hrs of normal use
<b>Operating temperature:</b>	0 to +50°C (32 to 122°F)
<b>Input connector:</b>	Lemo coaxial, for external shock pulse transducers (probe or quick connector)
<b>Output connector:</b>	3,5 mm stereo mini plug for headphones
<b>General functions:</b>	Battery status display, transducer line test, metric or Imperial units of measurement, language independent menus with symbols, storage of up to 10 measurement values
<b>Shock pulse measurement</b>	
<b>Measurement technique:</b>	dBm/dBc, measuring range -9 to 90 dB <sub>SV</sub> , ±3 dBsv
<b>Transducer type:</b>	Built-in probe transducer
<b>Temperature measurement</b>	
<b>Temperature range:</b>	-10 to +185 °C (14 to 365°F)
<b>Resolution:</b>	1 °C (1°F)
<b>Transducer type:</b>	Thermopile Sensor TPS 334/3161, built-in contact free IR-sensor
<b>Stethoscope</b>	
<b>Headphone mode:</b>	8 level amplification
<b>Article no.</b>	
BC100 Bearing Checker	

Πίνακας (5)

#### 8.1.4 Περιγραφή της λειτουργίας του οργάνου

Για να θέσουμε σε λειτουργία το όργανο πατάμε το κουμπί εκκίνησης (6), στην συνέχεια με τα κουμπιά πλοήγησης (5) διαλέγουμε έναν τύπο μέτρησης (σχ. 53).

Χρησιμοποιώντας τον ενσωματωμένο αισθητήρα, η μέτρηση αρχίζει αυτόματα την στιγμή που το άκρο του αισθητήρα πιέζεται προς τα μέσα. Με την χρήση εξωτερικού αισθητήρα, η μέτρηση αρχίζει πατώντας πάλι το κουμπί (6) για έλεγχο ρουλεμάν.



Σχήμα (53)

Κατά την διάρκεια της μέτρησης το μπλε LED αναβοσβήνει δείχνοντας πως γίνεται μέτρηση, μόλις τελειώσει η μέτρηση σβήνει. Τότε τα τρία λαμπάκια LED (3) (Πράσινο-Κίτρινο-Κόκκινο) δείχνουν την κατάσταση του ρουλεμάν που μετρήθηκε (σχ. 54).



Σχήμα (54)

Αν το όργανο μείνει ανενεργό για δυο λεπτά, σβήνει αυτόματα ή μπορούμε να το σβήσουμε πατώντας ταυτόχρονα το αριστερό και το δεξί κουμπί πλοήγησης. Στην επόμενη εκκίνηση το όργανο θα επαναλάβει τις τελευταίες ρυθμίσεις.

Η αποθήκευση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων είναι πολύ χρήσιμη δυνατότητα όπου μπορούμε να κάνουμε σύγκριση παλιών με καινούργιων μετρήσεων ή ακόμα

αποθηκεύουμε προσωρινά μέχρι και δέκα μετρήσεων μέχρι να σημειωθούν στο βιβλιário της μηχανής

Αυτό το φορητό όργανο χρησιμοποιείται για γρήγορη και εύκολη μέτρηση. Το σύστημα πλοήγησης που διαθέτει το κάνει εύχρηστο, χωρίς να απαιτείται εξειδικευμένη γνώση από τους χρήστες.

### 8.1.5 Μπαταρίες

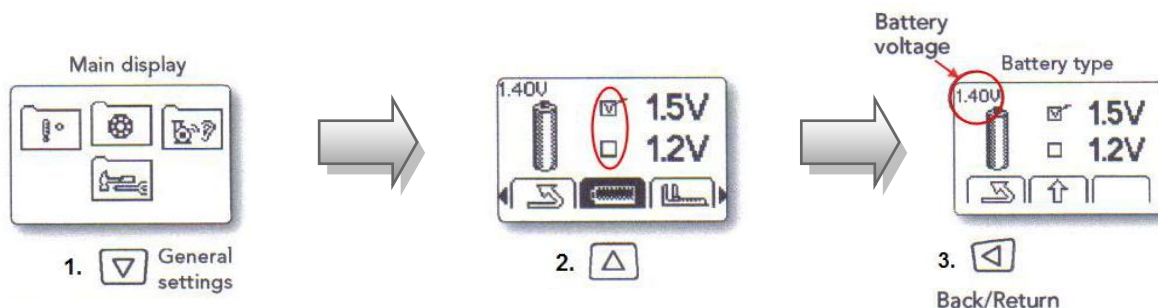
Λειτουργεί με δύο Αλκαλικές μπαταρίες τύπου **MN 1500 LR6** 1.5 V ή επαναφορτιζόμενες 1.2 V που μπαίνουν στο πίσω μέρος του οργάνου (σχ. 55) και αφαιρούνται από την συσκευή σε περίπτωση επαναφόρτισης.



Σχήμα (55)

Για να ρυθμίσουμε την λειτουργία των μπαταριών θα ακολουθήσουμε τα παρακάτω βήματα (βλ. σχήμα 56) :

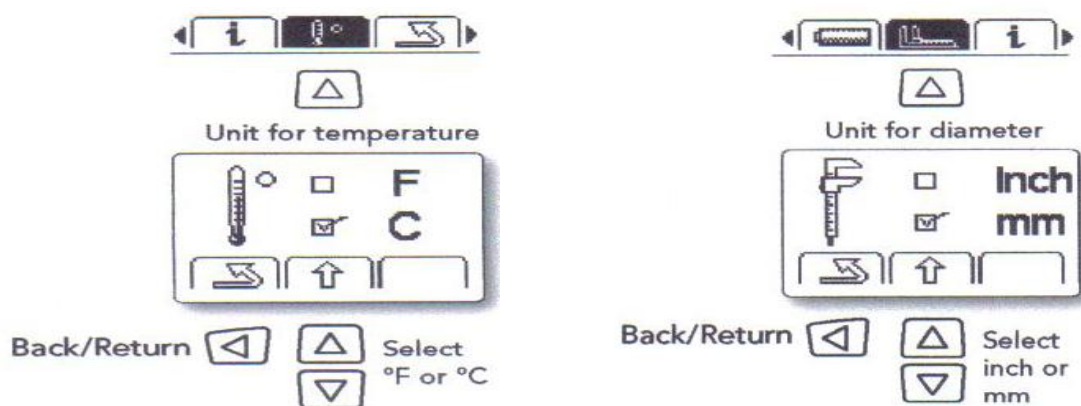
1. Από το κεντρικό κατάλογο πατάμε το βέλος προς τα κάτω για να μπούμε στον κατάλογο των γενικών ρυθμίσεων
2. Με τα βέλη πλοήγησης διαλέγουμε το εικονίδιο της μπαταρίας και πατάμε το βέλος που δείχνει πάνω για να ενεργοποιηθούν οι ρυθμίσεις της μπαταρίας
3. Για να επιστρέψουμε στο κεντρικό κατάλογο, πατάμε το αριστερό βέλος.



Σχήμα (56)

Η κατάσταση των μπαταριών φαίνεται στην οθόνη όπου μπορούμε να δούμε το επίπεδο τους και να τις αλλάξουμε την κατάλληλη στιγμή. Η διάρκεια ζωής των μπαταριών εξαρτάται από την χρήση του οργάνου. Μέγιστη ενέργεια καταναλώνεται κατά την διάρκεια της μέτρησης, δηλαδή από την στιγμή που πατάμε το κουμπί έναρξης μέχρι να καταγραφεί η μέτρηση στην οθόνη. Αν πρόκειται να αποθηκεύσουμε το όργανο για μεγάλο χρονικό διάστημα, αφαιρούμε τις μπαταρίες γιατί πιθανή διαρροή τους μπορεί να καταστρέψει το όργανο.

Μπορούμε επίσης να ρυθμίζουμε ακόμα τις μονάδες μέτρησης θερμοκρασίας ( $^{\circ}\text{C}$  ή  $^{\circ}\text{F}$ ), και τις μονάδες μέτρησης ρουλεμάν (Inch ή mm) (σχήμα. 57)



Σχήμα (57)

### 8.1.6 Ενδείξεις οργάνου

Το **SPM BC 100** μετράει την ταχύτητα πρόσκρουσης εντός μίας μεγάλης δυναμικής ακτίνας. Προκειμένου να απλοποιηθούν η ένδειξη και επομένως η αποτίμηση της κατάστασης, χρησιμοποιείται μία λογαριθμική μετρητική μονάδα dBsv (decibel shock value).

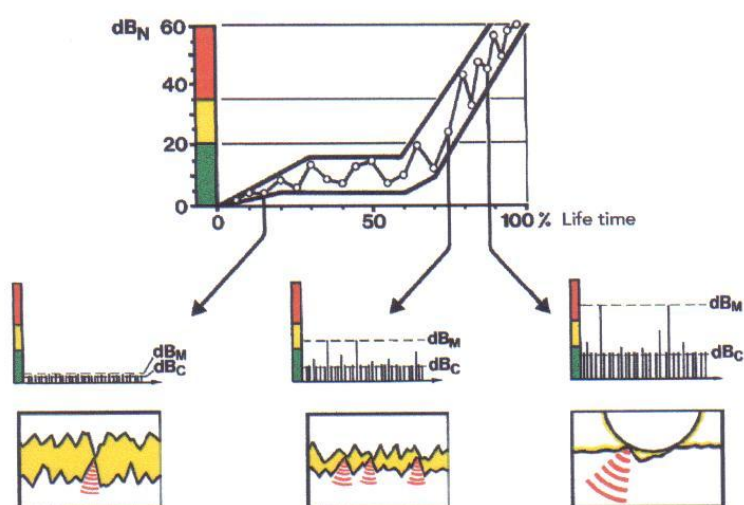
Το dBsv είναι η γενική μετρητική μονάδα των κρουστικών παλμών και μετρώντας μ' αυτήν την μονάδα μας δίνεται ένα μέρος της πληροφορίας που χρειάζεται για να κρίνουμε σωστά την λειτουργική κατάσταση του ρουλεμάν. Το άλλο μέρος της πληροφορίας που χρειάζεται είναι ένα πρότυπο σύγκρισης που αποκτάται μετρώντας επίπεδα κρουστικών παλμών πολλών καινούργιων ρουλεμάν και μετράται σε μονάδα dBi

(decibel initial) η οποία συσχετίζεται με την ταχύτητα περιστροφής του ρουλεμάν και με την διάμετρο της ατράκτου. Η τιμή σε dBi μπορεί να μετράται από το όργανο ή να εισάγεται χειροκίνητα με τιμή  $-9 < \text{dBi} < +60$ . Αν επιχειρήσουμε να εισάγουμε μία τιμή εκτός του προηγούμενου ορίου θα προκύψει μη αναγνωρίσιμη ένδειξη οργάνου dBi « - - ». Για να αποκτήσουμε την κανονική τιμή κρουστικού παλμού dBn (decibel normalized), αφαιρούμε την τιμή dBi από την dBsv. Η μονάδα dBn είναι η μονάδα μέτρησης για την κατάσταση λειτουργίας των ρουλεμάν. Το SPM BEARING CHECKER παίρνει ένα δείγμα μέτρησης κρουστικών παλμών που προέκυψε σε μία περίοδο και δείχνει:

- Τιμή dBm για το μικρό αριθμό των ισχυρών κρουστικών παλμών
- Τιμή dBc για το μεγάλο αριθμό των ασθενών κρουστικών παλμών
- Λαμπάκια ένδειξης LED (Normalized readings only): Πράσινο μέχρι 20 dBn (Καλή κατάσταση)- Κίτρινο 21-34 dBn (Προσοχή)- Κόκκινο μέχρι 35 dBn και άνω (Κακή).

Μπορούμε να ρυθμίσουμε το όργανο να μετράει σε ένδειξη dBi. Τότε η κατάσταση του ρουλεμάν θα υποδηλώνεται αμέσως στην οθόνη σε «πράσινο- κίτρινο- κόκκινο» για «καλή- μειωμένη- κακή» λειτουργική κατάσταση του μετρούμενου ρουλεμάν αντίστοιχα (σχ. 58).

Για μη κανονική ένδειξη (Unnormalized readings), ρυθμίζουμε το όργανο για μέτρηση σε dBi αλλά μετράμε σε dBsv χωρίς ένδειξη λειτουργικής κατάστασης. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται για συγκριτικές ενδείξεις σε διαφορετικά ρουλεμάν ή/και σε κρουστικούς παλμούς άλλης προέλευσης.



Σχήμα (58)

### 8.1.7 Πεδίο μέτρησης

Το πεδίο μέτρησης του SPM BC 100 είναι ευρύ, καλύπτει τις περισσότερες εφαρμογές των ρουλεμάν. Όμως υπάρχουν περιπτώσεις όπου απαιτείται χρήση αισθητήρων μόνιμης εγκατάστασης για την παρακολούθηση του επιπέδου των κρουστικών παλμών.

- Ρουλεμάν μεγάλης ταχύτητας:

Το BC 100 αποδέχεται μέχρι: 19999 rpm, 1999 mm διάμετρος ατράκτου και 40 dBi.

Shaft (mm)	50	100	180	300	500	1000	1999
rpm	19999	13000	10000	6000	5000	3 400	2200
dBi	40	40	40	40	40	40	40

Shaft (mm)	50	100	180	300	500	650	1000	1999
rpm	210	140	100	72	52	45	35	24
dBi	0	0	0	0	0	0	0	0

Πίνακας (6)

Ο πίνακας (6) περιέχει παραδείγματα δυνατών συνδυασμών ταχυτήτων περιστροφής και διαμέτρων ατράκτου που δίνουν ένα μέγιστο dBi (πάνω μέρος) και dBi=0 (κάτω μέρος). Υπάρχει δυνατότητα ρύθμισης του οργάνου χειροκίνητα σε μέγιστη τιμή 60 dBi, όπου το όργανο θα χρησιμοποιηθεί για μέτρηση υπερσυμπιεστή ή κιβώτιο ταχυτήτων υψηλής ταχύτητας.

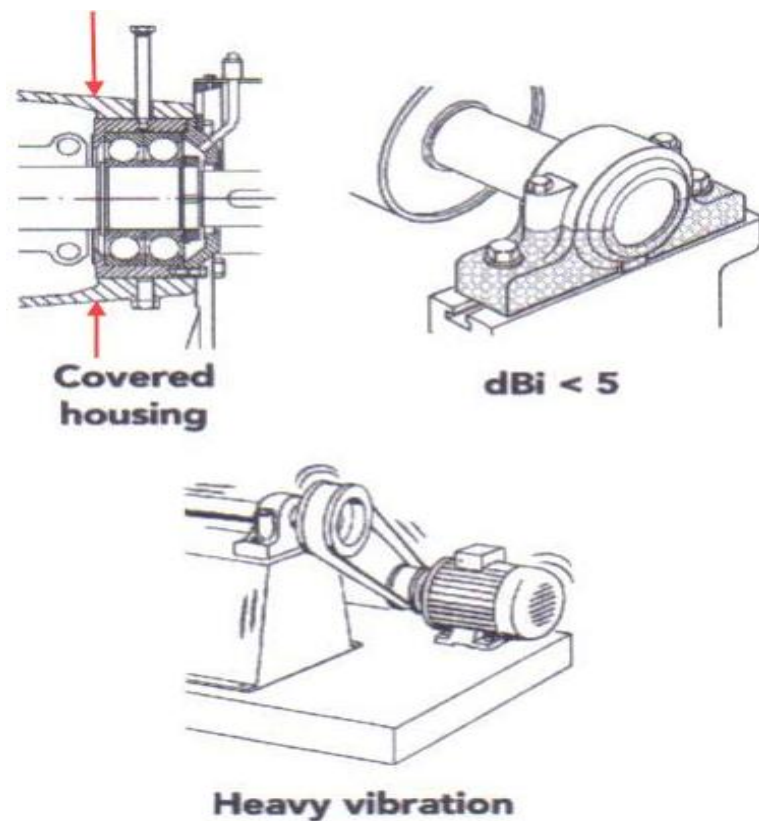
- Ρουλεμάν χαμηλής ταχύτητας:

Η ελάχιστη δυνατή τιμή dBi που δέχεται το όργανο είναι -9 dB. Ωστόσο είναι δύσκολο να βγάλουμε σαφείς ενδείξεις για ρουλεμάν που λειτουργούν σχετικά σε χαμηλές στροφές (ένδειξη κοντά στο μηδέν). Για να το πετύχουμε αυτό θα πρέπει το ρουλεμάν να έχει αρκετή φόρτιση με καλά καθορισμένη κατεύθυνση.

- Χρήση μόνιμων ληπτών:

Η εγκατάσταση μόνιμων ληπτών συνιστάται σε όλες τις εφαρμογές μέτρησης κρουστικών παλμών (SPM). Άλλα είναι αυστηρώς απαραίτητα σε τρεις περιπτώσεις (σχ. 59):

- 1) Ρουλεμάν με dBi χαμηλότερο του 5
- 2) Βαριά δονούμενο κέλυφος ενός ρουλεμάν
- 3) Σκεπασμένο κέλυφος ενός ρουλεμάν.



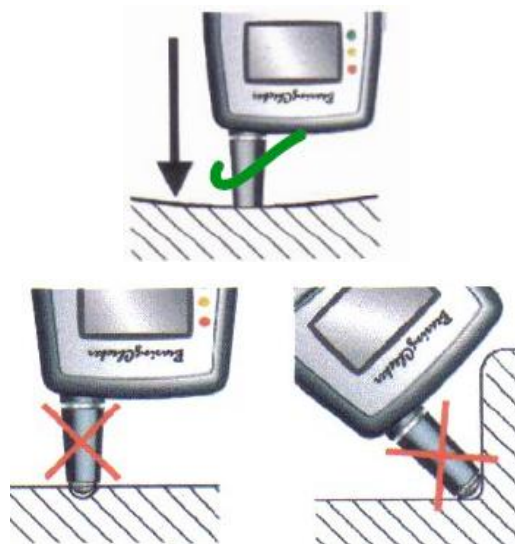
Σχήμα (59)

### 8.1.8 Αισθητήρες οργάνου

- Ενσωματωμένος αισθητήρας με μετατροπέα:

Τα ευδιάκριτα σημεία λήψης μας δίνουν την δυνατότητα να επαναλαμβάνουμε κάθε φορά τις μετρήσεις από τη ίδια θέση ώστε να εξασφαλιστούν συγκρίσιμες μετρήσεις και ενδείξεις. Το άκρο του αισθητήρα λειτουργεί με ελατήριο και προστατεύεται από σκληρό καουτσούκ. Για να μετρήσουμε σε ένα σημείο, κρατάμε σταθερά το όργανο και πιέζουμε το άκρο του αισθητήρα έναντι της επιφάνειας μέχρι να ακουμπήσει το σκληρό

καουτσούκ την επιφάνεια της μηχανής, με τέτοιο τρόπο ώστε να μην τρίβεται το άκρο πάνω στην επιφάνεια. Κατά την διάρκεια της λήψης φροντίζουμε πάντα το όργανο να βρίσκεται σε ευθεία κατεύθυνση με το ρουλεμάν (βλ. σχήμα 60) και να αποφεύγουμε την επαφή του άκρου του αισθητήρα με κοιλότητες και γωνιές της επιφάνειας της μηχανής καθώς σε τέτοια σημεία δεν λαμβάνονται σωστές μετρήσεις σχήμα (60).



Σχήμα (60)

- Εξωτερικός αισθητήρας (λαβή) με μετατροπέα (**TRA73**):

Αυτός ο εξωτερικός αισθητήρας έχει ίδια κατασκευή με τον ενσωματωμένο αισθητήρα του οργάνου και χρησιμοποιείται σε περίπτωση που είναι δύσκολη η πρόσβαση σε σημείο λήψης για κάποιο λόγο (σχ. 61).



Σχήμα (61)



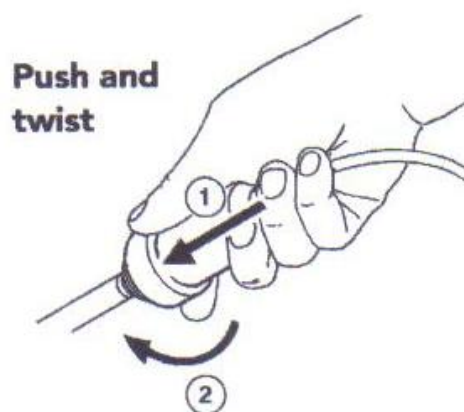
- Αισθητήρας για ταχεία σύνδεση (**Quick connector TRA74**):

Όλα τα είδη αισθητήρων συνδέονται στην θύρα (8) του οργάνου όπως έχουμε εξηγήσει σε προηγούμενα εδάφη. Για συστηματική μέτρηση κρουστικών παλμών συνίσταται χρήση μόνιμων αισθητήρων (ληπτών) με συνδετήρα για γρήγορη σύνδεση όποτε απαιτείται μέτρηση. Το σημείο λήψης μέτρησης απαιτεί τοποθέτηση κατάλληλης υποδοχής (Adapter) που έχει σχήμα βίδας φτιαγμένο από σκληρό μέταλλο (σχ. 62) και βγαίνει σε διάφορα μήκη και μεγέθη σπειρώματος όπως απαιτεί η εφαρμογή.



Σχήμα (62)

Για να συνδέσουμε τον αισθητήρα με τον Adapter πιέζουμε τον ένα στο άλλο και στριφογυρίζουμε δεξιόστροφα όπως φαίνεται στο σχήμα (63) .



Σχήμα (63)

- Μόνιμος αισθητήρας με ομοαξονικό καλώδιο:

Ένας αισθητήρας μόνιμης εγκατάστασης χρησιμοποιείται όταν το σημείο μέτρησης δεν είναι προσιτό και δεν πετυχαίνουμε σύνδεση του οργάνου με τον λήπτη για να γίνει μέτρηση. Συνδέεται ο αισθητήρας με το σημείο μέτρησης μέσω ομοαξονικού καλωδίου μικρού μήκους (σχ. 64) που αντέχει υψηλές θερμοκρασίες και έχει καλή στεγανότητα. Στερεώνεται καλά το καλώδιο και προστατεύεται έναντι κινδύνου ζημιάς αν απαιτείται. Τονίζουμε πως οι λήπτες πρέπει να παραμένουν καθαροί και χωρίς βλάβες, μπορούμε να χρησιμοποιούμε πώματα **SPM (Dust cap)** που προστατεύουν τους λήπτες από σκόνη και υγρασία.



Σχήμα (64)

### 8.1.9 Λειτουργία ως στηθοσκόπιο

Τα ακουστικά **EAR12** είναι ένα σημαντικό αξεσουάρ του εξοπλισμού του SPM BEARING CHECKER 100. Αυτά τα ακουστικά μας δίνουν την δυνατότητα να παρακολουθούμε και να ακούσουμε το επίπεδο των κρουστικών παλμών και να προσδιορίσουμε την πηγή του παλμού. Μετά από μια μέτρηση SPM συνδέουμε τα ακουστικά στην θύρα (7) του οργάνου (σχ. 65), και ρυθμίζουμε το επίπεδο του πλάτους του σήματος που θέλουμε να παρακολουθήσουμε με τα πάνω/κάτω βέλη. Κάθε σήμα που είναι πιο χαμηλό από το επίπεδο που διαλέγουμε θα φιλτράρεται.

Ρυθμίζουμε ακόμα και την ένταση του ήχου για να βελτιώσουμε την καθαρότητα του ήχου των ακουστικών μέχρι ένα επιθυμητό επίπεδο. Προσέχουμε όμως μην ανεβάσουμε την ένταση στο μέγιστο γιατί μπορεί να δημιουργεί βλάβη στα αυτιά του χρήστη.



Σχήμα (65)

Για να ακούσουμε τους κρουστικούς παλμούς και τους θορύβους που δημιουργεί η μηχανή μετά από μέτρηση κρουστικών παλμών SPM, συνδέουμε τα ακουστικά στο όργανο και στον κεντρικό κατάλογο με το πάνω βελάκι διαλέγουμε την λειτουργία ρουλεμάν. Μετά μπαίνουμε στην λειτουργία (Ακοή) που μας εμφανίζει την τιμή dBm της τελευταία μέτρησης. Πατώντας το κουμπί έναρξης αρχίζει η διαδικασία παρακολούθησης του θορύβου και των ηχητικών ανωμαλιών της μηχανής.

#### 8.1.10 Λειτουργία ως θερμόμετρο

Ένας υπέρυθρος αισθητήρας (βλ. σχήμα 66) έχει ένα φίλτρο για την υπέρυθρη ακτινοβολία που πρέπει να είναι πάντα καθαρό για να δώσει σωστά αποτελέσματα μετρήσεων. Όταν η μέτρηση γίνεται σε απόσταση 5 cm περίπου από το όργανο η περιοχή μέτρησης καλύπτει μια ακτίνα 36 mm, ενώ αν γίνει από απόσταση 10 cm καλύπτει μια ακτίνα 115 mm.



Σχήμα (66)

Μία γυαλισμένη επιφάνεια μετάλλου εκπέμπει λιγότερη ακτινοβολία από μία βαμμένη επιφάνεια, γι' αυτό αν μετράμε σε μία γυαλισμένη επιφάνεια κολλάμε ένα ειδικό χαρτί ή βάφουμε λίγο την επιφάνεια αυτή για να έχουμε σωστές μετρήσεις. Δίνεται μεγάλη προσοχή στις άχρωμες (άβαφες) επιφάνειες οι οποίες αντανακλούν θερμική ακτινοβολία από τα περιβάλλοντα αντικείμενα.

Για να μετρήσουμε την θερμότητα, πηγαίνουμε στο κεντρικό κατάλογο και πατάμε αριστερό βελάκι για να διαλέξουμε την λειτουργία (θερμοκρασία). Στην συνέχεια ακουμπάμε τον αισθητήρα του οργάνου στην επιφάνεια που θέλουμε να μετρήσουμε και πατάμε το κουμπί εκκίνησης για να αρχίσει η μέτρηση.



## 8.2 CMIN INSPECTOR 400-SKF

### 8.2.1 Γενική περιγραφή

Το INSPECTOR 400 χρησιμοποιεί την τεχνολογία υπερήχου (**Ultrasound Technology**) που αναφέρεται γενικά ως ατμοσφαιρικός υπέρηχος (**Airborne Ultrasound**). Ο Airborne Ultrasound ασχολείται με την εκπομπή και λήψη υπερήχων διαμέσου της ατμόσφαιρας χωρίς την ανάγκη ηχητικών αγωγών. Περιλαμβάνει μεθόδους λήψης σημάτων που προκαλούνται μέσω ενός ή περισσότερων υλικών υπό οδηγούς κύματος. Από τη στιγμή που το Ultrasound είναι μία υψηλή συχνότητα, αποτελεί ένα βραχύ ηχητικό κύμα με διαφορετικές ιδιότητες από τους ακουστικά ευδιάκριτους ή χαμηλής συχνότητας ήχους. Ένας χαμηλής συχνότητας ήχος απαιτεί μικρότερη ακουστική ενέργεια για να διανύσει την ίδια απόσταση σε σχέση με έναν υψηλής συχνότητας ήχο.

Η «τεχνολογία υπερήχου» (**Ultrasound Technology**) ασχολείται με ηχητικά κύματα που εμφανίζονται πέρα από την ανθρώπινη αντίληψη. Η μέση ακουστική ικανότητα της ανθρώπινης αντίληψης αγγίζει τα 16.500 Hz. Αν και υπάρχουν άνθρωποι που μπορούν να συλλάβουν ήχους που εμφανίζονται στη συχνότητα των 21.000 Hz, η τεχνολογία **Ultrasound** ασχολείται εν γένει με συχνότητες 20.000 Hz και πάνω.

Πρακτικά, υπάρχουν υπερηχητικά στοιχεία σε όλες τις μορφές τριβής. Για παράδειγμα αν τρίψετε μεταξύ τους τον αντίχειρα και τον δείκτη του χεριού σας, προκαλείτε ένα σήμα στο υπερηχητικό εύρος. Ίσως να αντιλαμβάνεστε αμυδρά τους ακουστικά ευδιάκριτους τόνους αυτής της τριβής, αλλά με το **INSPECTOR 400** μπορείτε να τους ακούσετε σε υπερβολικά μεγάλη ένταση. Αυτό το όργανο μεταφέρει το σήμα σε ένα ακουστικά ευδιάκριτο εύρος και στη συνέχεια το ενισχύει. Λόγω του εκ φύσεως συγκριτικά χαμηλού πλάτους του υπερήχου, η ενίσχυση του σήματος είναι πρωταρχικής σημασίας.

Αν και υπάρχουν προφανώς ακουστικά ευδιάκριτοι ήχοι που εκπέμπονται από τον εν λειτουργία εξοπλισμό, τα υπερηχητικά στοιχεία των ακουστικών εκπομπών είναι εκείνα που έχουν τη μεγαλύτερη σημασία. Στην προληπτική συντήρηση, πολλές φορές κάποιος άνθρωπος ακούει ένα ρουλεμάν μέσω ενός πολύ απλού μέσου (συντηρητής με εμπειρία) και καθορίζει τη φθορά του. Από τη στιγμή που το άτομο αυτό συλλαμβάνει μόνο τα

ηχητικά στοιχεία του σήματος, τα αποτελέσματα αυτού του τύπου διάγνωσης θα είναι χονδρικά.

Οι μικροαλλαγές εντός του υπερηχητικού εύρους δεν είναι αντιληπτές και επομένως παραλείπονται. Όταν για ένα ρουλεμάν μπορούμε να πούμε ότι δεν λειτουργεί σωστά κρίνοντας από τους ακουστικά ευδιάκριτους ήχους που παράγει, τότε χρειάζεται άμεση αντικατάσταση. Ο υπέρηχος όμως παρέχει μία προβλέψιμη διαγνωστική ικανότητα. Όταν αρχίζουν να λαμβάνουν χώρα αλλαγές στο υπερηχητικό εύρος, υπάρχει χρόνος για να σχεδιαστεί η κατάλληλη ενέργεια συντήρησης. Στον τομέα ανίχνευσης διαρροής, ο υπέρηχος παρέχει μία ταχύτατη και με μεγάλη ακρίβεια μέθοδο για τον εντοπισμό μικρών ή μεγάλων διαρροών. Εφόσον ο υπέρηχος είναι ένα σήμα βραχέως κύματος, τα υπερηχητικά στοιχεία μίας διαρροής είναι ισχυρότερα και πιο καθαρά κοντά στην πηγή απ' όπου και εκπέμπονται. Σε εργοστάσια με υψηλά επίπεδα θορύβου αυτό το χαρακτηριστικό του υπέρηχου, το κάνει ακόμη πιο χρήσιμο. Οι περισσότεροι ήχοι στο περιβάλλον ενός εργοστασίου, παρεμποδίζουν τις χαμηλών συχνοτήτων ηχητικές εκπομπές μιας διαρροής και συνεπώς καθιστούν τον εντοπισμό της από το ανθρώπινο αυτί αδύνατο.

Από τη στιγμή που το INSPECTOR 400 δεν παρεμποδίζεται από τους ήχους χαμηλών συχνοτήτων, μπορεί να αντιληφθεί τα υπερηχητικά στοιχεία της διαρροής και επομένως να την εντοπίσει ταχύτατα με απλή σάρωση της υπό εξέταση περιοχής. Οι ηλεκτρικές εκκενώσεις όπως (Arc, Corona, Tracking)<sup>1</sup> έχουν ισχυρά υπερηχητικά στοιχεία και μπορούν να εντοπιστούν άμεσα. Ακόμα και αυτά τα προβλήματα μπορούν να αποκαλυφθούν σε θορυβώδες περιβάλλον λειτουργίας με το INSPECTOR 400 (Σχήμα. 67).



Σχήμα (67)

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φαίνονται στον πίνακα (7)

<b>Κατασκευή:</b>	Συσκευή τύπου πιστολιού από πλαστικό ABS, υπερηχητικός επεξεργαστής με εσωκλειστο αισθητήρα από ανοξείδωτο χάλυβα
<b>Στοιχεία κυκλώματος:</b>	SMD/ Στερεάς Κατάστασης υβριδικός ετερόδυνος λήπτης
<b>Συχνότητα απόκρισης:</b>	20 – 100 kHz (εστιασμένη στα 38 – 42 kHz)
<b>Δείκτης:</b>	Συμβολοενδείκτης (ερυθρός) 10 τμημάτων (LED)
<b>Επιλογή Ευαισθησίας:</b>	8 θέσεων με εξασθένηση ακριβείας
<b>Τροφοδοσία:</b>	Αλκαλική μπαταρία 9 V (μη επαναφορτιζόμενη)
<b>Δείκτης Χαμηλής τάσης μπαταρίας:</b>	LED
<b>Ακουστικά:</b>	Ζεύγος ακουστικών με καλωδίωση, μονοφωνικό, Φαινόμενη Αντίσταση: 16Ω. Πλέον των 23 db εξασθένηση θορύβου.
<b>Χρόνος Απόκρισης:</b>	300 msec
<b>Λειτουργία σε θερμοκρασία:</b>	0 <sup>0</sup> – 50 <sup>0</sup> C (32 <sup>0</sup> – 120 <sup>0</sup> F)
<b>Σχετική Υγρασία:</b>	10 – 95% μη συμπυκνωμένη μέχρι τους 30 <sup>0</sup> C (86 <sup>0</sup> F)
<b>Θερμοκρασία Αποθήκευσης:</b>	-18 <sup>0</sup> – 54 <sup>0</sup> C (0 <sup>0</sup> – 130 <sup>0</sup> F)
<b>Διαστάσεις</b>	14 x 5 x 20 cm (5.5 x 2 x 8 ")
<b>Βάρος:</b>	310 gr. (11 oz.)
<b>ΕΠΑΦΕΙΣ</b>	
<b>Μονάδα Σάρωσης SCM-1:</b>	Μονός μετατροπέας σήματος από ανοξείδωτο χάλυβα τύπου πιεζοηλεκτρικού κρυστάλλου
<b>Αισθητήρας Επαφής (Στηθοσκόπιο):</b>	Από ανοξείδωτο χάλυβα με οδηγό κυμάτων 14cm.
<b>Ελαστικός Επαφέας:</b>	Κυκλικού σχήματος, θωρακίζει από παράπλευρα σήματα υπερήχων, εστιάζει στα προς ανίχνευση σήματα
<b>Θήκη Μεταφοράς:</b>	Cordura/Nylon με επένδυση από αφρώδες υλικό στη γεωμετρία του οργάνου
<b>Εγγύηση:</b>	Ένα έτος

Πίνακας (7)



### 8.2.2 Εξοπλισμός του Inspector ultrasonic probe (CMIN 400-K)

Τα βασικά εξαρτήματα που περιλαμβάνει το σετ (σχήμα. 68) είναι:



Σχήμα (68)

- Το πιστόλι:

Το κυριότερο εξάρτημα του οργάνου INSPECTOR 400 είναι το πιστόλι (σχ. 69). Ας δούμε εκτενέστερα τις λειτουργίες του.



Σχήμα (69)

- Οπτική Ένδειξη - Ο μετρητής αποτελείται από συμβολοενδείκτη δέκα τμημάτων (LED) που καταδεικνύει την ένταση του υπερηχητικού σήματος. Μικρός αριθμός αναμμένων λυχνιών (LED) καταδεικνύει χαμηλό επίπεδο υπερήχων, ενώ πιο έντονα υπερηχητικά σήματα αποτυπώνονται με περισσότερες αναμμένες λυχνίες.
- Λυχνία Μπαταρίας - Αυτή η κόκκινη λυχνία ανάβει μόνον όταν οι μπαταρίες χρειάζονται αλλαγή.
- Επιλογέας ευαισθησίας - Υπάρχουν οκτώ (8) επίπεδα ευαισθησίας. Όταν ο επιλογέας ανοίγει, αυξάνεται η ευαισθησία του οργάνου και όταν κλείνει, μειώνεται η ευαισθησία. Επομένως, 8 είναι το υψηλότερο επίπεδο ευαισθησίας και 1 το χαμηλότερο. Αν το επίπεδο του υπερήχου που θα ανιχνευτεί είναι πολύ μεγάλο, ρυθμίστε το επίπεδο ευαισθησίας χαμηλά.
- Υποδοχέας βύσματος ακουστικών - Στη θέση αυτή συνδέεται το ζευγάρι ακουστικών. Αν κάνετε χρήση συσκευής εγγραφής ήχου, σε αυτόν τον υποδοχέα θα τοποθετηθεί το καλώδιο (χρήση βύσματος miniphone)
- Σκανδάλη/Διακόπτης - Η σκανδάλη/διακόπτης βρίσκεται στην από κάτω πλευρά του INSPECTOR 400. Το όργανο είναι πάντα στη θέση {off} μέχρι να πιεστεί η σκανδάλη. Για να το ενεργοποιήσετε, απλά πιέστε την σκανδάλη και για να το απενεργοποιήσετε ελευθερώστε την.

- Μονάδα σάρωσης:

Για την χρήση της μονάδας σάρωσης ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:

1. Συνδέστε την στο μπροστινό άκρο του πιστολιού
2. Ξεκινήστε με τον επιλογέα ευαισθησίας στο μέγιστο (8)
3. Αρχίστε να σαρώνετε την υπό εξέταση περιοχή

4. Μετρήστε από τα σημεία που εκπέμπουν συγκεχυμένους ήχους προς τα σημεία που εκπέμπουν πιο ξεκάθαρους ήχους. Αν υπάρχει μεγάλη ένταση υπερήχων, μειώστε το επίπεδο ευαισθησίας, τοποθετήστε τον ελαστικό επαφέα (περιγράφεται παρακάτω) πάνω από τη μονάδα σάρωσης και συνεχίστε τη σάρωση προς το σημείο που η ένταση του ήχου γίνεται μέγιστη. Αν είναι δύσκολος ο εντοπισμός του ήχου λόγω της υψηλής ευαισθησίας, μειώστε επιπλέον το επίπεδο ευαισθησίας και συνεχίστε τη σάρωση.

Αυτή η μονάδα χρησιμοποιείται για τη λήψη ατμοσφαιρικού υπερήχου όπως είναι οι υπέρηχοι που εκπέμπονται από διαρροές πίεσης ή ηλεκτρικές εκκενώσεις. Για να χρησιμοποιηθεί, βεβαιωθείτε ότι είναι τοποθετημένο στο μπροστινό άκρο του πιστολιού. Ευθυγραμμίστε το βύσμα του πιστολιού με την μονάδα σάρωσης και εισάγετε ομοιόμορφα.

- Ελαστικός Επαφέας - Ο ελαστικός επαφέας είναι μία ελαστική θωράκιση κυκλικού σχήματος. Χρησιμοποιείται για να μπλοκάρει τους παράπλευρους υπερήχους και βοηθά στη μείωση του πεδίου λήψης της μονάδας σάρωσης. Επιπλέον αυξάνει την ευαισθησία. Για να το χρησιμοποιήσετε, προσαρμόστε τον στη μονάδα σάρωσης ή τον αισθητήρα επαφής.

- Αισθητήρας Επαφής (Στηθοσκόπιο)

Για να χρησιμοποιήσετε τον αισθητήρα επαφής:

- 1) Ευθυγραμμίστε τον πείρο στο πίσω μέρος του αισθητήρα με το βύσμα στο μπροστινό άκρο του πιστολιού και πιέστε ομοιόμορφα
- 2) Ακουμπήστε στην υπό εξέταση περιοχή
- 3) Όπως και με τη μονάδα σάρωσης, μετρήστε από τα σημεία που εκπέμπουν συγκεχυμένους ήχους προς τα σημεία που εκπέμπουν πιο ξεκάθαρους ήχους. Αρχίστε με το μέγιστο επίπεδο ευαισθησίας και μειώστε μέχρι να επιτευχθεί ικανοποιητικός ήχος και επίπεδο μέτρησης.

- Ακουστικά

Τα ακουστικά επιτρέπουν στο χρήστη να ακούσει με ευκολία τους ήχους που λαμβάνονται από το **INSPECTOR 400**. Για να τα χρησιμοποιήσετε απλώς κουμπώστε το καλώδιο στον υποδοχέα βύσματος ακουστικών που βρίσκεται στο σώμα του πιστολιού και τοποθετήστε τα ακουστικά στα αυτιά σας. Εναλλακτικά διατίθεται και το **CMAC 8600-2**, ένα ζεύγος ακουστικών μονωτικού τύπου με ευκρίνεια ήχου. Αν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί κράνος ασφαλείας, προτείνεται η χρήση του εναλλακτικού μοντέλου **CMAC 8600-3** που είναι ειδικά σχεδιασμένο για αυτήν την περίπτωση.

### 8.2.3 Εντοπισμός διαρροής

- Διαδικασία εντοπισμού και επιβεβαίωση διαρροής
  - 1) Χρησιμοποιήστε τη μονάδα σάρωσης.
  - 2) Ξεκινήστε με τον επιλογέα ευαισθησίας στο 8 (μέγιστο).
  - 3) Αρχίστε να σαρώνετε στοχεύοντας με τη μονάδα την υπό εξέταση περιοχή. Μετρήστε από τα σημεία που εκπέμπουν συγκεχυμένους ήχους προς τα σημεία που εκπέμπουν πιο ξεκάθαρους ήχους ρυθμίζοντας την ευαισθησία του οργάνου όσο πλησιάζετε την εστία της διαρροής.
  - 4) Αν ανιχνεύετε υπερήχους μεγάλης έντασης, μειώστε την ευαισθησία και συνεχίστε να σαρώνετε την υπό εξέταση περιοχή.
  - 5) Αν είναι δύσκολη η απομόνωση της διαρροής λόγω παράπλευρων υπερηχητικών εκπομπών, προσαρμόστε τον ελαστικό επαφέα στη μονάδα σάρωσης και συνεχίστε να σαρώνετε την υπό εξέταση περιοχή.
  - 6) Ακούστε έναν «αιχμηρό» ήχο ενώ παρατηρείτε το μετρητή.
  - 7) Ακολουθήστε τον ήχο μέχρι το σημείο που η ένταση του γίνεται μέγιστη. Ο μετρητής θα προβάλλει υψηλότερη ένδειξη καθώς θα προσεγγίζεται η διαρροή.
  - 8) Προκειμένου να εστιάσετε στη διαρροή, να μειώνετε την ευαισθησία του οργάνου όσο το πλησιάζετε στην υποπτευόμενη εστία διαρροής μέχρι να μπορείτε να την επιβεβαιώσετε.

Όταν ένα αέριο περνά από ένα μικρό στόμιο υπό πίεση, η ροή του μετατρέπεται από πεπιεσμένη στρωτή σε χαμηλής πίεσης τυρβώδη. Ο στροβιλισμός προκαλεί ένα ευρύ φάσμα ήχου που λέγεται λευκός θόρυβος<sup>2</sup> (White Noise). Υπάρχουν υπερηχητικά στοιχεία σε αυτό το "λευκό θόρυβο". Ο εντοπισμός αυτών των σημάτων είναι συνήθως αρκετά απλός, καθώς ο υπέρηχος είναι ενισχυμένος στην εστία της διαρροής. Γενικώς κάθε αέριο, συμπεριλαμβανομένου του αέρα, έχει τυρβώδη ροή όταν διαφεύγει από ένα μικρό στόμιο. Οι αισθητήρες αερίων είναι συγκεκριμένοι ανά τύπο αερίου ενώ το INSPECTOR 400 επικεντρώνεται στις ηχητικές εκπομπές ανεξάρτητα από τον τύπο του αερίου. Ένας αισθητήρας αερίων περιορίζεται λοιπόν στο συγκεκριμένο αέριο που σχεδιάστηκε να ανιχνεύει. Το INSPECTOR 400 μπορεί να ανιχνεύσει διαρροή οποιουδήποτε αερίου, καθώς εντοπίζει τον υπέρηχο που παράγει η τυρβώδης ροή της διαρροής. Μπορούν να ελεγχθούν πνευματικά συστήματα και πεπιεσμένες καλωδιώσεις, όπως αυτές που χρησιμοποιούνται από τηλεφωνικές εταιρείες. Επίσης, συστήματα αερόφρεων σε σιδηροδρομικά οχήματα, φορτηγά και λεωφορεία. Δεξαμενές, σωληνώσεις, κελύφη και αγωγοί μπορούν εύκολα να δοκιμαστούν αν ασκηθεί εσωτερική πίεση.

Για να επιβεβαιώσετε την ύπαρξη μίας διαρροής, τοποθετήστε τη Μονάδα Σάρωσης ή τον ελαστικό επαφέα πλησίον την υποπτευόμενης εστίας διαρροής και κινήστε το ελαφρώς μπρος-πίσω σε όλες τις διευθύνσεις. Αν η διαρροή βρίσκεται σε εκείνο το σημείο, καθώς σαρώνετε, η ένταση του ήχου αυξομειώνεται. Σε μερικές περιπτώσεις, είναι σκόπιμο να τοποθετήσετε τον ελαστικό επαφέα απευθείας πάνω από την υποπτευόμενη εστία διαρροής και να πιέστε προς τα κάτω ώστε να τη μονώσετε από περιβάλλοντες ήχους. Αν υπάρχει διαρροή τότε ο αιχμηρός ήχος συνεχίζεται ενώ σε αντίθετη περίπτωση η ένταση του ήχου υποβιβάζεται.

- Παράπλευροι Υπέρηχοι

Σε περίπτωση που παράπλευροι υπέρηχοι καθιστούν δύσκολη την απομόνωση της διαρροής, υπάρχουν δύο μέθοδοι αντιμετώπισης:

1. Επέμβαση στο περιβάλλον. Αυτή η διαδικασία είναι άμεση. Όπου καθίσταται εφικτό σταματήστε τα μηχανήματα που παράγουν παράπλευρους υπέρηχους ή απομονώστε την περιοχή κλείνοντας μία πόρτα ή ένα παράθυρο.
2. Επέμβαση στο όργανο και χρήση τεχνικών θωράκισης. Αν η επέμβαση στο

περιβάλλον είναι ανέφικτη, προσπαθήστε να βρεθείτε το δυνατόν πλησιέστερα στην υπό εξέταση περιοχή και προσανατολίστε το όργανο σε διεύθυνση που δεν εστιάζει σε σημείο εκπομπής παράπλευρων υπερήχων. Απομονώστε την περιοχή διαρροής μειώνοντας την ευαισθησία του οργάνου και ωθώντας το άκρο του ελαστικού επαφά στην υπό εξέταση περιοχή, ελέγχοντας ένα μικρό τμήμα κάθε φορά.

Εφόσον ο υπέρηχος είναι ένα σήμα βραχέως κύματος και υψηλής συχνότητας, συνήθως μπορεί να μπλοκαριστεί ή να θωρακιστεί, μερικές συνηθισμένες τεχνικές είναι:

- Σώμα: τοποθετήστε το σώμα σας ανάμεσα στην υπό εξέταση περιοχή και τους παράπλευρους ήχους ώστε να λειτουργήσει ως φράγμα.
- Χρήση Γαντιού: (ΠΡΟΣΕΚΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ) Φορέστε ένα γάντι και αγκαλιάστε τον ελαστικό επαφά με τέτοιο τρόπο ώστε ο αντίχειρας και ο δείκτης του χεριού να ακουμπάνε στο άκρο του επαφά και το υπόλοιπο τμήμα του χεριού να ακουμπά στην υπό εξέταση περιοχή. Με τον τρόπο αυτό σχηματίζεται ένα φράγμα - το χέρι, ανάμεσα στην υπό εξέταση περιοχή και τον περιβάλλον θόρυβο. Μετακινείστε χέρι και όργανο ταυτόχρονα, πάνω από τις διάφορες ζώνες ελέγχου.
- Φράγμα: Όταν καλύπτετε μία μεγάλη περιοχή, είναι σκόπιμο να χρησιμοποιείτε κάποιο αντανακλαστικό μέσο, όπως ένα παραπέτασμα προστασίας από συγκόλληση ή ένα πανί που θα λειτουργήσει ως φράγμα. Τοποθετήστε το υλικό ώστε να σχηματίσει ένα «τείχος» ανάμεσα στην υπό εξέταση περιοχή και τους παράπλευρους ήχους. Μερικές φορές το φράγμα εκτείνεται από το πάτωμα ως το ταβάνι και άλλες φορές αναρτάται σε κουπαστή ή κιγκλίδωμα.

- Διαρροές Χαμηλού Επιπέδου

Σε μία διαρροή, η ένταση του ήχου εξαρτάται πολύ συχνά από το μέγεθος του στροβιλισμού που δημιουργείται στην εστία. Όσο μεγαλύτερος ο στροβιλισμός, τόσο δυνατότερος ο ήχος και αντίστοιχα, όσο μικρότερος ο στροβιλισμός, τόσο μικρότερη η ένταση του σήματος. Όταν ο ρυθμός διαρροής είναι τόσο χαμηλός που προκαλεί ελάχιστο ή και καθόλου ανιχνεύσιμο στροβιλισμό, χαρακτηρίζεται «υπό του ελάχιστου ευδιάκριτου σήματος» (Below Threshold). Αν μία διαρροή είναι τέτοιας φύσης τότε:

- Αυξήστε (ει δυνατόν) την πίεση ώστε να δημιουργηθεί μεγαλύτερος στροβιλισμός.
- Κάντε χρήση του Ενισχυτή Διαρροής Ρευστού (Liquid Leak Amplifier).

Ο ενισχυτής Διαρροής Ρευστού (LLA) είναι μία υγρή ουσία με ειδικές χημικές ιδιότητες και μοναδική σύνθεση. Χρησιμοποιείται για το λεγόμενο υπερηχητικό «τεστ φυσαλίδας», όπου μία μικρή ποσότητα του LLA χύνεται πάνω από την υποπευόμενη εστία διαρροής. Σχηματίζει μία λεπτή μεμβράνη την οποία διαπερνάει το διαφυγόν αέριο. Όταν αυτή η ουσία έρθει σε επαφή με αέριο χαμηλής ροής, σχηματίζει ταχύτατα ένα μεγάλο πλήθος μικρών φυσαλίδων (όπως ενός αεριούχου αναψυκτικού) που εκρήγνυνται εν τη γενέσει τους. Αποτέλεσμα αυτού του φαινομένου είναι η δημιουργία ενός υπερηχητικού κρουστικού κύματος που γίνεται αντιληπτό από το όργανο ως ένας χαρακτηριστικός ήχος/κροτάλισμα. Σε πολλές περιπτώσεις οι φυσαλίδες δεν είναι ορατές αλλά ακούγονται.

Η χαμηλή επιφανειακή τάση του LLA είναι η αιτία σχηματισμού των φυσαλίδων. Η παρουσία ρυπογόνων στοιχείων επιδρά καταλυτικά στο φαινόμενο και μπορεί να το αποτρέψει ή να οδηγήσει στο σχηματισμό μεγάλων φυσαλίδων. Στην περίπτωση αυτή καθαρίστε την εστία διαρροής με νερό, διαλύτη, ή οινόπνευμα (ελέγξτε τους κανονισμούς του εργοστασίου και της μηχανής πριν επιλέξετε το κατάλληλο απολυμαντικό/καθαρτικό μέσο).

#### **8.2.4 Γενικός έλεγχος μηχανολογικού εξοπλισμού**

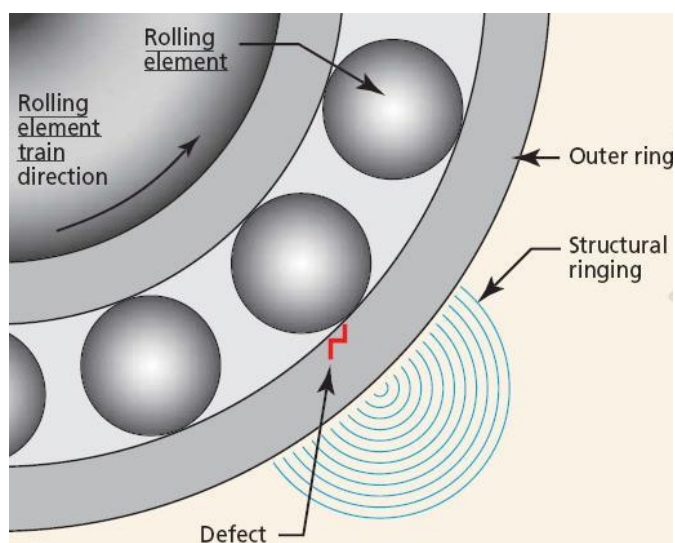
Ο υπερηχητικός έλεγχος και η παρακολούθηση της κατάστασης μίας μηχανής είναι μία ακόμη μέθοδος για τον εντοπισμό της έναρξης της αστοχίας ρουλεμάν. Η προειδοποίηση από τους υπερήχους εμφανίζεται γενικά πριν την αύξηση της θερμοκρασίας ή την αύξηση του επιπέδου δονήσεων στις χαμηλές συχνότητες. Ο υπερηχητικός έλεγχος των ρουλεμάν αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο διότι μπορεί να εντοπίσει:

- Την απαρχή της αστοχίας του ρουλεμάν λόγω κόπωσης.
- Το σχηματισμό εκκοιλάνσεων στις τροχιές κύλισης του ρουλεμάν.
- Φαινόμενα υπερλίπανσης/υπολίπανσης.

Στα ρουλεμάν λαμβάνει χώρα μία ανεπαίσθητη παραμόρφωση, όταν το μέταλλο στις τροχιές ή στα στοιχεία κύλισης αρχίζει να υφίσταται κόπωση. Η παραμόρφωση του μετάλλου προκαλεί μία αύξηση στην εκπομπή υπερηχητικών ακουστικών κυμάτων. Μεταβολές στο πλάτος από 12 ως 50 φορές σε σχέση με τις μετρήσεις κατά την απροβλημάτιστη λειτουργία αποτελούν μία ένδειξη της απαρχής της αστοχίας ρουλεμάν.

Όταν μία ένδειξη ξεπερνά κάθε προηγούμενη κατά 12 dB, μπορεί να υποθεθεί ότι το ρουλεμάν έχει εισέλθει στα πρώτα στάδια της αστοχίας του. Ένα υπερηχητικό σύστημα που βασίζεται στον εντοπισμό και ανάλυση διαμορφωμένων συχνοτήτων συντονισμού ρουλεμάν μπορεί να προμηθεύσει μία ουσιαστική ικανότητα εντοπισμού τη στιγμή που συμβατικές μέθοδοι παρακολούθησης δονήσεων αδυνατούν να εντοπίσουν βλάβες σε πολύ πρώιμο στάδιο. Καθώς το στοιχείο κύλισης περνάει από μία κοιλότητα ή ένα ελάττωμα στην επιφάνεια κύλισης, προκαλεί μία κρούση. Ένα από τα στοιχεία του ρουλεμάν διεγείρεται στη φυσική του συχνότητα και δονείται ή «κουδονίζει» λόγω των επαναλαμβανόμενων κρούσεων. Ο ήχος που παράγεται γίνεται αντιληπτός ως αύξηση στο πλάτος στις υπερηχητικές συχνότητες του ρουλεμάν.

Ο σχηματισμός εκκοιλάνσεων στις τροχιές κύλισης του ρουλεμάν εμφανίζει μία παρόμοια αύξηση στο πλάτος λόγω της ισοπέδωσης των στοιχείων κύλισης καθώς παραμορφώνονται στιγμιαία (βλ. σχήμα 70).



Σχήμα (70)

Αυτές οι παραμορφώσεις των στοιχείων κύλισης παράγουν ένα επαναλαμβανόμενο «κουδούνισμα» που εντοπίζεται ως αύξηση στο πλάτος στις υπό παρακολούθηση συχνότητες. Οι υπερηχητικές συχνότητες που ανιχνεύονται με το **INSPECTOR 400** αναπαράγονται ως ακουστικά ευδιάκριτοι ήχοι. Αυτό το σήμα μπορεί να βοηθήσει το χρήστη στο μέγιστο βαθμό για να αποφανθεί για προβλήματα ρουλεμάν. Συστήνεται η εξοικείωση του χρήστη με τους ήχους που εκπέμπει ένα ρουλεμάν που λειτουργεί άρτια. Ένα τέτοιο ρουλεμάν εκπέμπει ήχους αιχμηρούς ή ένα σταθερό σφύριγμα. Κροτάλισμα ή σκληροί ήχοι υποδεικνύουν ένα ρουλεμάν που έχει εισέλθει σε τροχιά αστοχίας. Σε



μερικές περιπτώσεις, κατεστραμμένο στοιχείο κύλισης ακούγεται ως ξερός μεταλλικός ήχος ενώ ένας υψηλής έντασης, ομοιόμορφα τραχύς ήχος μπορεί να υποδεικνύει κατεστραμμένη τροχιά κύλισης ή ομοιόμορφη καταστροφή στοιχείου κύλισης. Δυνατοί αιχμηροί ήχοι, παρόμοιοι με εκείνους που ακούγονται από ένα ρουλεμάν που λειτουργεί άρτια, μπορεί να υποδηλώνουν ελλιπή λίπανση. Μικρής διάρκειας αυξήσεις στο επίπεδο του ήχου με τραχεία στοιχεία υποδεικνύουν ότι το στοιχείο κύλισης περνάει πάνω από κάποια ανωμαλία και ολισθαίνει αντί να κυλιέται. Αν ανιχνευτεί τέτοια περίπτωση τότε πρέπει να προγραμματιστούν συχνότεροι έλεγχοι.

### **8.2.5 Ανιχνεύοντας Αστοχία Ρουλεμάν**

Θα ελέγξουμε δύο ρουλεμάν, το ένα έχει έλλειψη λιπαντικού και το άλλο υπερβολική ποσότητα λιπαντικού. Για την σύγκριση των δύο περιπτώσεων θα πραγματοποιήσουμε τα παρακάτω βήματα:

1. Χρησιμοποιήστε τον αισθητήρα επαφής (στηθοσκόπιο).
2. Επιλέξτε ένα σημείο δοκιμής πάνω στο έδρανο του ρουλεμάν. Ακουμπήστε το σημείο με τον αισθητήρα επαφής. Στον υπερηχητικό εντοπισμό, όσο περισσότερα είναι τα μέσα ή τα υλικά διαμέσου των οποίων πρέπει να περάσει ο υπέρηχος τόσο πιο μεγάλο το σφάλμα της μέτρησης. Για το λόγο αυτό, βεβαιωθείτε ότι ο αισθητήρας επαφής ακουμπάει πάνω στο έδρανο του ρουλεμάν. Αν αυτό είναι δύσκολο, ακουμπήστε πάνω στο στόμιο λίπανσης (γρασαδόρο) ή όσο το δυνατόν πλησιέστερα στο ρουλεμάν.
3. Προσεγγίστε τα ρουλεμάν υπό την ίδια γωνία, αγγίζοντας το ίδιο σημείο στο έδρανο του ρουλεμάν.
4. Μειώστε την ευαισθησία
5. Ακούστε τον ήχο του ρουλεμάν μέσω ακουστικών για να συλλάβετε την ποιότητα του σήματος και να αποφανθείτε ανάλογα.
6. Επιλέξτε όμοιου τύπου ρουλεμάν υπό όμοιες συνθήκες φόρτισης και ίδια περιτροφική ταχύτητα.
7. Συγκρίνετε διαφορές στις τιμές μέτρησης και την ποιότητα του ήχου.

Η παρουσία της λιπαντικής μεμβράνης στις επιφάνειες επαφής προκαλεί ένα είδος απόσβεσης στην κατανομή των τάσεων και η ακουστική ενέργεια που παράγεται είναι χαμηλή.

Αν η λίπανση μειωθεί μέχρι το σημείο που η κατανομή των τάσεων δεν θα υφίσταται, τα στοιχεία κύλισης έρχονται σε επαφή με την τροχιά και αυξάνουν την ακουστική ενέργεια. Αυτές οι κανονικές μικροσκοπικές ανωμαλίες αρχίζουν να παράγουν φθορά και αυξάνονται οι πιθανότητες ανάπτυξης μικρορωγμών, γεγονός που συνεισφέρει στην είσοδο στην τροχιά προς την αστοχία. Συνεπώς, εκτός από την κανονική φθορά, η κόπωση ή η διάρκεια ζωής του ρουλεμάν επηρεάζεται σημαντικά από το σχετικό πάχος της λιπαντικής μεμβράνης που παρέχει το κατάλληλο λιπαντικό.

Η παρακολούθηση ρουλεμάν που λειτουργούν σε χαμηλές ταχύτητες είναι εφικτός με το **INSPECTOR 400**. Λόγω του εύρους ευαισθησίας, είναι πολύ πιθανό να διαπιστωθεί η ποιότητα των ρουλεμάν από την ακουστική τους. Σε ρουλεμάν που λειτουργούν υπερβολικά αργά (λιγότερο από 25 rpm), είναι συχνά αναγκαίο να αγνοήσουμε την ένδειξη του μετρητή και να εστιάσουμε στους ήχους του ρουλεμάν. Σε αυτές τις ακραίες περιπτώσεις, τα ρουλεμάν είναι συνήθως μεγάλα (πάνω από 60 mm διάμετρος άξονα) και λιπαίνονται με γράσα με υψηλό ιξώδες. Πολύ συχνά μάλιστα δεν ακούγεται κανένας ήχος καθώς το γράσο απορροφά το μεγαλύτερο μέρος της ακουστικής ενέργειας. Αν γίνεται κάποιος ήχος αντιληπτός, συνήθως ένα κροτάλισμα, αυτό υποδηλώνει κάποια παραμόρφωση.

### 8.2.6 Εντοπισμός ελαττωματικών βαλβίδων

- Διαδικασία ελέγχου επιβεβαίωση διαρροής βαλβίδας σε θορυβώδεις εγκαταστάσεις
  1. Κάντε χρήση του αισθητήρα επαφής (στηθοσκόπιο).
  2. Αγγίξτε στην πλευρά χαμηλής πίεσης της βαλβίδας και ακούστε μέσω των ακουστικών.
  3. Αν υπάρχει υπερβολικός θόρυβος και είναι αναγκαίο, μειώστε την ευαισθησία.
  4. Για συγκριτικές μετρήσεις, ειδικά σε συστήματα υψηλής πίεσης:
  5. Αγγίξτε στην πλευρά υψηλής πίεσης της βαλβίδας και μειώστε την ευαισθησία για να ελαχιστοποιήσετε τον όποιο θόρυβο (μειώστε σε τέτοιο βαθμό ώστε η ένδειξη στο μετρητή να προσεγγίσει το 50%.)
  6. Αγγίξτε την έδραση της βαλβίδας ή/και την πλευρά χαμηλής πίεσης.

7. Συγκρίνετε τις ηχητικές διαφορές. Αν η βαλβίδα παρουσιάζει διαρροή, το επίπεδο του ήχου στην έδραση ή την πλευρά χαμηλής πίεσης θα είναι ίσο ή μεγαλύτερο από το αντίστοιχο στην πλευρά υψηλής πίεσης.

Πολλές φορές στα συστήματα υψηλής πίεσης προκαλούνται παράπλευρα σήματα από βαλβίδες που βρίσκονται πλησίον ή από σωληνώσεις (ή αγωγούς) που τροφοδοτούν μία σωλήνωση που βρίσκεται κοντά στην πλευρά χαμηλής πίεσης της βαλβίδας. Αυτές οι συνθήκες μπορεί να προκαλέσουν ψευδή σήματα διαρροής. Για να αποφανθείτε αν το δυνατό σήμα στην πλευρά χαμηλής πίεσης προέρχεται από διαρροή της βαλβίδας ή από κάποια άλλη πηγή:

- Κινηθείτε πλησίον την υποπευδόμενης πηγής (π.χ. τον αγωγό ή τη βαλβίδα).
- Αγγίξτε την πλευρά υψηλής πίεσης της υποπευδόμενης πηγής.
- Μειώστε την ευαισθησία σε τέτοιο βαθμό ώστε η ένδειξη στο μετρητή να προσεγγίσει το 50%.
- Αγγίξτε ανά μικρά διαστήματα (π.χ. κάθε 15-30 cm) και παρατηρείστε τις αλλαγές στο μετρητή.
- Αν το επίπεδο του ήχου μειώνεται όσο κινείστε προς την εξεταζόμενη βαλβίδα, αυτό υποδηλώνει ότι η βαλβίδα δεν παρουσιάζει διαρροή.
- Αν το επίπεδο του ήχου αυξάνεται όσο κινείστε προς την εξεταζόμενη βαλβίδα, αυτό υποδηλώνει ότι η βαλβίδα παρουσιάζει διαρροή.

Χρησιμοποιώντας τον αισθητήρα επαφής (στηθοσκόπιο) του **INSPECTOR 400**, μπορούμε εύκολα να παρακολουθήσουμε τις βαλβίδες και να αποφανθούμε αν λειτουργούν άρτια. Όταν ένα υγρό ή αέριο ρέει μέσω ενός σωλήνα, υπάρχει ελάχιστος ή καθόλου στροβιλισμός ροής εκτός αν υπάρχουν εμπόδια ή γωνίες στο σωλήνα. Στην περίπτωση διαρροής από μία βαλβίδα, το ρευστό μετατοπίζεται από μία περιοχή υψηλής πίεσης σε μία άλλη χαμηλής και προκαλεί στροβιλισμό στην πλευρά της χαμηλής πίεσης. Αυτό ακριβώς παράγει «λευκό θόρυβο». Τα υπερηχητικά στοιχεία αυτού του λευκού θορύβου είναι πολύ πιο έντονα από τον ακουστικά ευδιάκριτο θόρυβο. Αν η βαλβίδα εμφανίζει διαρροή εσωτερικά, οι υπερηχητικές εκπομπές που προκαλούνται από στο στόμιο συλλαμβάνονται και σημειώνονται στο μετρητή. Οι ήχοι στην εστία διαρροής μίας βαλβίδας ποικίλλουν και εξαρτώνται από την πυκνότητα του ρευστού. Σε

μερικές περιπτώσεις, ακούγεται ως λεπτό κροτάλισμα και σε άλλες ως ένας δυνατός αιχμηρός ήχος.

Η ποιότητα του ήχου εξαρτάται από το ιξώδες του ρευστού και από την εσωτερική διαφορική πίεση. Για παράδειγμα, όταν το νερό ρέει υπό μικρή ή μεσαία πίεση μπορεί εύκολα να αναγνωρισθεί. Όταν όμως ρέει υπό μεγάλη πίεση από μία βαλβίδα μερικώς ανοιχτή, τότε ακούγεται σαν ατμός. Για να το διαχωρίσετε: μειώστε την ευαισθησία, αγγίξτε έναν αγωγό ατμού και ακούστε την ποιότητα ήχου και στη συνέχεια κάντε το ίδιο σε έναν αγωγό νερού. Από τη στιγμή που θα εξοικειωθείτε με τις διαφορές του ήχου μπορείτε να συνεχίσετε τον έλεγχο.

### 8.2.7 Παράρτημα

1. Υπάρχουν τρία βασικά ηλεκτρικά προβλήματα που ανιχνεύονται με το INSPECTOR 400:
  - **Arc:** Το αρκ λαμβάνει χώρα όταν το ηλεκτρικό ρεύμα ρέει στο χώρο. Ένα καλό παράδειγμα είναι ο κεραυνός.
  - **Corona:** Όταν η ηλεκτρική τάση σε έναν αγωγό, όπως μία κεραία ή μία γραμμή υψηλής τάσης, ξεπερνάει μία οριακή τιμή (**Threshold Value**), ο αέρας που τον περιβάλλει αρχίζει να ιονίζεται και σχηματίζει μία μπλε ή μωβ λάμψη.
  - **Tracking:** Συχνά αναφέρεται ως «πρώιμο αρκ» και ακολουθεί την τροχιά της κατεστραμμένης μόνωσης.

Όταν ο ηλεκτρισμός διαφεύγει από γραμμές υψηλής τάσης ή όταν «υπερπηδά» ένα κενό σε μία ηλεκτρική σύνδεση, διαταράσσει τα μόρια του περιβάλλοντος αέρα και προκαλεί υπέρηχο. Πολύ συχνά αυτός ο ήχος γίνεται αντιληπτός ως κροτάλισμα ή ανάλογος με αυτόν του λαδιού εν βρασμό και σε άλλες περιπτώσεις ως βουητό.

2. Ο λευκός θόρυβος είναι ένας τύπος θορύβου που παράγεται στο συνδυασμό πολλών ευδιάκριτων ήχων που δημιουργούνται σε διαφορετικές συχνότητες. Μπορείτε να σκεφτείτε τον λευκό θόρυβο ως 20.000 τόνοι που παίζουν συγχρόνως.

## 8.3 Machine Condition Tester T30

### 8.3.1 Γενική περιγραφή

Το **Machine Condition Tester T30** είναι διαθέσιμο σε τρεις διαφορετικές εκδόσεις: **Basic** (σχ. 71), το **Logger** και το **Expert**.

Το **Basic** μετράει το επίπεδο κραδασμών, κρουστικούς παλμούς, ταχύτητα και θερμοκρασία. Δεν έχει δυνατότητα πρόσβασης στα δεδομένα και τα αποτελέσματα μετρήσεων εγγράφονται χειροκίνητα. Μπορεί να ρυθμιστεί να κάνει συνεχώς μετρήσεις όμως τα αποτελέσματα που καταγράφονται στην οθόνη δεν θα αποθηκευτούν.

Το **Logger** έχει τις λειτουργίες του **Basic**, αλλά έχει επιπλέον δυνατότητα σύνδεσης μέσω **SPM Software Condmaster® Pro** όπου παίρνει οδηγίες μέτρησης από H/Y και μεταφέρει τα αποτελέσματα στο H/Y μέσω καλωδίου. Μ' αυτήν την έκδοση μπορούμε να κρατήσουμε σχόλια και σημεία μέτρησης ακόμα και οδηγίες για συνεχής μέτρηση.

Το **Expert** έχει όσα έχουν οι προηγούμενες δύο εκδόσεις. Χρησιμοποιεί την μέθοδο ανάλυσης των δονήσεων (**EVAM<sup>®1</sup> method for vibration spectrum display and vibration analysis**)\*.

Αξίζει να σημειώσουμε πως μία έκδοση **Basic** μπορεί να αναβαθμιστεί σε **Logger** και **Expert**.



Σχήμα (71)

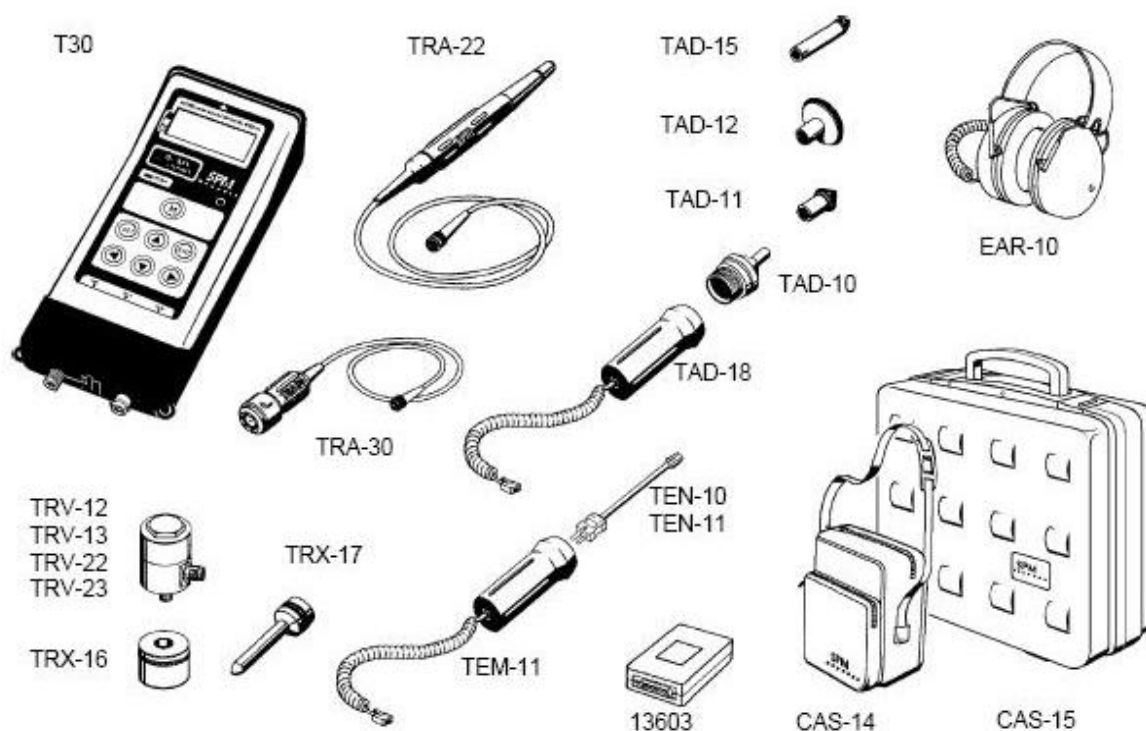
### 8.3.2 Περιγραφή οργάνου



Σχήμα (72)

1. Αναγνώστης λογισμικού για CondID™
2. Οθόνη καταγραφής πληροφοριών 4 x 16 χαρακτ.
3. Κλίμακα κατάστασης
4. Τύπος οργάνου
5. Δείκτης μέγιστων μετρήσεων
6. Λαμπάκι αισθητήρας
7. Κουμπί μέτρησης
8. Κουμπιά πλοήγησης (πάνω/ κάτω)
9. Κουμπιά πλοήγησης (δεξιά/ αριστερά)
10. Κουμπί εισόδου
11. Κουμπί ρύθμισης
12. Βύσματα συνδετήρων

### 8.3.3 Εξοπλισμός οργάνου (Machine Condition Tester T30)



Σχήμα (73)

- **T30** Όργανο ελέγχου κατάστασης μηχανής (Basic)
- **T31** Όργανο ελέγχου κατάστασης μηχανής (Logger)
- **T32** Όργανο ελέγχου κατάστασης μηχανής (Expert)
- **13603** Μονάδα μετάδοσης (Επικοινωνίας)
- **CAB-31** Καλώδιο υπολογιστή
- **CAB-32** Καλώδιο υπολογιστή
- **CAS-14** Θήκη μεταφοράς εξοπλισμού
- **CAS-14** Μεγάλη Θήκη μεταφοράς με αφρώδες πλαστικό για ασφάλεια
- **TRA22** Εξωτερικός μετατροπέας με ενσωματωμένο αισθητήρα
- **TRA30** Σταθερός μετατροπέας με καλώδιο σύνδεσης
- **EAR10** Ειδικά ακουστικά
- **TRV-12** Αισθητήρας κρουστικών παλμών
- **TRX-16** Αισθητήρας κρουστικών παλμών με μαγνητική βάση



Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φαίνονται στον πίνακα (8)

## Technical data

### Instrument specifications

General features:	language selection, battery test, continuous reading, transducer line test, autom. idle / power off
Temperature range:	0° to +50° C (32° to 120° F)
Power supply:	6 x 1.5 V LR6 alkaline cells
Battery life:	power down 1 year, or 5000 typical measurements, or continuous recording 50 hours
Size:	255 x 105 x 60 mm (10 x 4.2 x 2.4 in)
Weight:	0.85 kg (1.9 lb)
Casing/protective cover:	ABS / polyurethane
Keypad:	sealed membrane
Display:	LCD, 4x16 characters, LED backlight, adjustable, automatic on/off
Memory:	typical 500, max. 999 meas. points
Backup, memory/clock:	approx. 24 h.
Meas. point identification:	read and write to CondiD™

### Shock pulse (SPM<sup>®</sup>)

Measuring range:	- 9 to 99 dBsv
Resolution:	1 dBsv
Accuracy:	± 1 dBsv

### Vibration severity (ISO 10816)

Measuring range:	0.5 to 49.9 mm/s RMS (0.02 to 2.0 in/s RMS)
Resolution:	0.1 mm/s (0.01 in/s)
Accuracy:	± (0.2 mm/s + 2% of reading)
Frequency range:	3 – 1000 Hz

### Speed measurement

Measuring range:	10 to 19 999 rpm optical
Measuring distance:	max. 0.6 m (2 ft.)
Resolution:	1 rpm
Accuracy:	± (1 rev. + 0.1% of reading)

### Temperature measurement

Measuring range:	-50° to +440° C (-58° to +760° F)
Resolution:	1° C (1° F)

[Logger, Expert]

### Alternative measuring systems

No. per meas.point:	2
Additional info:	date / time and comments

### Long time recording

Meas. parameters:	SPM, VIB, temp./speed
Measuring interval:	adjust. 0 - 60 minutes

[Expert]

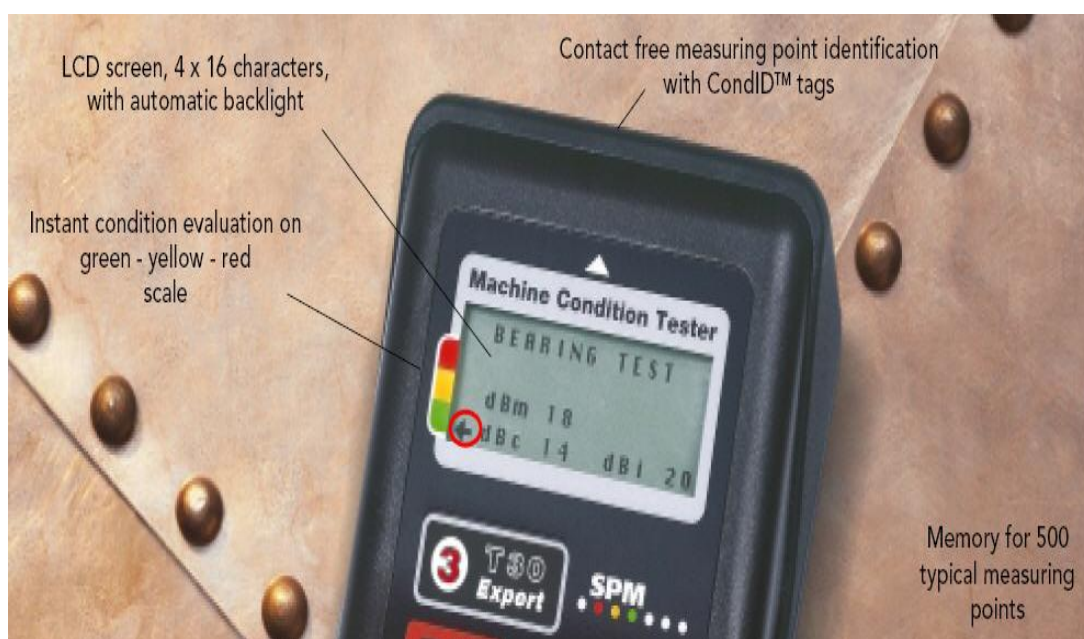
### Vibration analysis (EVAM<sup>®</sup>)

Window:	Hanning
Number of samples:	1024 / 2048
FFT result:	400 / 800 spectrum lines
Range, resolution at 400 / 800 lines:	3 – 200 Hz, 0.5 / 0.25 Hz 3 – 500 Hz, 1.25 / 0.625 Hz 3 – 1000 Hz, 2.5 / 1.25 Hz 3 – 2000 Hz, 5.0 / 2.5 Hz 3 – 5000 Hz, 12.5 / 6.25 Hz
Lines displayed:	15 highest, toggle Hz/cpm
Lines saved:	1 - 200 highest

Πίνακας (8)

### 8.3.4 Περιγραφή της λειτουργίας του οργάνου

Η οθόνη του οργάνου αποτελείται από τέσσερις γραμμές με δέκα έξι χαρακτήρες η κάθε μία. Πατώντας τα κουμπιά πλοήγησης δεξιά/αριστερά μας δίνει την δυνατότητα επιλογής το είδος της μέτρησης που θέλουμε να πραγματοποιήσουμε. Οι κατάλογοι (**Menu**) για μέτρηση **RPM** και της θερμοκρασίας εμφανίζονται μόνο σε περίπτωση που συνδέουμε τον εξωτερικό αισθητήρα (**Probe**) στο όργανο. Οι ενδείξεις **Πράσινο-Κίτρινο-Κόκκινο** στην εξωτερική αριστερή πλευρά της οθόνης δείχνουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων (**SPM** ή **VIB**) με ένα βέλος (σχ. 74).



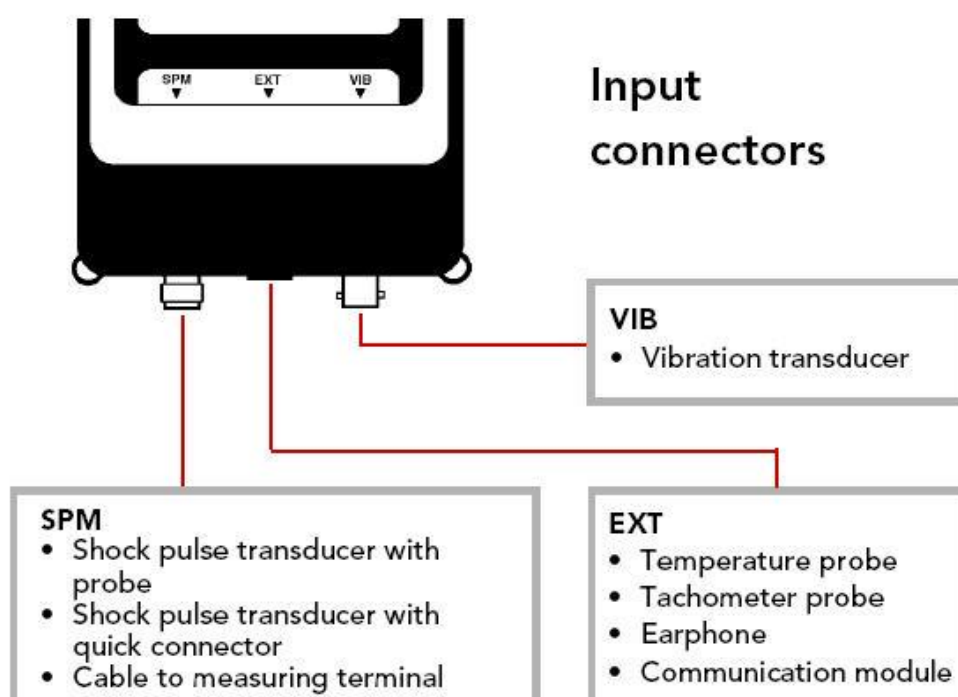
Σχήμα (74)

Η λειτουργία των κουμπιών εξαρτάται από τον τύπο μέτρησης που έχει ενεργοποιηθεί. Το όργανο έχει πολλές λειτουργίες γι 'αυτό τον λόγο αδυνατεί να ορίζει κάθε κουμπί για μία εντολή μόνο. Μια εξαίρεση είναι το κουμπί (**M:7**) το οποίο χρησιμοποιείται για το ξεκίνημα όλων των μετρήσεων. Το κουμπί (**ENT:10**) επιβεβαιώνει μία επιλογή, σώζει τιμές και ρυθμίσεις. Σε περίπτωση που θέλουμε μία συνεχόμενη μέτρηση πατάμε (**M:7**) + (**ENT:10**) ταυτόχρονα και για να σταματήσουμε την συνεχόμενη μέτρηση κρατάμε οποιοδήποτε κουμπί πατημένο εκτός από το κουμπί **M** για 0,5 δευτερόλεπτο. Όμως, σε απλή λειτουργία κρατώντας πατημένο οποιοδήποτε κουμπί το όργανο φορτώνει την τελευταία λειτουργία που έχει χρησιμοποιηθεί.

### 8.3.5 Θύρες σύνδεσης οργάνου

Το T30 έχει τρεις διαφορετικές θύρες σύνδεσης (σχήμα. 75) :

1. **SPM** - Ένας συνδετήρας για μέτρηση κρουστικών παλμών (Εξωτερικός αισθητήρας (λαβή) με μετατροπέα ή αισθητήρας για ταχεία σύνδεση ή μόνιμος αισθητήρας με ομοαξονικό καλώδιο)
2. **EXT** - Συνδέεται με αισθητήρα θερμοκρασίας, ταχύμετρο, ακουστικά και καλώδιο μεταφοράς δεδομένων.
3. **VIB** - Ένας συνδετήρας για μέτρηση κραδασμών

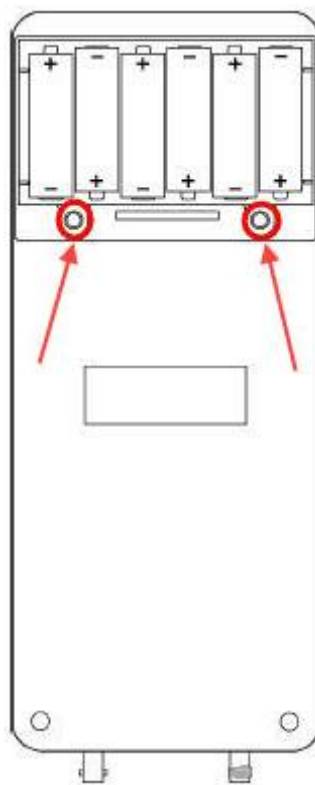


Σχήμα (75)

Έχουμε την δυνατότητα να συνδέσουμε ταυτόχρονα και τις τρεις θύρες **SPM**, **VIB** και αισθητήρα θερμοκρασίας. Η οθόνη εμφανίζει τα σημεία μετρήσεων με τον τύπο της μέτρησης σε μία λίστα με την σειρά που έχουν γίνει οι εκτελέσεις. Έτσι ελέγχουμε τα αποτελέσματα των μετρήσεων που έχουμε κάνει χωρίς να χρειάζεται να αποσυνδέσουμε τους αισθητήρες από τις θύρες. Κατά την διάρκεια μίας μέτρησης **SPM** μπορούμε να συνδέουμε τα ακουστικά έτσι ώστε ανάλογα με την επιθυμία να εναλλαχθεί μεταξύ μέτρησης **SPM** και λειτουργίας των ακουστικών.

### 8.3.6 Μπαταρίες

Το όργανο λειτουργεί με έξι Αλκαλικές μπαταρίες τύπου **MN 1500 LR6** 1.5 V που μπαίνουν στο πίσω μέρος του οργάνου (σχ. 76) και προστατεύονται με ένα καπάκι που προσδένεται με δύο βίδες.



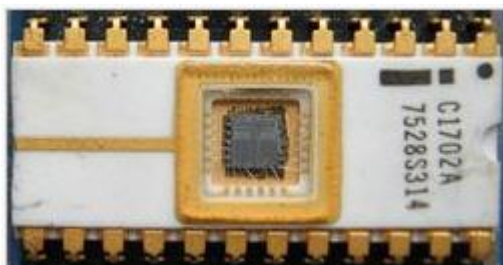
Σχήμα (76)

Διαλέγοντας τον κατάλογο έλεγχο των μπαταριών (**Battery Test**) δείχνει την κατάσταση των μπαταριών. Ένα σήμα προειδοποίησης χαμηλού επιπέδου δίνεται για 5,1 V. Σ' αυτό το στάδιο μόνο μεταφορά δεδομένων από το όργανο επιτρέπεται εμφανίζοντας παράλληλα στην οθόνη μήνυμα (**Battery Low**). Η μνήμη και η ώρα αποθηκεύονται και προστατεύονται με έναν πυκνωτή για περίπου είκοσι τέσσερις ώρες.

Αν αντικαταστήσουμε τις μπαταρίες σ' αυτό το χρονικό διάστημα δεν θα χαθούν τα δεδομένα που έχουν αποθηκευτεί. Μέγιστη ενέργεια καταναλώνεται κατά την διάρκεια της μέτρησης, δηλαδή από την στιγμή που πατάμε το κουμπί έναρξης μέχρι να καταγραφεί η μέτρηση στην οθόνη. Αν πρόκειται να αποθηκεύσουμε το όργανο για μεγάλο χρονικό διάστημα, αφαιρούμε τις μπαταρίες γιατί πιθανή διαρροή τους μπορεί να καταστρέψει το όργανο.

### 8.3.7 Μικροσίπ EPROM και μνήμη

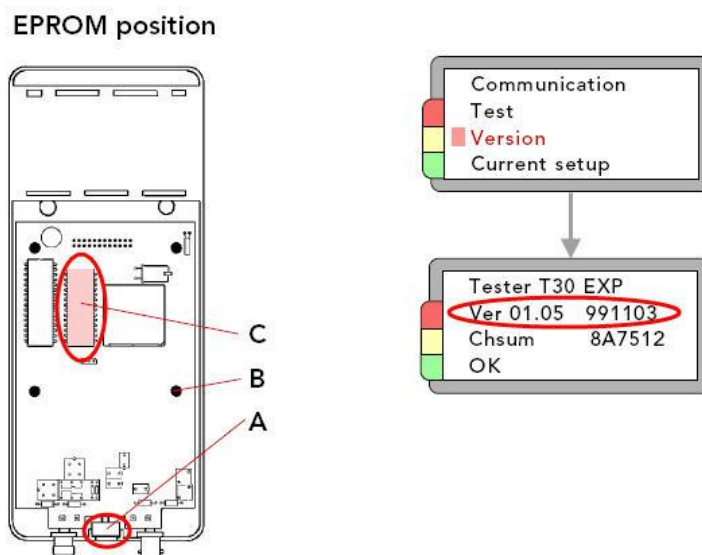
Το λειτουργικό πρόγραμμα του οργάνου βρίσκεται σε ένα μικροσίπ **EPROM**<sup>2</sup>(σχ. 77). Στον κατάλογο **setup** υπάρχουν πληροφορίες για την κατηγορία και την έκδοση του μικροσίπ που έχει εγκατασταθεί.



Σχήμα (77)

Για να ανταλλάξουμε το **EPROM** σε περίπτωση αναβάθμισης ανοίγουμε το καπάκι του πίσω μέρος του οργάνου και ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:

1. Βγάζουμε τον συνδετήρα (A) (σχ. 78)
2. Ξεβιδώνουμε τον πίνακα χαμηλής τάσης (B)
3. Αφαιρούμε με προσοχή το **EPROM** από την υποδοχή του (C) με ένα μικρό κατσαβίδι όπου αντικαθίσταται με το καινούργιο.



Σχήμα (78)

Η χωρητικότητα της μνήμης είναι 128 Kbytes και εξαρτάται από την διάρκεια των μετρήσεων, όνομα και αριθμό των σημείων μέτρησης. Αλλά εξαρτάται και από τις τεχνικές μετρήσεις που θα πραγματοποιηθούν σε κάθε σημείο.

Ο μέγιστος αριθμός σημείων που μπορούμε να έχουμε είναι 999 εφόσον επιτρέπεται εισαγωγή τριψήφιο αριθμό για σημεία μέτρησης.

### 8.3.8 Χειροκίνητη καταγραφή και αποθήκευση μετρήσεων

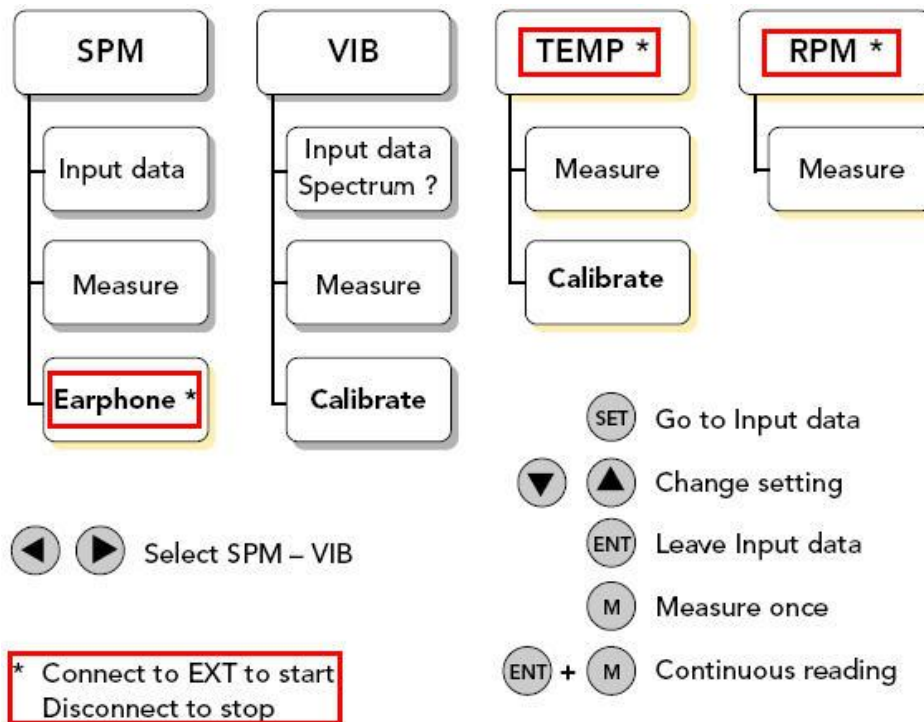
Σε περίπτωση καταγραφής μετρήσεων στο χέρι, δεν μπορούμε να σώσουμε περισσότερο από μία μέτρηση όπου πάντα είναι η τελευταία.

Για συστηματική παρακολούθηση πρέπει να κρατήσουμε αρχεία καταγραφής γιατί μετά από κάθε έλεγχο θα γίνει σύγκριση καινούργιων μετρήσεων με παλιών, δημιουργώντας έτσι μία βάση αποτελεσμάτων για καλύτερο αποτέλεσμα επισκευής και συντήρησης από μία μόνο μέτρηση. Ρουλεμάν και επίπεδο κραδασμών ελέγχονται κάθε ένα με τρεις μήνες σε κανονική κατάσταση λειτουργίας. Αν βλέπουμε πως κάποιο αποτέλεσμα μετρήσεων επιδεινώνεται τότε προσδιορίζουμε την αιτία και κάνουμε μέτρηση πιο συχνά. Είναι δύσκολο να ορισθεί διάστημα επανάληψης μετρήσεων γιατί όλα εξαρτώνται από το πόσο σημαντική είναι η μηχανή που ελέγχουμε και από τον ρυθμό φθοράς των εξαρτημάτων της. Ρουλεμάν με υψηλό αλλά σταθερό επίπεδο κραδασμών μπορεί να έχει αρκετά μεγάλη διάρκεια ζωής.

- Η λειτουργία χειροκίνητης μέτρησης

Σε χειροκίνητη λειτουργία (σχ. 79) μπορούμε να μετρήσουμε το επίπεδο κραδασμών (φάσμα) ή κρουστικών παλμών, θερμοκρασία και ταχύτητα περιστροφής. Οι αισθητήρες για μέτρηση (**SPM**) και (**VIB**) μπορούν να συνδεθούν ταυτόχρονα όπου μπορούμε να εναλλάξουμε τις δύο λειτουργίες με τα κουμπιά πλοήγησης δεξιά/αριστερά.

Αρχίζοντας μία μέτρηση (**SPM**) ή (**VIB**) πρώτα εισάγουμε τιμές από προηγούμενες πρόσφατες μετρήσεις δημιουργώντας έτσι μία βάση δεδομένων για σύγκριση τιμών με τα καινούργια αποτελέσματα. Για να το κάνουμε αυτό, πρώτα πατάμε το κουμπί **SET** μετά εισάγουμε την τιμή που θα συγκριθεί και στην συνέχεια πατάμε το κουμπί **ENT** που σώζει τις πληροφορίες και τότε το όργανο είναι έτοιμο να αρχίσει καινούργια μέτρηση με το κουμπί **M**.



Σχήμα (79)

### 8.3.9 Αξιολόγηση και έλεγχος αποτελεσμάτων

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων είναι να ελέγξουμε τις μετρήσεις που έχουμε πάρει και να σιγουρευτούμε πως είναι όσο μπορούμε σωστές με σαφείς λεπτομέρειες, πριν τις παραδώσουμε στους υπεύθυνους. Πρέπει να θυμηθούμε πάντα πως:

- Κάποιες μηχανές έχουν διαφορετικά επίπεδα κρουστικών παλμών εκτός των επιπέδων των ρουλεμάν τους.
- Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί λόγοι που ευθύνονται για την κακή κατάσταση ενός ρουλεμάν εκτός από μία απλή βλάβη.

Χρησιμοποιώντας όλα τα αξεσουάρ που διαθέτει το όργανο (αισθητήρες, ακουστικά, κλπ) θα έχουμε την δυνατότητα να παρατηρήσουμε, να αγγίξουμε και να ακούσουμε (σχ. 80).



Σχήμα (80)

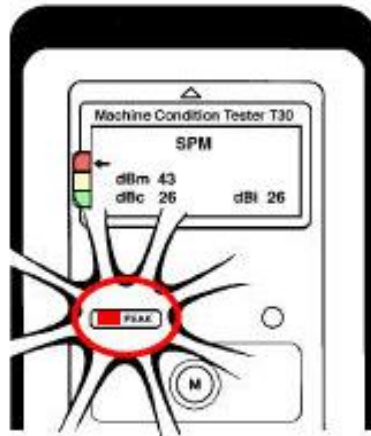
Ελέγχουμε:

- 1) Την διάμετρο της ατράκτου, τις στροφές και τις ρυθμίσεις dB<sub>i</sub>
- 2) Σημεία μετρήσεων σε ζώνη φόρτισης
- 3) Εξωτερικός αισθητήρας με λαβή τοποθετημένος σωστά στην θέση του
- 4) Αισθητήρας για ταχεία σύνδεση συνδεδεμένος σωστά
- 5) Η επιφάνεια του αισθητήρα καθαρή και χωρίς βλάβη

### 8.3.10 Δείκτης αιχμής και ακουστικά

Η εμφάνιση των κρουστικών παλμών σε ένα περιστρεφόμενο ρουλεμάν είναι συνεχής και η ισχύς του σήματος εξαρτάται από την θέση των σωμάτων κυλίσεως και των εσωτερικών/εξωτερικών διαδρόμων. Ένα σημείο της επιφάνειας, που έχει υποστεί βλάβη θα δημιουργήσει ένα ισχυρό κρουστικό παλμό που θα καταγραφεί από το όργανο μόνο σε περίπτωση που γίνεται στο διάστημα μέτρησης. Ειδικά σε χαμηλή ταχύτητα περιστροφής, το όργανο μπορεί να χάσει τον μέγιστο παλμό απλά επειδή δεν έχει συμβεί στο διάστημα μέτρησης. Ο δείκτης αιχμής (**Peak Indicator**) του οργάνου θα το σημειώσει.





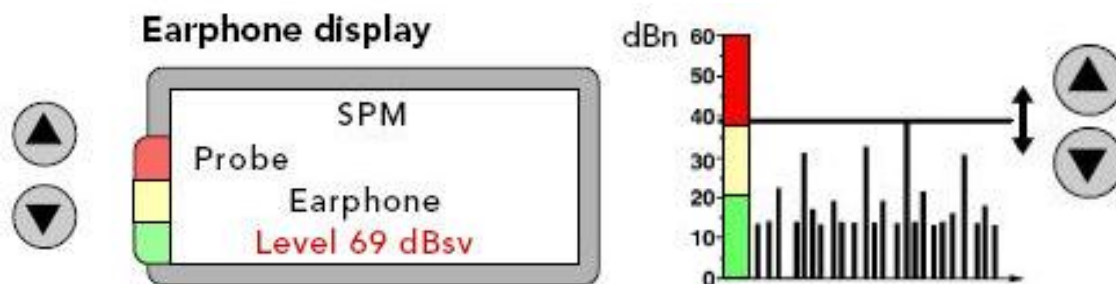
Σχήμα (81)

Καθώς ο αισθητήρας είναι συνδεδεμένος, το όργανο συνεχίζει να μετράει εμφανίζοντας αποτελέσματα. Ο δείκτης αιχμής αναβοσβήνει κάθε φορά που το όργανο καταγράφει έναν παλμό πιο ισχυρό από τον προηγούμενο που έχει καταγραφεί. Μπορούμε να αλλάξουμε το επίπεδο ευαισθησίας της μέτρησης με το πάνω/κάτω βέλος ώστε να σταματήσει ο δείκτης αιχμής να αναβοσβήνει (σχ. 81). Το επίπεδο εμφανίζεται στην θέση **dBm** για κανονική τιμή κρουστικού παλμού **dBn (decibel normalized)** ενώ το μετρούμενο **dBm** φαίνεται μέσα σε παρένθεση (βλ. σχήμα 82).



Σχήμα (82)

Τα ακουστικά μας δίνουν την δυνατότητα να παρακολουθήσουμε και να ακούσουμε το επίπεδο των κρουστικών παλμών και να προσδιορίσουμε την πηγή του παλμού. Όταν συνδεθεί στην θύρα **EXT** θα εμφανιστεί ο κατάλογος ρύθμισης ακουστικών, όπου ορίζουμε το επίπεδο του πλάτους του σήματος, που θέλουμε να παρακολουθήσουμε με τα πάνω/κάτω βέλη (σχ. 83). Για να επιστρέψουμε σε κανονική λειτουργία απλώς αποσυνδέουμε τα ακουστικά από την θύρα. Το επίπεδο της τιμής βάσης **dBc** προσδιορίζεται από το σημείο όπου αρχίζουμε να ξεχωρίζουμε τον ομαλό ήχο από τον χαρακτηριστικό παλμό.

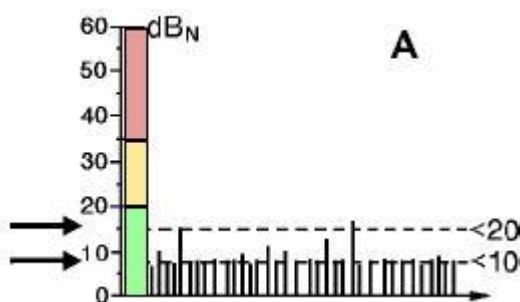


Σχήμα (83)

### 8.3.11 Δείγμα διαφορετικών κρουστικών παλμών

Τα ακουστικά είναι το καλύτερο εργαλείο για να επιβεβαιώσουμε και να παρακολουθήσουμε τις πηγές κρουστικών παλμών. Το σήμα είναι εντονότερο στην έδραση ενός ρουλεμάν. Αν μετράμε ένα πιο ισχυρό παλμό έξω από την έδραση του ρουλεμάν αυτό απλά σημαίνει πως μετράμε κρουστικούς παλμούς ενός άλλο ρουλεμάν ή άλλης πηγής.

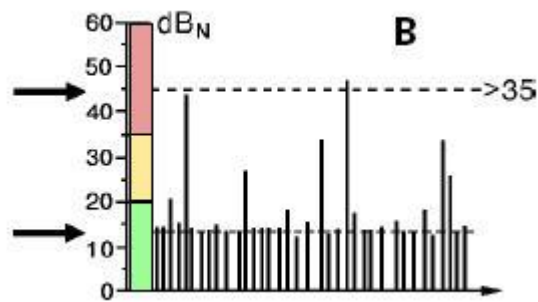
A. Για ρουλεμάν σε καλή κατάσταση, το επίπεδο **dBm** είναι στην πράσινη ζώνη. Τα επίπεδα **dBm** και **dBc** δεν πλησιάζουν το ένα στο άλλο (σχ. 84).



Σχήμα (84)

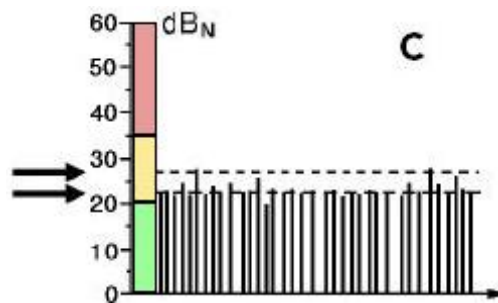
B. Το επίπεδο κρουστικών παλμών ενός ρουλεμάν με βλάβη περιέχει ισχυρούς παλμούς στην κόκκινη ζώνη με τυχαία κατανομή (σχ. 85) και μεγάλη διαφορά μεταξύ **dBm** και **dBc**.

Όταν γρασάρουμε το ρουλεμάν το επίπεδο κρουστικών παλμών θα πέσει αλλά θα ξανανέβει πολύ γρήγορα.



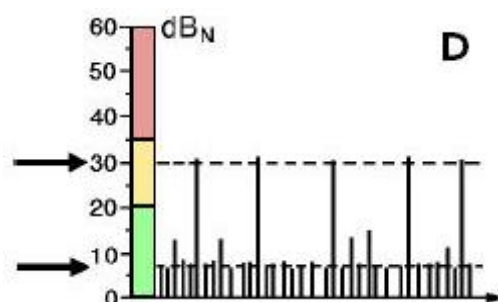
Σχήμα (85)

C. Ένα ρουλεμάν που λειτουργεί στεγνά (χωρίς λιπαντικό) έχει πολύ υψηλή τιμή **dBc** που είναι πολύ κοντά στο επίπεδο του **dBm**. Όταν γρασάρουμε το ρουλεμάν οι τιμές **dBm** και **dBc** θα πέσουν σε ένα επίπεδο όπου θα μένουν σταθερές (σχ. 86). Ένα καλό παράδειγμα συναντάμε όταν έχουμε σπηλαιώση σε μία αντλία, όπου μέτρηση στο κέλυφος της αντλίας θα έχει πιο ισχυρό επίπεδο κρουστικών παλμών από μέτρηση στην έδραση του ρουλεμάν και δεν επηρεάζεται από το γρασάρισμα του ρουλεμάν.



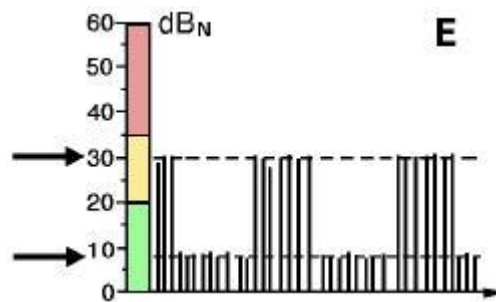
Σχήμα (86)

D. Ένα κανονικό επίπεδο που περιέχει μία σειρά ισχυρών παλμών σε ρυθμική ακολουθία (σχ. 87) που μπορεί να προκαλείται λόγω ύπαρξης ψηγμάτων στο λιπαντικό (σωματιδίων).



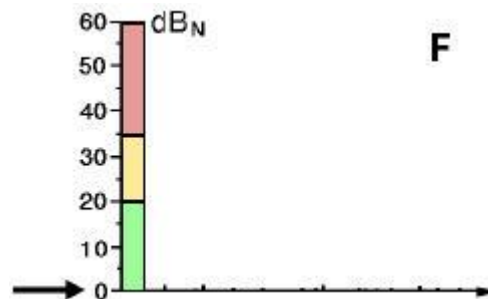
Σχήμα (87)

Ε. Χαρακτηριστικοί παλμοί σε κανονική συμμετρική ακολουθία (σχ. 88) μπορεί να προκαλείται λόγω χτυπημάτων σε βαλβίδες, κρούσεις τμημάτων.



Σχήμα (88)

Φ. Μία απότομη πτώση του επιπέδου των κρουστικών παλμών (σχ. 89) μπορεί να συμβεί. Τότε ελέγχουμε το όργανο και τον εξοπλισμό του αν χρειάζεται. Αν η μέτρηση είναι σωστή μπορεί να έχουμε απώλεια μετάδοσης στον ρουλεμάν (γλίστρημα των σωμάτων κυλίσεως).



Σχήμα (89)

### 8.3.12 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων των μετρήσεων

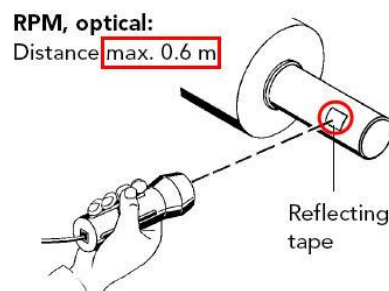
Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων είναι να ελέγξουμε τις μετρήσεις που έχουμε πάρει και να σιγουρευτούμε πως είναι κατά το δυνατόν σωστές με σαφείς λεπτομέρειες, πριν τις παραδώσουμε στους υπεύθυνους. Πρέπει να θυμόμαστε πάντα πως:

- Κάποιες μηχανές έχουν διαφορετικά επίπεδα κρουστικών παλμών εκτός των επιπέδων των ρουλεμάν τους.
- Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί λόγοι που ευθύνονται για την κακή κατάσταση ενός ρουλεμάν εκτός από μία απλή βλάβη.

Χρησιμοποιώντας όλα τα αξεσουάρ που διαθέτει το όργανο (αισθητήρες, ακουστικά, κλπ) θα έχουμε την δυνατότητα να παρατηρήσουμε, να αγγίξουμε και να ακούσουμε.

### 8.3.13 Λειτουργία ως ταχύμετρο

Για σωστό έλεγχο του επιπέδου των κραδασμών σε φασματική ανάλυση απαιτείται η γνώση της ταχύτητας περιστροφής της ατράκτου (σχ. 90). Ο κατάλογος **RPM** εμφανίζεται αυτόματα την στιγμή που συνδέουμε τον αισθητήρα μέτρησης **RPM** στην θύρα **EXT** του οργάνου.



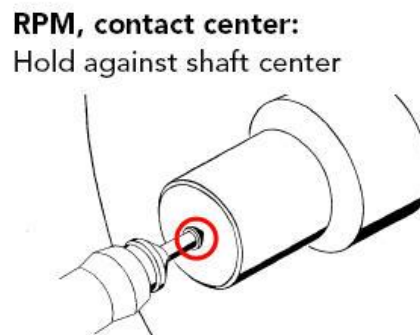
Σχήμα (90)

Υπάρχουν δύο τρόποι μέτρησης της ταχύτητας περιστροφής:

1. Η οπτική μέτρηση
2. Η μέτρηση επαφής

Η οπτική μέτρηση είναι πολύ απλή. Πριν αρχίσουμε την μέτρηση, κολλάμε μία ανακλαστική ταινία (καθαρή) στο περιστρεφόμενο σώμα. Στην συνέχεια κρατάμε τον οπτικό αισθητήρα στο ίδιο επίπεδο με την ταινία (σχ. 91) σε απόσταση μικρότερη από (0.6 m). Όταν πατάμε το κουμπί (**M**), ο αισθητήρας στέλνει δέσμη φώτος που αντανακλάται από την ταινία και γυρίζει στον φακό του αισθητήρα για να μετρηθεί η ταχύτητα περιστροφής. Κάθε φορά που αντανακλάται το φως, το όργανο μετράει 1 RPM.

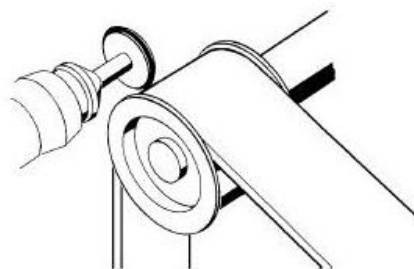
Για μέτρηση επαφής, συνδέουμε τον αισθητήρα επαφής πάνω από τον φακό και κρατάμε σταθερά στην κοιλότητα που βρίσκεται στο κέντρο του περιστρεφόμενου σώματος (σχ. )



Σχήμα (91)

Ο αισθητήρας επαφής έχει ενσωματωμένη αντανακλαστική ταινία που μετά από κάθε στροφή στέλνει φως στον μετρητή του οργάνου που σημειώνει 1 RPM.

Ο τροχός χρησιμοποιείται για μέτρηση περιφερειακών ταχυτήτων (σχ. 92) όπου κάθε στροφή αντιστοιχεί σε (0.1 m ,0.1 Yards, 0.5 Feet) που εξαρτάται από τον τύπο του τροχού.



Σχήμα (92)

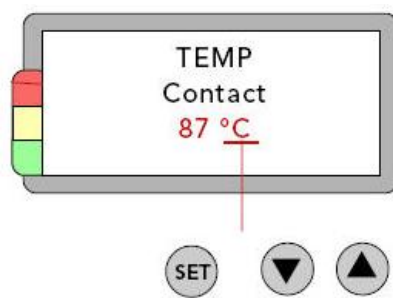
### 8.3.14 Λειτουργία ως θερμομέτρο

Η θερμοότητα μπορεί να μετρηθεί με αισθητήρα επαφής από (-20 μέχρι +350 °C).

Υπάρχουν δύο τύποι αισθητήρων επαφής για την μέτρηση της θερμοότητας:

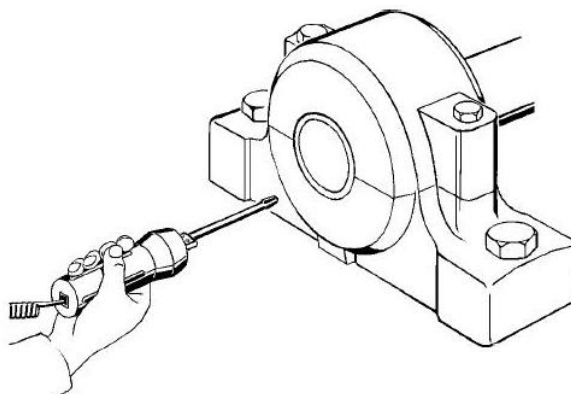
1. **TEN-10** Αισθητήρας για στερεά αντικείμενα
2. **TEN-11** Αισθητήρας για ρευστά (υγρά).

Ο κατάλογος της μέτρησης της θερμοότητας εμφανίζεται αυτόματα μόλις συνδέσουμε τον αισθητήρα στην θύρα **EXT** του οργάνου, μετά διαλέγουμε ανάμεσα σε τιμή Κελσίου ή Φαρενάιτ (σχ. 93)



Σχήμα (93)

Για να κάνουμε μέτρηση, ακουμπάμε κρατάμε σταθερά τον αισθητήρα πάνω στην επιφάνεια που επιθυμούμε να μετρήσουμε (σχ. 94) και κρατάμε πατημένο το κουμπί **M** του οργάνου μέχρι να εμφανιστεί η τιμή της μέτρησης στην οθόνη.



Σχήμα (94)

Πρέπει να ρυθμιστεί ο αισθητήρας πριν την πρώτη χρήση για να μην έχουμε διαφορά με την πραγματική τιμή του αντικείμενο που μετράμε. αντικειμένων

### 8.3.15 Παράρτημα

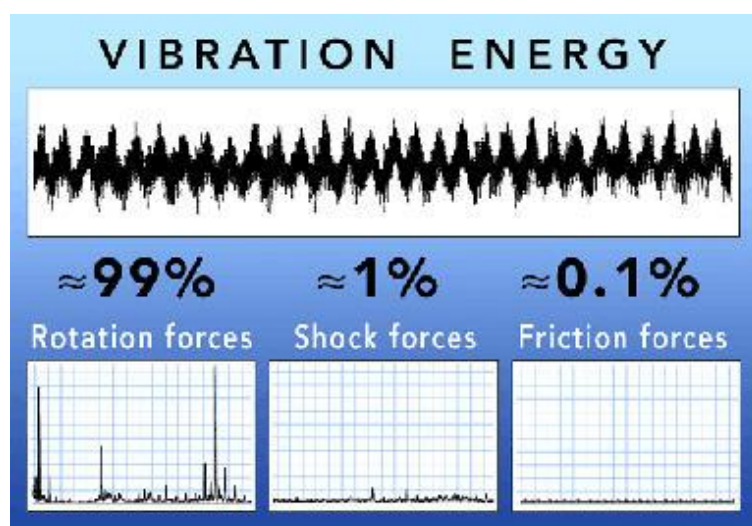
- 1) Η μέθοδος ανάλυσης των δονήσεων **EVAM<sup>®</sup>** (Evaluated Vibration Analysis Method), συνδυάζει διάφορες καθιερωμένες τεχνικές ανάλυσης δόνησης με μια συγκεκριμένη στατιστική αξιολόγηση μηχανών για να παρέχει ευκολία στην κατανόηση των στοιχείων που καθορίζουν την κατάσταση της μηχανής.

Η **EVAM**<sup>®</sup> έχει τρεις μεθόδους:

➤ Ανάλυση καταγραφής δονήσεων

Η μέθοδος αυτή καλύπτει το κενό μεταξύ της σοβαρής μέτρησης των δονήσεων (**Vibration Severity**) που συνιστάται από **ISO**, και του παραδοσιακού τύπου ανάλυσης φάσματος που απαιτεί ένα υψηλό επίπεδο κατάρτισης χειριστών. Χρησιμοποιημένο στο πιο βασικό επίπεδο, **EVAM** παρέχει πολύ περισσότερα στοιχεία από τη μέθοδο του **ISO** χωρίς απαίτηση περισσότερων ικανοτήτων και χρόνου.

Η αυτόματη επεξεργασία στοιχείων δίνει μέχρι 9 παραμέτρους, για τις περιστροφικές δυνάμεις, δυνάμεις δονήσεων και την τριβή (σχ. 95) που παρέχουν μια λεπτομερή εικόνα των δυνάμεων δόνησης που δρουν στη μηχανή.



Σχήμα (95)

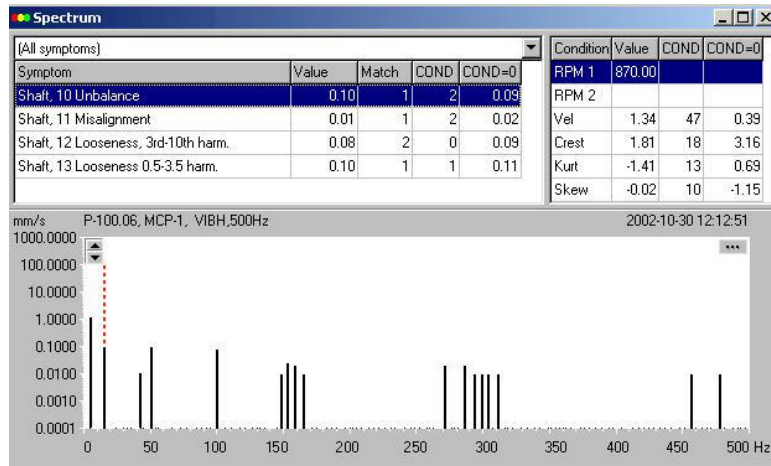
➤ Φασματική ανάλυση δονήσεων

Η ανάλυση φάσματος είναι ένα ενσωματωμένο μέρος του λογισμικού, που επιτρέπει τον άμεσο έλεγχο ενός μεγάλου αριθμού συγκεκριμένων μηχανικών ελαττωμάτων.

Η **EVAM** χρησιμοποιεί **FFT** για να υπολογίσει ένα ή περισσότερα φάσματα ανά κύκλο μέτρησης. Για κάθε κύκλο μέτρησης, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει συγκεκριμένα λειτουργικά προβλήματα (μη ευθυγράμμισης αξόνων, βλάβη οδοντωτού τροχού και ρουλεμάν κ.λπ.) από έναν προγραμματισμένο εκ των



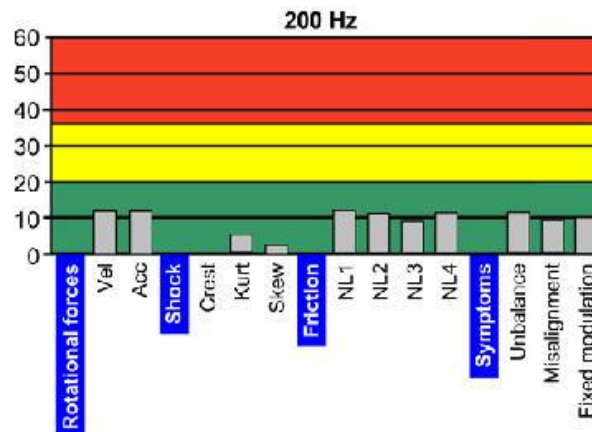
πρότερων κατάλογο ελαττωματικών συμπτωμάτων (σχ. 96). Έτσι κερδίζοντας χρόνο, θα μας απαλλάξει και από την διαδικασία ελέγχου του φάσματος για τις σχετικές πληροφορίες. Τα ελαττωματικά συμπτώματα τονίζονται αυτόματα στο φάσμα, και μια μεμονωμένη αξία καταγράφεται για κάθε ένα από αυτά.



Σχήμα (96)

➤ Αξιολόγηση κατάστασης της μηχανής

Χρησιμοποιώντας ένα σύνολο αναγνώσεων δόνησης που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας μηχανών ως στοιχεία αναφοράς, όλοι οι ελεγχόμενοι παράμετροι συγκρίνονται με τις μέσες τιμές και τη σταθερή απόκλισή τους και επιδεικνύονται ως τιμές κατάστασης με έναν πράσινο - κίτρινο - κόκκινο κλίμακα (σχ. 97). Χωρίς την ανάγκη να μελετηθούν οποιεσδήποτε λεπτομέρειες, ο χρήστης ενημερώνεται αμέσως από μια λεπτομερή έκθεση που καλύπτει όλες τις επιλεγμένες παραμέτρους ελαττωμάτων που έχει επιλέξει.



Σχήμα (97)

- 2) Ένα **EPROM** είναι ένας τύπος τσιπ μνήμης που διατηρεί τα στοιχεία του όταν σβήνεται η παροχή ηλεκτρικού ρεύματός της. Με άλλα λόγια, είναι αμετάβλητο.



## 8.4 Leonova Infinity

### 8.4.1 Γενική περιγραφή

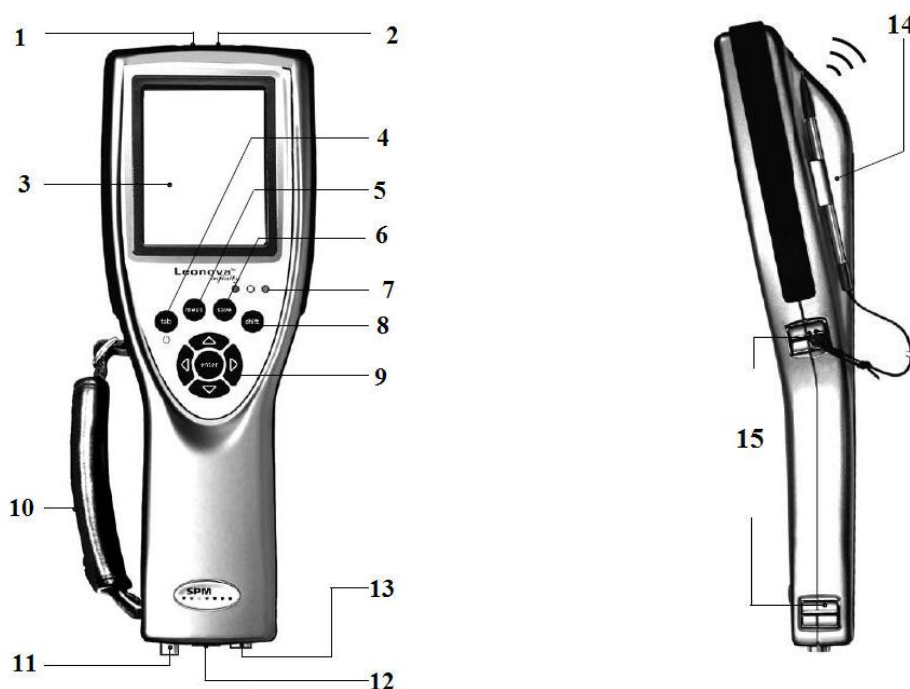
Το Leonova Infinity είναι ένας φορητός ελεγκτής καταστάσεων μηχανών με έγχρωμη οθόνη αφής, που λειτουργεί με λογισμικό **Windows CE**. Κάποιες λειτουργίες που διαθέτει το όργανο αυτό (σχ. 98) είναι:

- Επεξεργασία δεδομένων μέσω λογισμικού **Condmaster<sup>®</sup> Nova**
- Λειτουργία ως ταχύμετρο
- Λειτουργία ως θερμόμετρο
- Δυνατότητα καταγραφής σχολιασμού στα σημεία μέτρησης
- Μέτρηση κραδασμών (ISO 2732)
- Παρακολούθηση του επιπέδου των κρουστικών παλμών
- Έλεγχος ευθυγράμμισης αξόνων
- Έλεγχος αζυγοσταθμίας



Σχήμα (98)

#### 8.4.2 Περιγραφή οργάνου



Σχήμα (99)

1. Θύρα φόρτισης μπαταρίας
2. Θύρα σύνδεσης με H/Y ή με το εξάρτημα για λειτουργία λέιζερ
3. Έγχρωμη οθόνη αφής για καταγραφή αποτελεσμάτων
4. Κουμπί εκκίνησης οργάνου
5. Κουμπί έναρξης μετρήσεων
6. Κουμπί αποθήκευσης αποτελεσμάτων
7. Λαμπάκια ένδειξης της κατάστασης μετά από μέτρηση
8. Κουμπί που λειτουργεί σε συνδυασμό με άλλα για εκτέλεση συγκεκριμένων ενεργειών
9. Βέλη πλοήγησης και κουμπί (ENTER)
10. Χειρολαβή
11. Θύρα σύνδεσης για μέτρηση του επιπέδου των κρουστικών παλμών
12. Θύρα σύνδεσης ακουστικών και αισθητήρων για λειτουργία ως ταχύμετρο/Θερμόμετρο
13. Θύρα σύνδεσης για μέτρηση του επιπέδου των κραδασμών
14. Θέση τοποθέτησης πέννας αφής οθόνης
15. Θέση συγκράτησης χειρολαβής.

### 8.4.3 Εξοπλισμός οργάνου (Leonova Infinity)



Σχήμα (100)

- **15310** Θήκη προστασίας
- **14715** Κλιπ για συγκράτηση στην ζώνη
- **CAS16** Βαλίτσα μεταφοράς
- **TAD10** Αισθητήρας επαφής ταχύμετρου
- **TRA72** Φορητός αισθητήρας κρουστικών παλμών
- **SLD144B/F** Αισθητήρας κραδασμών
- **CAB48/51** Καλώδιο μέτρησης
- **TEN10/11** Αισθητήρας θερμομέτρου στερεά/υγρά
- **81319** Μαγνητική βάση

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φαίνονται στον πίνακα (9)

<b>Technical data, instrument (Platform)</b>		<b>Vibration severity (ISO 2372)</b>	
Housing:	ABS/PC, Santoprene, IP54	Measurement quantity:	vibration velocity, RMS, range 10 – 1000 Hz
Dimensions:	285x 102x63 mm (11.2" x 4" x 2.5")	Evaluation table selection:	menu guided, ISO 2372
Weight:	580 g (20 oz.)	Vibration transducer input:	< 18 Vpp. Transducer supply of 4 mA for IEPE* (ICP) type can be set On/Off
Keypad:	sealed, snap action	Transducer types:	Any transducers (disp., vel. or acc.) with voltage output
Display:	touch screen, TFT colour, 240 x 320 pixels, 54 x 72 mm (2.1 x 2.8 inch), adjustable backlight	Vibration channels:	2, simultaneous measuring
Main processor:	400 MHz Intel® XScale®	<b>Speed measurement</b>	
Memory:	64 MB RAM, 32 MB Flash expandable up to 4 GB	Measuring range:	10 to 60 000 rpm
Operating system:	Microsoft Windows® CE.net	Resolution:	1 rpm
Communication:	RS232 and USB	Accuracy:	± (1 rev. + 0.1% of reading)
Dynamic range:	16 bit A/D converter, automatic gain settings	Transducer type:	TAD-18, TTL-pulses
Condition indication:	green, yellow and red LEDs	<b>Temperature measurement</b>	
Power supply:	rechargeable Lithium-Ion batteries	Measuring range:	-50 to +440 °C (-58 to 824 °F)
Battery power:	for minimum 8 hours normal use	Resolution:	1 °C (1 °F)
Operating temperature:	0 to 50 °C (32 to 120 °F)	Transducer type:	TEM-11 with TEN-10 (surface temperature) and TEN-11 (liquids)
Charging temperature:	0 to 45 °C (32 to 113 °F)	<b>Analog signals</b>	
General features:	language selection, battery charge display, transducer line test, metric or imperial units	Measurement range:	0 to 1 V DC, 0 to 10 V DC, 0 to 20 mA, 4 to 20 mA
Meas. point identification:	RF transponder for communication with CondiD™ tags, read/write distance max. 50 mm (2 inch)	* Integral Electronic PiezoElectric	

Πίνακας (9)

#### 8.4.4 Περιγραφή της λειτουργίας του οργάνου

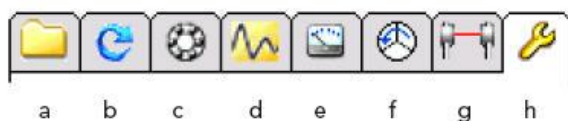
Η οθόνη του οργάνου (σχ. 101) χωρίζεται σε τρεις περιοχές:

1. Η μπάρα των καταλόγων (Menu bar)
2. Η οθόνη (Display window)
3. Η μπάρα εκτέλεσης (Action bar)



Σχήμα (101)

Πατώντας τα εικονίδια της μπάρας καταλόγου, εναλλάσσουμε μεταξύ των λειτουργιών που διαθέτει το όργανο όπου κάθε λειτουργία έχει τον δικό της κατάλογο (σχ. 102). Στην μπάρα εκτέλεσης βρίσκουμε το κουμπί του πληκτρολόγιου και κουμπιά εκτέλεσης όπου εκτελούμε τις εντολές που θέλουμε όπως (Άνοιγμα, κλείσιμο, κλπ).



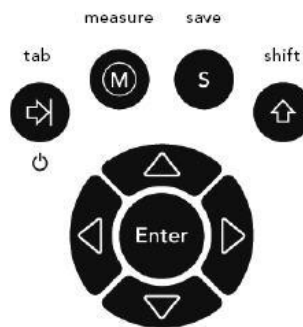
- |               |   |
|---------------|---|
| a. FILE:      | Communication, Read CondID, measurement files saved by the user.                                |
| b. SPEED:     | Speed measurement.  |
| c. SPM:       | All shock pulse measurement techniques (with SPM Spectrum).                                     |
| d. VIBRATION: | All vibration measurement techniques including orbit analysis, run up/coast down and bump test. |
| e. ANALOGUE:  | Temperature and user defined measurements (voltage, current).                                   |
| f. BALANCING: | All rotor balancing techniques.   |
| g. ALIGNMENT: | All shaft alignment techniques.   |
| h. TOOLS:     | General settings.   |

Σχήμα (103)






Όλες οι λειτουργίες γίνονται με την πένα. Για να ανοίξουμε για παράδειγμα έναν φάκελο διαλέγουμε τον φάκελο με απλό πάτημα πάνω στο εικονίδιο του και στην συνέχεια πατάμε από την μπάρα εκτέλεσης (άνοιγμα). Χρησιμοποιούμε την πένα με προσοχή, χωρίς να ασκούμε δύναμη στην οθόνη γιατί είναι ευαίσθητη και μπορεί να υποστεί βλάβη λόγω μεγάλης πίεσης ή χτυπήματος.

Τα κουμπιά πλοήγησης είναι το (TAB, τα βελόνια πλοήγησης και το ENTER). Πατώντας το TAB, διαλέγουμε με σειρά τις τρεις ξεχωριστές περιοχές της οθόνης που έχουμε αναφέρει πριν. Σε περίπτωση που υπάρχουν λειτουργίες στην οθόνη, το TAB μας επιτρέπει να τις εναλλάσσουμε πριν περάσει στην άλλη περιοχή. Το ENTER (σχ. 104) ανοίγει/ ενεργοποιεί εικονίδιο που έχουμε διαλέξει, μπορεί ακόμα να τερματίσει λειτουργίες και να επιβεβαιώσει αλλαγές.



Σχήμα (104)

Το **Leonova** έχει κάποιες διαθέσιμες λειτουργίες οι οποίες είναι για απεριόριστη χρήση ενώ έχει και κάποιες άλλες λειτουργίες που αγοράζονται για περιορισμένη χρήση ή απεριόριστη κατά την επιθυμία του χρήστη. Στον κατάλογο {Λειτουργία και Χρήση}, εμφανίζονται οι λειτουργίες σε λίστα και δίπλα από κάθε λειτουργία ένα μικρό εικονίδιο που δείχνει την διαθεσιμότητα της λειτουργίας. Τα εικονίδια αυτά είναι:

-  **Διαθέσιμο, απεριόριστη χρήση**
-  **Διαθέσιμο, απαιτούμενες μονάδες**
-  **Δεν είναι διαθέσιμο**

Το όργανο αυτό έχει εργονομικό σχέδιο, πολλές δυνατότητες και είναι πολύ εύκολο στην χρήση. Χάρη στο λογισμικό που διαθέτει και στην έγχρωμη οθόνη αφής μας δίνει το πλεονέκτημα της ταχείας ρύθμισης των παραμέτρων που χρειάζονται για κάθε διαφορετική μέτρηση.

#### 8.4.5 Μπαταρίες

Το Leonova τροφοδοτείται από σύνολο επαναφορτιζόμενων μπαταριών λιθίου (7,4 V) που πρέπει να αντικαθίστανται μόνο από το εξουσιοδοτημένο προσωπικό. Ένα σήμα προειδοποίησης χαμηλού επιπέδου δίνεται για (6,8 V).

Όταν η τάση της μπαταρίας φτάνει σε επίπεδο χαμηλότερο του (6,2 V) χάνονται όλα τα δεδομένα που έχουν αποθηκευτεί στην προσωρινή μνήμη του οργάνου και μηδενίζονται οι ρυθμίσεις του χρόνου (ώρα, ημερομηνία). Δεδομένα που έχουν αποθηκευτεί σε εξωτερική μνήμη (**flash memory**) δεν χάνονται ακόμα και όταν η μπαταρία είναι νεκρή.

Για την φόρτιση των μπαταριών χρησιμοποιήστε μόνο τον φορτιστή μπαταριών SPM. Μην χρησιμοποιήσετε οποιοδήποτε άλλο τύπο φορτιστή. Η σύνδεση του φορτιστή γίνεται με καλώδιο μέσω της θύρας (A) που βρίσκεται από κάτω (βλ. σχήμα 105). Ο φορτιστής λειτουργεί με 100 έως 240 VAC, 50 έως 60 Hz. Φορτίζουμε μία φορά τουλάχιστον κάθε 30 ημέρες για να μην αδειάζει τελείως η μπαταρία. Η φόρτιση μπαταριών αρχίζει αυτόματα μέσα σε 30 δευτερόλεπτα από την σύνδεση στο ρεύμα.



Σχήμα (105)

Αν η μπαταρία είναι τελείως άδεια, συνδέουμε τον φορτιστή και τον αφήνουμε να φορτίσει για δύο λεπτά τουλάχιστον πριν πατήσουμε κάποιο κουμπί. Είναι φυσιολογικό ότι τα όργανα θερμαίνονται κατά τη διάρκεια της φόρτισης. Μια πλήρης επαναφόρτιση μπορεί να πάρει 3 ώρες.

Αξίζει να σημειώσουμε πως υπάρχει δυνατότητα να συνδεθεί το όργανο ταυτόχρονα στον υπολογιστή και στο ρεύμα για φόρτιση των μπαταριών.

Μπορούμε να ελέγξουμε την κατάσταση των μπαταριών, απλά πατώντας το εικονίδιο της μπαταρίας που φαίνεται στην οθόνη του οργάνου (σχ. 106) ή ανοίγοντας το αρχείο της κατάστασης των μπαταριών (Battery Status).



Σχήμα (106)

Στον κατάλογο έλεγχου της κατάστασης των μπαταριών (σχ. 107), μπορούμε να ρυθμίσουμε τον χρόνο για αυτόματο σβήσιμο του οργάνου για εξοικονόμηση ενέργειας πληκτρολογώντας έναν αριθμό από 20-300 δευτερόλεπτα.



Σχήμα (107)

#### 8.4.6 Διαφορετικές λειτουργίες

Το Leonova Infinity πραγματοποιεί τις παρακάτω λειτουργίες:

- Μέτρηση της ταχύτητας περιστροφής
- Μέτρηση θερμοκρασίας
- Μέτρηση τάσης ρεύματος
- Μέτρηση κραδασμών RMS κατά (ISO 2372)
- Μέτρηση κραδασμών SPECTRUM κατά (ISO 10816)
- FFT
- EVAM (Evaluated Vibration Analysis)
- Μέτρηση κρουστικών παλμών SPM
- SPM SPECTRUM
- Έλεγχος ευθυγράμμισης

#### 8.4.7 Διαδικασίες μετρήσεων

Ένας κύκλος μέτρησης οποιασδήποτε τεχνικής μέτρησης περιέχει οδηγίες και ρυθμίσεις για την μέτρηση αυτή όπου απαιτεί έλεγχο και μέτρηση σε κάποια ειδικά σημεία της μηχανής. Οι κύκλοι μέτρησης με όλα τα απαραίτητα δεδομένα μεταφορώνονται από τον υπολογιστή μέσω λογισμικού **Condmaster<sup>®</sup> Nova**.

Στην προετοιμασία για κύκλο μέτρησης ο χειριστής του οργάνου ακολουθεί μία προκαθορισμένη πορεία όπου περνάει τα σημεία μέτρησης με σειρά. Χρησιμοποιούμε ετικέτες μνήμης (**CondID memory tags**) που τοποθετούνται στα σημεία μέτρησης. Αυτές οι ετικέτες έχουν έναν κωδικό που αναγνωρίζεται από το όργανο πριν την μέτρηση και μας εμφανίζει τις σχετικές πληροφορίες για το σημείο αυτό για να δούμε αν θα κάνουμε μέτρηση στην θέση αυτή σ' αυτόν τον κύκλο ή όχι.

Για απροετοίμαστες μετρήσεις, Leonova περιέχει αρχείο προεπιλογής ειδικά για κάθε τύπο μέτρησης ξεχωριστά. Σε κάθε αρχείο υπάρχουν όλες οι ρυθμίσεις και τα δεδομένα που χρειάζονται για να γίνει η μέτρηση που θέλουμε. Αν χρειάζεται μπορούμε να εισάγουμε τα δεδομένα στο όργανο πριν την χειροκίνητη μέτρηση. Μετά την μέτρηση, μπορεί ο χειριστής να σώσει τα αποτελέσματα των μετρήσεων για μελλοντική αξιολόγηση στο συγκεκριμένο αρχείο της μέτρησης ή σε ένα ξεχωριστό.

Το αρχείο προεπιλογής (αναγνώριση ετικέτας μνήμης (**CondID**) επιλέγεται για μέτρηση σε σημεία που δεν ανήκουν σε συγκεκριμένο κύκλο μέτρησης που έχουμε στον

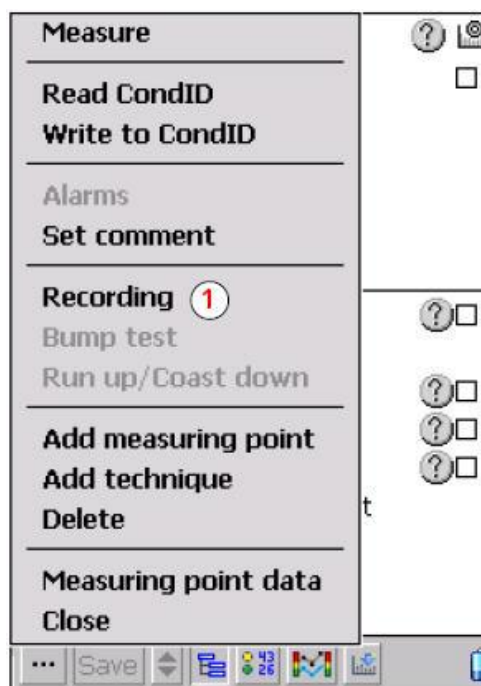
υπολογιστή ή στο όργανο. Για ενεργοποίηση, ανοίγουμε το αρχείο ‘Read CondID’ και κρατάμε το όργανο σε γωνία 90° και σε μέγιστη απόσταση 50 mm (σχ. 108).



Σχήμα (108)

Η δυνατότητα εγγραφής (Recording) είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο που μας επιτρέπει να κάνουμε συνεχή μέτρηση για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, χρησιμοποιώντας μέχρι τρεις αισθητήρες συνδεδεμένους ταυτόχρονα στο όργανο.

Για να ενεργοποιηθεί η λειτουργία εγγραφής πάμε στον κατάλογο μέτρησης (σχ. 109)

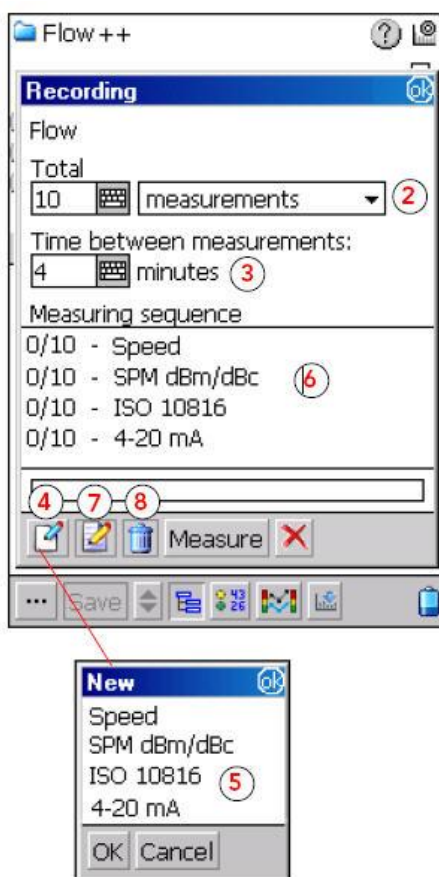


Σχήμα (109)

Για παράδειγμα μπορούμε να έχουμε:

- Ένα αισθητήρα κρουστικών παλμών στην θύρα SPM
- Ένα αισθητήρα κραδασμών στην θύρα VIB
- Ένα αισθητήρα για λειτουργία ως ταχύμετρο ή θερμόμετρο στην μεσαία θύρα.

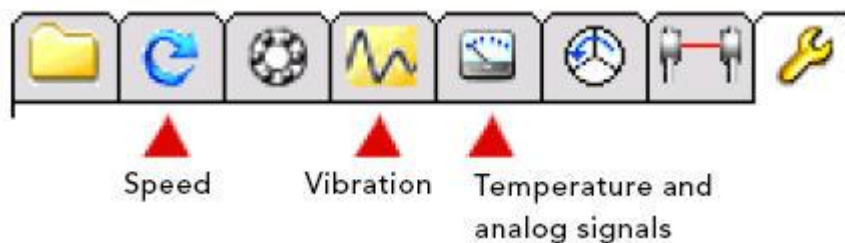
Ορίζουμε τον αριθμό των μετρήσεων (σχ. 110) ή τον χρόνο των μετρήσεων που θέλουμε να κάνουμε σε κάποιο σημείο (2). Μπορούμε ακόμα να ρυθμίσουμε και τον χρόνο αναμονής (3) όπου το όργανο σταματάει για λίγο μετά από κάθε μέτρηση. Πατώντας το κουμπί **New** (4), ανοίγει μία λίστα (5) από την οποία διαλέγουμε καινούργιο τύπο μέτρησης που θέλουμε να προσθέσουμε στην συνεχόμενη μέτρηση (6) που έχουμε να πραγματοποιήσουμε στην συνέχεια. Υπάρχει δυνατότητα αντικατάστασης μιας τεχνικής μέτρησης με μία άλλη μέσω του πλήκτρου **Edit** (7) ή ακόμα η δυνατότητα να σβηστεί (8) από την συνεχή μέτρηση



Σχήμα (110)

#### 8.4.8 Απεριόριστες τεχνικές λειτουργίες

Το Leonova είναι πάντα προγραμματισμένο για απεριόριστη χρήση κάποιων τεχνικών μέτρησης (βλ. σχήμα 111).

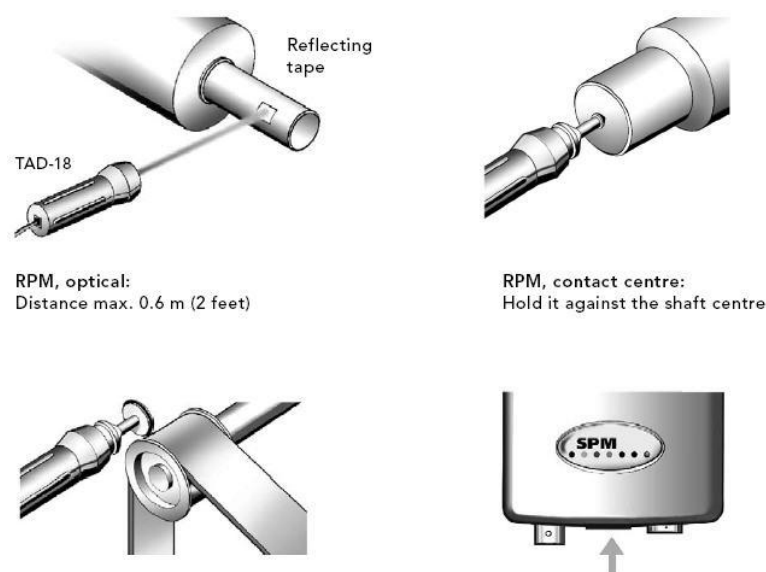


Σχήμα (111)

Άλλες διαγνωστικές και αναλυτικές λειτουργίες, για τη μέτρηση των κρουστικών παλμών, τη μέτρηση κραδασμών και την ευθυγράμμιση αξόνων επιλέγονται κατά προτίμηση από τον χρήστη.

- Μέτρηση της ταχύτητας περιστροφής και της θερμοκρασίας

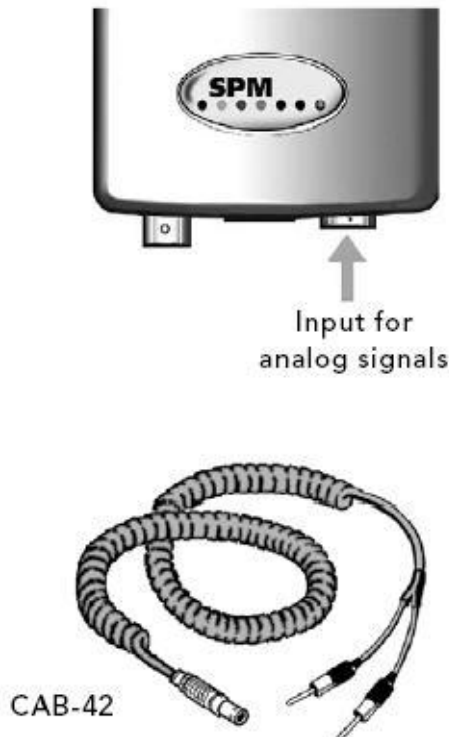
Αυτές τις δύο λειτουργίες τις έχουμε δει στο **Machine Condition Tester T30** όπου είναι ίδιες λειτουργίες κατά τις οποίες γίνεται χρήση των ίδιων αισθητήρων και εξοπλισμού SPM. Ο αισθητήρας ταχυμέτρου SPM χρησιμοποιείται για την οπτική και την μέτρηση επαφής. Ο αισθητήρας συνδέεται μέσω της μεσαίας θύρας (σχ. 112).



Σχήμα (112)

- Μέτρηση αναλογικού σήματος

Ο εξοπλισμός για την μέτρηση αναλογικού σήματος αποτελείται από το σπειροειδές καλώδιο CAB-42 που συνδέεται με τη δεξιά θύρα για εισαγωγή μετατροπέων (σχ. 113).



Σχήμα (113)

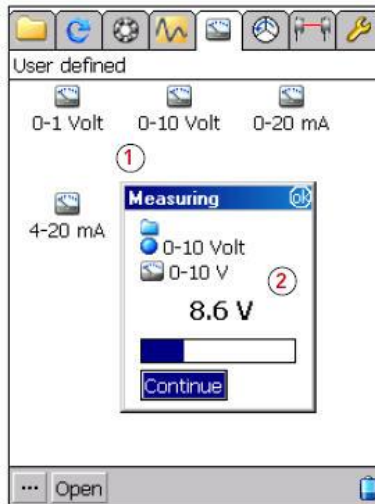
Η οθόνη της τεχνικής μέτρησης αναλογικού σήματος (1) περιέχει ένα αρχείο προεπιλογής για κάθε έναν από τους αποδεκτούς τύπους σημάτων:

- 1) 0 – 20 mA
- 2) 4 – 20 mA
- 3) 0 – 1 V
- 4) 0 – 10 V.

Μπορούμε να ανοίξουμε τα αρχεία και να τα διαμορφώσουμε.

Για να μετρήσουμε, πιέζουμε το πλήκτρο **MEAS**. Η αρίθμηση επιδεικνύεται σε ένα μικρό παράθυρο (2). Όταν σταθεροποιηθεί πατάμε **Continue** για να αποθηκεύσουμε το αποτέλεσμα ή να μετρήσουμε πάλι (σχ. 114).

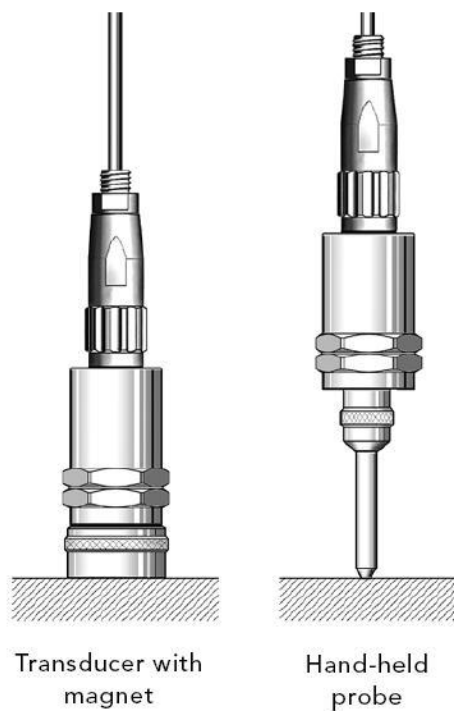




Σχήμα (114)

- Μέτρηση των κραδασμών

Όπως όλα τα προηγούμενα όργανα που έχουμε δει, η Leopona μετράει το επίπεδο των κραδασμών με τον ίδιο τρόπο. Η επιλογή των σημείων μέτρησης γίνεται με την ίδια τεχνική και μετράμε κατά τρεις κατευθύνσεις (V, H, A) όπου χρησιμοποιούμε αισθητήρες επαφής (χειροκίνητα), αισθητήρες με μαγνητική βάση ή μόνιμης βάσης (σχ. 115).



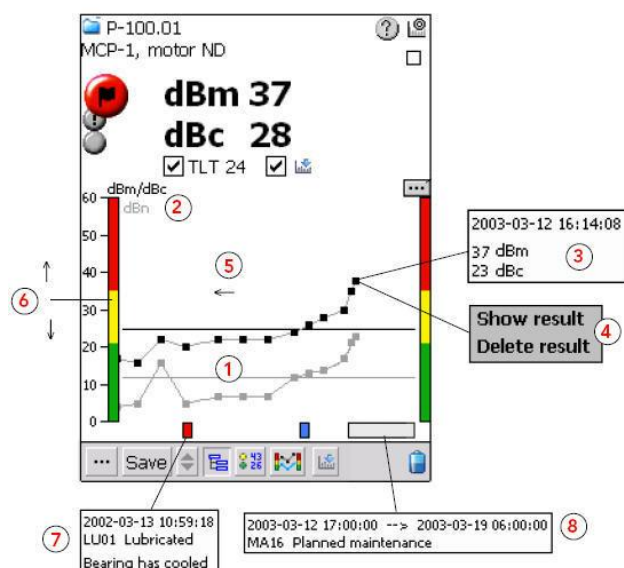
Σχήμα (115)

## 8.4.9 Η προβολή των αποτελεσμάτων

- Παράθυρο γραφικής παράστασης

Το παράθυρο γραφικής παράστασης παρουσιάζει τα αποτελέσματα της μέτρησης ως σημεία (1) κατά μιας ουδέτερης κλίμακας (σχ. 116). Τα όρια των συναγερμών σε Condmaster χαρακτηρίζονται από οριζόντιες γραμμές. Ο τύπος του αποτελέσματος της μέτρησης (2) επιλέγεται στο παράθυρο των αποτελεσμάτων της μέτρησης.

Μέχρι 100 αποτελέσματα μετρήσεων μπορούμε να μεταφέρουμε από τον υπολογιστή μέσω **Condmaster**. Η ρύθμιση γίνεται από το 'σύστημα μετρήσεων' όταν ενεργοποιείται το **Leonova**. Τα αποτελέσματα αυτά θα συγκριθούν με τα καινούρια που θα μετρήσουμε για ανάγνωση βλαβών ή τυχόν αυξημένων προβλημάτων.

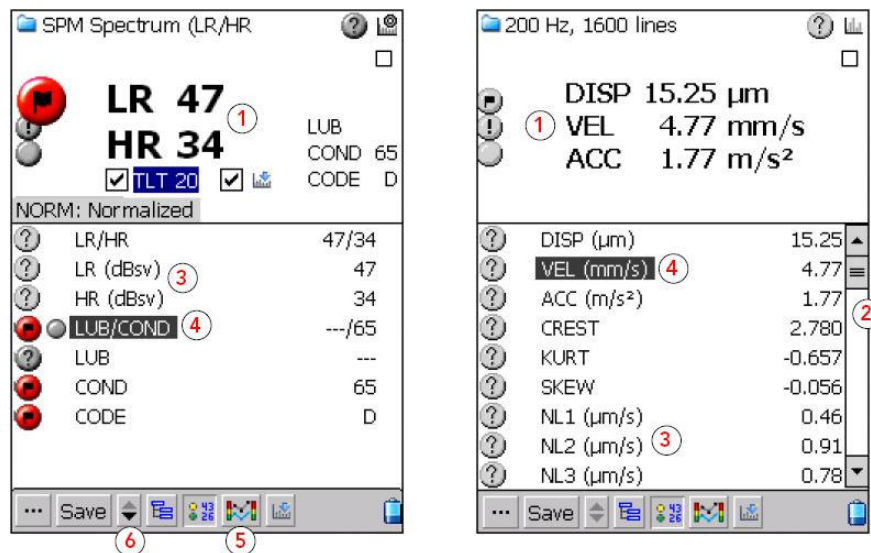


Σχήμα (116)

Ακουμπώντας με την πένα ένα σημείο του φάσματος στο παράθυρο των γραφικών παραστάσεων, εμφανίζεται ο χρόνος που έγινε η μέτρηση και η τιμή της μέτρησης (3). Αν την κρατάμε για μικρό χρονικό διάστημα πάνω στο σημείο, στην οθόνη θα εμφανιστεί η επιλογή διαγραφής του σημείου αυτού (4). Αν γλιστράμε την πένα στην οθόνη, μας δίνει την δυνατότητα πλοήγησης πάνω στην γραφική παράσταση, να ζουμάρουμε (5) και ακόμα να αλλάξουμε την κλίμακα των dBm και dBc (6). Τα σχόλια τοποθετούνται κάτω από την γραφική παράσταση (7,8) και ανοίγουν όταν τα επιλέγουμε με την πένα. Αν κρατάμε την πένα πάνω στην περιοχή των σχολίων, μπορούμε να εισάγουμε καινούργια σχόλια, να τα διορθώσουμε ή να τα σβήσουμε.

- Παράθυρο αποτελεσμάτων

Το παράθυρο των αποτελεσμάτων είναι σημαντικό για τις τεχνικές μέτρησης που δίνουν πολλές τιμές ταυτόχρονα (σχ. 117). Κάθε τεχνική μέτρηση μπορεί να εμφανίζει διαφορετικό πλήθος τιμών. Η μπάρα πλοήγησης (2) δείχνει ότι υπάρχουν περισσότεροι παράμετροι από εκείνους που είναι ορατοί στην οθόνη.



Σχήμα (117)

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται στο παράθυρο πριν και μετά από τη διάσωση τους. Ένα ενεργό κουμπί (6) δείχνει ότι διάφορες αναγνώσεις έχουν ληφθεί, περιμένοντας την επιλογή της.

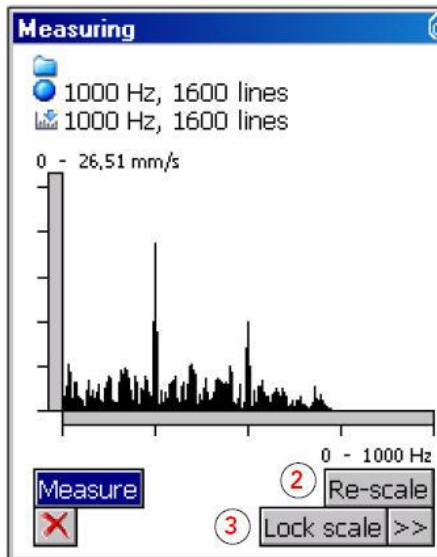
- Παράθυρο ζωντανής ένδειξης φασματικής ανάλυσης

Το παράθυρο ζωντανής ένδειξης φάσματος παρουσιάζει συνεχώς ενημερωμένο φάσμα με 200 γραμμές. Αυτή η λειτουργία ενεργοποιείται (σχ. 118) από τα εργαλεία ‘**Tools – General settings**’. Επιλέγουμε προβολή ζωντανό φάσμα (1).



Σχήμα (118)

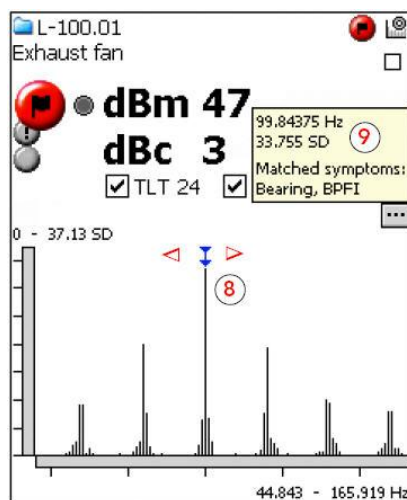
Το πλήκτρο ‘**Re-scale**’ (2) θα ρυθμίσει την κλίμακα **Y** (σχ. 119) για να εμφανιστεί η υψηλότερη αιχμή και το πλήκτρο ‘**Lock-scale**’ (3) θα κλειδώσει την κλίμακα **Y** στο σημείο που θέλουμε.



Σχήμα (119)

Για να βάλουμε έναν δείκτη στο φάσμα, πατάμε και κρατάμε την πένα για λίγο οπουδήποτε μέσα του διαγράμματος μέχρι να εμφανιστεί ένα κάθετο βέλος (8). Το βέλος μπορεί να συρθεί με την πένα. Για περισσότερη ακρίβεια, κινούμε τον δείκτη με τα βελάκια (δεξιά ή αριστερά).

Σε κάθε βήμα, ο δείκτης πηδά στην κορυφή της επόμενης αιχμής και σε περίπτωση που δεν υπάρχει αιχμή πάει στη γραμμή βάσεων (εύρος = 0). Η συχνότητα και το πλάτος της θέσης του δείκτη (σχ. 120) επιδεικνύονται στο παραθυράκι (9).

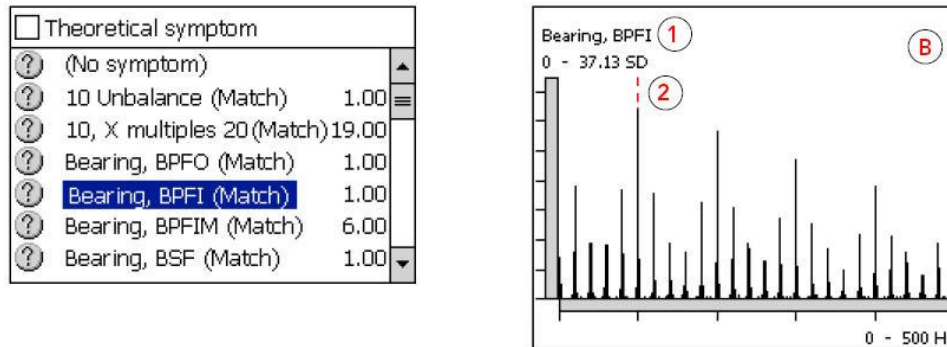


Σχήμα (120)

Όταν το βέλος συμπίπτει με μια θέση που έχει ένα σύμπτωμα, το όνομα του συμπτώματος επιδεικνύεται (8). Σε περίπτωση που διάφορα συμπτώματα μοιράζονται την ίδια θέση, όλα τα σχετικά ονόματα συμπτωμάτων θα εμφανιστούν μαζί.

Για να τονιστεί ένα σύμπτωμα στο φάσμα, έχουμε μία λίστα συμπτωμάτων από την οποία διαλέγουμε ένα σύμπτωμα που υποψιαζόμαστε ότι υπάρχει και το Leonardo θα μας

εμφανίσει αυτόματα την θέση του συμπτώματος με διακεκομμένη κόκκινη γραμμή (2) και την τιμή του πάνω από την αιχμή στο φάσμα (σχ. 121)



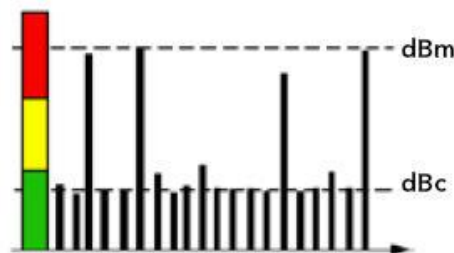
Σχήμα (121)

#### 8.4.10 Μέτρηση του επιπέδου των κρουστικών παλμών

Η μέτρηση των κρουστικών παλμών (SPM) εφαρμόζεται σε τρεις διαφορετικές τεχνικές:

##### 1. SPM dBm/dBc

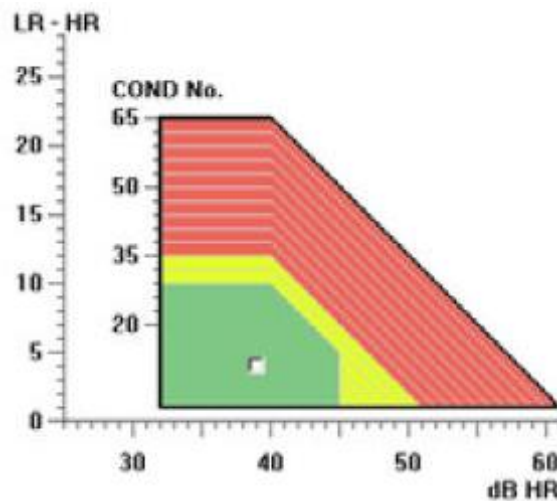
Όπως έχουμε δει προηγουμένως, το επίπεδο των κρουστικών παλμών φαίνεται σε κλίμακα decibel με δύο τιμές (σχ. 122), τη μέγιστη τιμή **dBm** και την τιμή βάσης **dBc**. Πάνω σε μια (πράσινη - κίτρινος - κόκκινη) κλίμακα. Δείχνει την κατάσταση του ρουλεμάν ως καλή - μειωμένη – κακή.



Σχήμα (122)

##### 2. SPM LR/HR

Το επίπεδο των κρουστικών παλμών εμφανίζεται σε κλίμακα decibel (σχ. 123) με τιμή **LR** (low rate of occurrence) χαμηλό επίπεδο που αντιστοιχεί σε dBm και **HR** (high rate of occurrence) υψηλό επίπεδο που αντιστοιχεί σε dBc. Εκτός από αυτές, για καλύτερη αξιολόγηση της κατάστασης του ρουλεμάν υπάρχουν οι ενδείξεις **CODE** (overall condition), **COND** (mechanical state of the surfaces) και **LUB** (oil film thickness).



Σχήμα (123)

Μετά από μία μέτρηση, το όργανο θα εμφανίσει:

- Γενική περιγραφή της κατάστασης του ρουλεμάν (CODE)
- Τιμή του λιπαντικού στρώματος (LUB)
- Τιμή φθοράς της επιφάνειας (COND)

Ένας αριθμός LUB κοντά στο μηδέν σημαίνει πως δεν υπάρχει λιπαντικό (Dry Running).  
Ενώ ένας αριθμός COND περίπου 30 δείχνει κόπωση της επιφάνειας ή πρόωρη ζημία.

Γενικά:

Κωδικός **A**: καλό ρουλεμάν

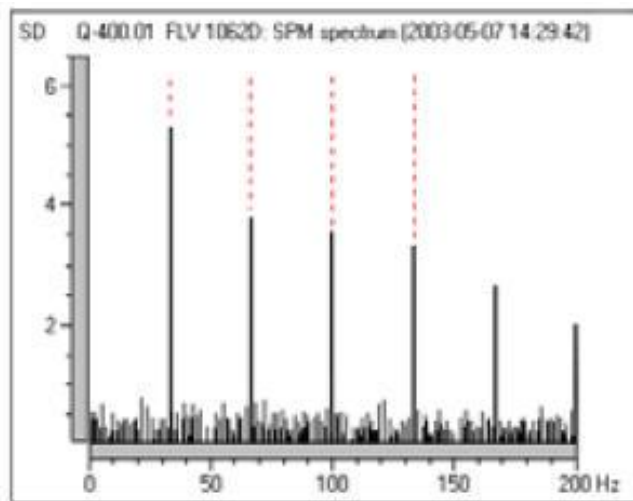
Κωδικός **B**: Χαμηλό επίπεδο λιπαντικού στρώματος (φτωχή λίπανση)

Κωδικός **C**: Λειτουργία χωρίς λιπαντικό, κίνδυνος ζημίας

Κωδικός **D**: Βλάβη.

### 3. SPM Spectrum

Ο σκοπός «του φάσματος SPM» είναι να ελεγχθεί η πηγή των υψηλών κρουστικών παλμών. Να σιγουρευτούμε αν προέρχονται από το ρουλεμάν ή από άλλη πηγή. Η συχνότητα του φάσματος (σχ. 124) στην οποία θα εμφανιστεί αιχμή που αντιστοιχεί σε βλάβη από ρουλεμάν είναι διαφορετική από συχνότητες άλλων εξαρτημάτων της μηχανής.



Σχήμα (124)

Ένα σημαντικό εργαλείο του εξοπλισμού του Leonova είναι τα ακουστικά που μας επιτρέπουν να ακούσουμε το επίπεδο των κραδασμών και να επιβεβαιώσουμε την πηγή τους

Δύο τύποι ακουστικών είναι διαθέσιμοι.

- Ακουστικό EAR10 με το καλώδιο.
- Ακουστικό EAR11 κράνος με το καλώδιο.

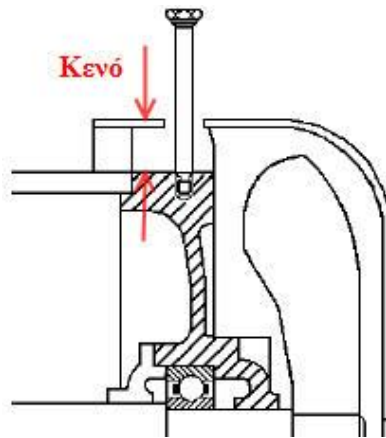
Τα ακουστικά συνδέονται στην θύρα (12) εισόδου-εξόδου του Leonova.

#### **8.4.11 Παραδείγματα επιλογής σημείων μέτρησης και τοποθέτηση αισθητήρων**

Για την χρήση του Leonova, διαλέγουμε τα σημεία μέτρησης σύμφωνα με τους κανόνες της SPM όπως έχουμε δει προηγουμένως. Σε περίπτωση που απαιτείται τοποθέτηση μόνιμο υποδοχέα λήψης (Adapter) θα χρειαστεί να τρυπήσουμε το κέλυφος της μηχανής για να φτάσουμε στο κέλυφος του ρουλεμάν. Δύο διαφορετικά παραδείγματα:

- 1) Μακρής υποδοχέας

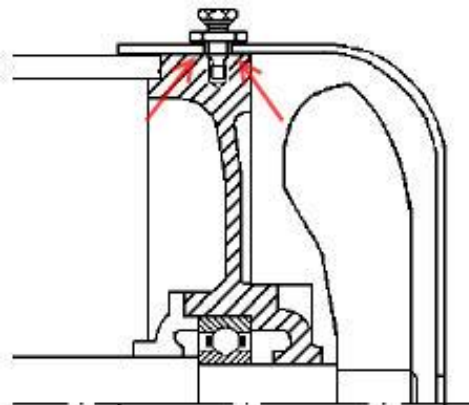
Ένα σημείο μέτρησης κάτω από το καπάκι του ανεμιστήρα μπορεί να επιτευχθεί με έναν μακρύ υποδοχέα (σχ. 125), μέσω μιας τρύπας στο καπάκι του ανεμιστήρα.



Σχήμα (125)

## 2) Υποδοχέας με κόντρα παξιμάδι (Adapter with lock nut)

Μπορεί να χρησιμεύσει και ως παξιμάδι στήριξης του καπακιού του ανεμιστήρα. Η υποδοχή του adapter φτιάχνεται στο κάλυμμα του κινητήρα που είναι ταυτοχρόνως και το κέλυφος του ρουλεμάν (σχ. 126).

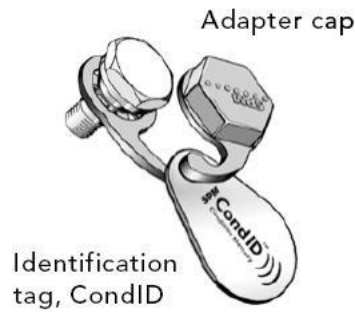


Σχήμα (126)

Η επιφάνεια του υποδοχέα πρέπει να είναι καθαρή και επίπεδη. Χρησιμοποιούμε ένα καπάκι για να τον προστατεύσουμε (σχ. 127).

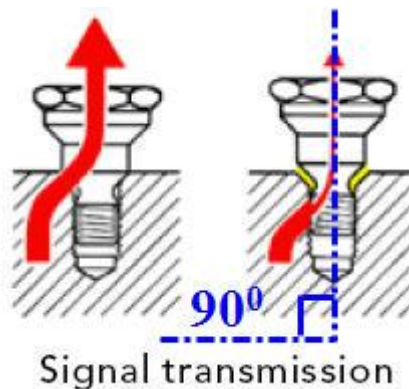
Επιπλέον μπορούμε να βάλουμε μια ετικέτα προσδιορισμού **CondID**<sup>®</sup> που μπορεί να κρεμαστεί στον υποδοχέα. Αυτή η ετικέτα μνήμης χρησιμοποιείται για να αναγνωριστεί από το όργανο, πριν την λήψη των μετρήσεων, όπου εμφανίζονται στην οθόνη του οργάνου τα χαρακτηριστικά του σημείου αυτού μαζί με προηγούμενα αποτελέσματα για άμεση σύγκριση με τις τιμές των μετρήσεων που θα πραγματοποιήσουμε.





Σχήμα (127)

Τονίζουμε πως για να πάρουμε καθαρό και σωστό σήμα στο όργανο θα πρέπει να προσαρμόσουμε τον υποδοχέα σωστά, η γωνία του κοχλία να είναι  $90^0$  (σχ. 128) . Οι κρουστικοί παλμοί μεταδίδονται διά της κωνικής επιφάνειας η οποία πρέπει να έχει σταθερή επαφή με το υλικό του κελύφους του ρουλεμάν. Δημιουργούμε μία βιδωτή τρύπα και βιδώνουμε τον υποδοχέα με ροπόκλειδο.

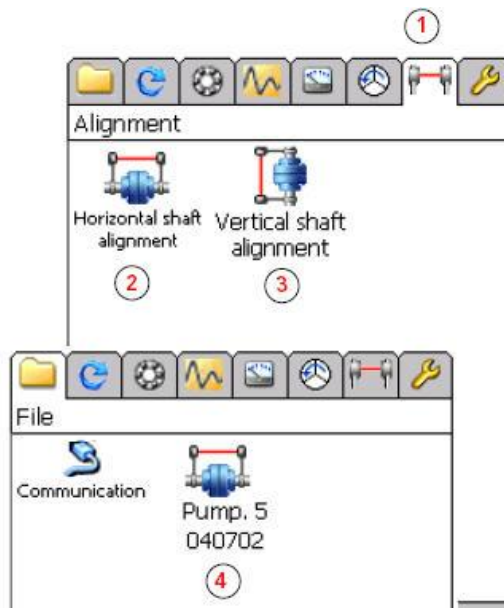


Σχήμα (128)

#### 8.4.12 Ευθυγράμμιση αξόνων

Η ευθυγράμμιση αξόνων είναι μια λειτουργία που υποστηρίζεται από λογισμικό Leonova MMI έκδοση 3.00 ή νεότερη

Στο παράθυρο (1) φαίνεται ότι το Leonova περιέχει δύο τυποποιημένες λειτουργίες ευθυγράμμισης (σχ. 129), μια για οριζόντιες (2) και μια για τις κάθετες (3) συνδέσεις μηχανών. Μια ευθυγράμμιση μπορεί να σωθεί ως αρχείο (4) με όλα τα βασικά στοιχεία, που χρησιμοποιούνται πάλι για τις παρόμοιες καταστάσεις.



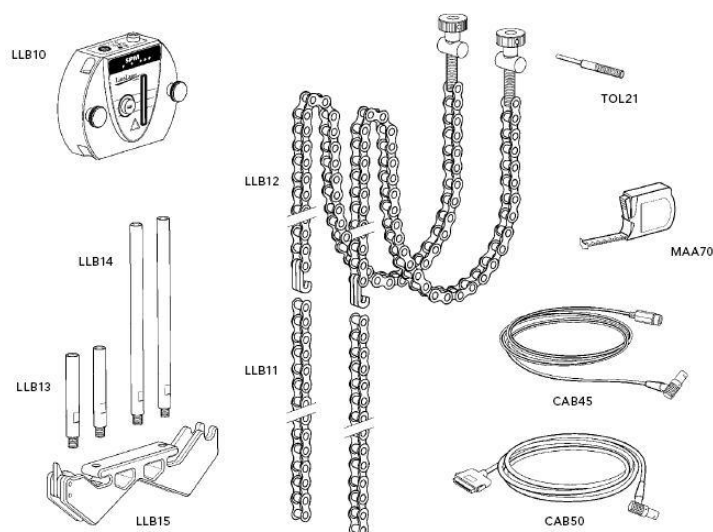
Σχήμα (129)

Τα εξαρτήματα ευθυγράμμισης του Leonova αποτελούνται από τις συσκευές πομπό/δέκτη **LineLazer** που μετρούν τη θέση των αξόνων σε σχέση με την μέση του μετρούμενου άξονα. Έχουν ανιχνευτές θέσης (**PSDs**)<sup>1</sup> με μεγάλη κάθετη περιοχή υποδοχής που λαμβάνει μια ακτίνα λέιζερ κατά την οριζόντια γραμμή που κάνει την ρύθμιση πολύ ακριβή. Ενσωματωμένο κλισιόμετρο που μετράει τη γωνία της περιστροφής και των δύο ανιχνευτών. Αυτό επιτρέπει τη μέτρηση σε αυτόματη λειτουργία, με λιγότερο από μισή στροφή του άξονα. Μόνο ο κύριος ανιχνευτής συνδέεται με το Leonova.

Το Leonova είναι η μονάδα ελέγχου και εμφάνισης αποτελεσμάτων. Ο χρήστης ακολουθεί τα βήματα της διαδικασίας καθώς το όργανο προβάλλει εικονίδια και γραφικές παραστάσεις που οδηγούν τον χρήστη βήμα-βήμα μέχρι την ολοκλήρωση της ευθυγράμμισης. Μια ζωντανή προβολή δείχνει το αποτέλεσμα της κάθετης και οριζόντιας διόρθωσης.

Ένας προγραμματισμένος πίνακας ανοχών ενημερώνει τον χρήστη πότε η κατάλληλη ευθυγράμμιση επιτυγχάνεται. Μία (πράσινη, κίτρινη, κόκκινη) ένδειξη δείχνει τη σοβαρότητα της μη ευθυγράμμισης, ή όταν το αποτέλεσμα είναι μέσα στα επιτρεπόμενα όρια.

### 8.4.13 Εξοπλισμός ευθυγράμμισης

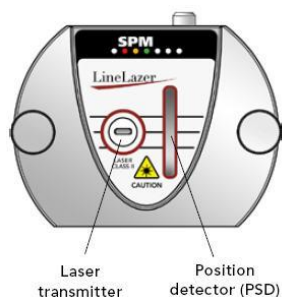


Σχήμα (130)

- LLB10 **LineLazer** μονάδα ανιχνευτής/πομπός
- LLB11 Επέκταση αλυσίδα, μήκος 1000 mm
- LLB12 Ρυθμιζόμενη αλυσίδα, μήκος 500 mm
- LLB13 Βέργα υποστήριξης 80 mm, σετ 4 κομμάτια
- LLB14 Βέργα υποστήριξης 150 mm, σετ of 4 κομμάτια
- LLB15 Βάση στήριξης στον άξονα
- CAB50 Καλώδιο σύνδεσης μονάδας LineLazer με το Leonova, length 3 m
- MAA70 Ταινία μέτρησης

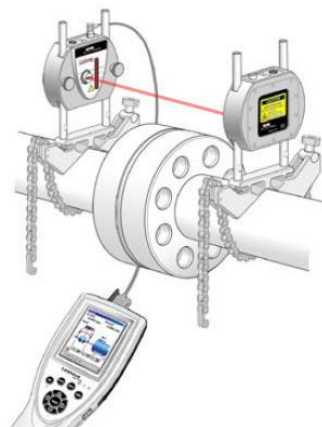
### 8.4.14 Ανιχνευτής/Πομπός LineLazer

Οι δύο συσκευές είναι ανιχνευτής και πομπός (σχ. 131). Η επικοινωνία μεταξύ τους είναι ασύρματη και μόνο μια από τις δύο συσκευές ορίζεται ως **master** και συνδέεται με καλώδιο στο Leonova.



Σχήμα (131)

**Προσοχή:** Μην κοιτάζετε ποτέ άμεσα στη συσκευή εκπομπής δέσμης λέιζερ.



Σχήμα (132)

Ο σκοπός της ευθυγράμμισης αξόνων είναι να αποφεύγεται η υπερβολική δόνηση και η πρόωγη φθορά των εξαρτημάτων της μηχανής.

Έλεγχος ευθυγράμμισης πρέπει να γίνει εάν ένα ή περισσότερα από αυτά τα συμπτώματα σημειώνονται:

- Υπερβολική δόνηση κατά την ακτινωτή και την αξονική κατεύθυνση
- Υψηλή θερμοκρασία λιπαντικού και ρουλεμάν
- Υπερβολική διαρροή λιπαντικού στα ρουλεμάν
- Συχνές αποτυχίες ρουλεμάν.

## 1. Παράρτημα

- 1) Ένας ευαίσθητος ανιχνευτής θέσης (PSD) είναι ένας οπτικός αισθητήρας θέσης (OPS), ο οποίος μπορεί να μετρήσει την θέση ενός σημείου του φωτός (λέιζερ) σε μια επιφάνεια αισθητήρων στο ένα ή των δύο-διαστάσεων.



## Βιβλιογραφία

1. Θ.Ν. ΚΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ, Σημειώσεις συντήρησης μηχανών, Τεύχος Δ
2. Θ.Ν. ΚΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ, Οδοντώσεις Και Μειωτήρες Στροφών, Εκδόσεις ΣΥΜΕΩΝ 1991
3. SKF, Εργαλεία συντήρησης Και Προϊόντα Λίπανσης, SKF 2005
4. Ε. Δ. ΠΑΠΑΔΑΝΙΗΛ- Μ. Μ. ΣΦΑΝΤΙΚΟΠΟΥΛΟΥ, Μηχανολογικό Σχέδιο, ΑΘΗΝΑ 1999
5. ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ Ε. ΚΑΝΥΛΗ, ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΑΙ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΙΣ, Προληπτική Συντήρηση Μηχανών Τεχνολογία Και Παραδείγματα Εφαρμογών
6. ΣΚΑΡΜΕΑ ΜΑΡΙΑ, Διπλωματική Εργασία, Συντήρηση Περιστρεφόμενων Μηχανών 2002
7. ΑΡΙΣΤΟΜΕΝΗΣ ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ- ΝΕΚΤΑΡΙΟΣ ΒΙΔΑΚΗΣ, Προγραμματισμός εργαλειομηχανών CNC, Έκδοση Β' 2004
8. ΓΕΩΡΓΙΟΥ Β. ΚΥΡΙΑΚΟΠΟΥΛΟΥ, Τεχνολογία Λιπαντικών, Εκδόσεις Δευτέρα, ΑΘΗΝΑ 1981
9. Ρ. ΓΚΡΑΙΚΟΥΣΗ, Στοιχεία Περιτροφικής Κινήσεως (Τριβή, λίπανση, έδρανα κυλίσεως), Εκδόσεις ΓΙΑΧΟΥΔΗ
10. G. NIEMAN, Στοιχεία μηχανών, Έκδοση (ΓΡΗΓ. ΦΟΥΝΤΑΣ)
11. T. A. STOLARSKI, Tribology In Machine Design, Butterworth-Heinemann 2000
12. Robert L. Norton, Machine Design, Prentice Hall 2000

## Websites

1. [www.directindustry.com](http://www.directindustry.com)
2. [www.reliabilitydirect.com](http://www.reliabilitydirect.com)
3. [www.idcon.com](http://www.idcon.com)
4. <http://spectrum-instruments.com>
5. [www.ascro.net](http://www.ascro.net)
6. [www.gordonengland.co.uk](http://www.gordonengland.co.uk)
7. [www.machinerylubrication.com](http://www.machinerylubrication.com)
8. [www.spminstrument.com](http://www.spminstrument.com)
9. <http://www.spminstrument.us>
10. [www.powercurvetech.com](http://www.powercurvetech.com)
11. [www.bearingstc.gr](http://www.bearingstc.gr)
12. [www.swdrives.com](http://www.swdrives.com)
13. <http://en.wikipedia.org>
14. <http://www.monarchserver.com>
15. <http://www.bsahome.org>
16. <http://www.innovatt.com>
17. <http://www.leonovabyspm.com>
18. <http://www.vibrasyon.com>
19. <http://science.howstuffworks.com>
20. <http://www.maintenanceworld.com>
21. [www.skf.com](http://www.skf.com)