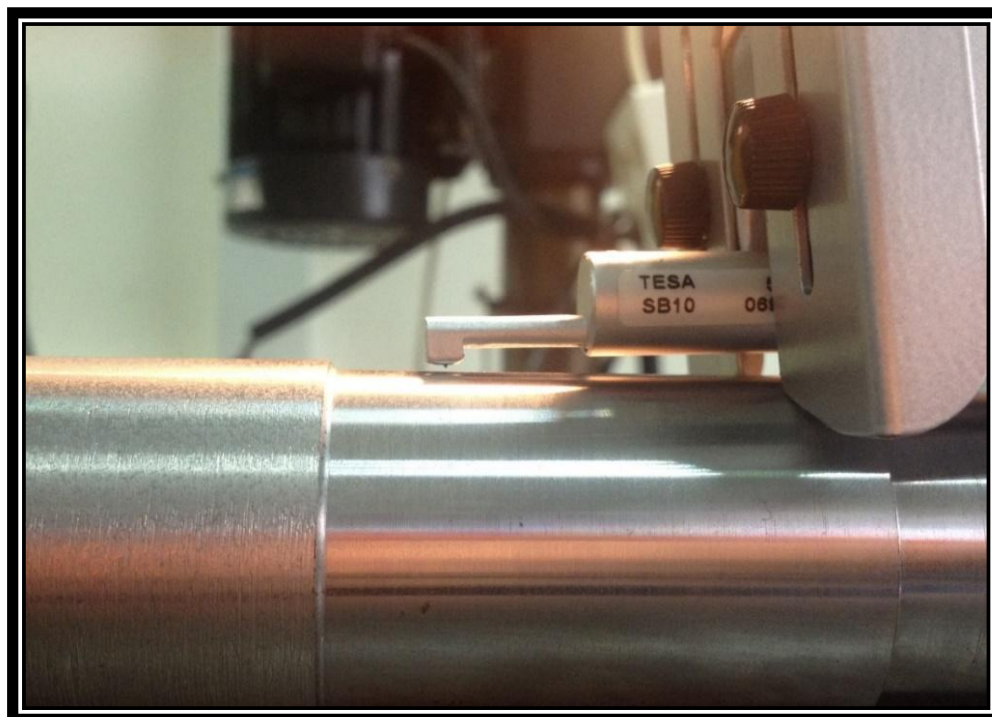


ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΜΕΤΡΗΣΗ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΚΟΠΗΣ ΣΤΗΝ
ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΤΕΛΙΚΩΝ ΤΕΜΑΧΙΩΝ ΜΕ ΤΗ
ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΡΑΧΥΜΕΤΡΗΣΕΩΝ



Κωνσταντάκης Μιχαήλ

Χανιά 2016

Υπεύθυνος Καθηγητής

Δρ. Δημητρίου Βασίλειος, Επίκουρος Καθηγητής
Εργαστήριο Προσομοιώσεων & Μηχανολογικών Κατασκευών – SMM

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγή.....	4
1.1. Τοπογραφία επιφανειών	4
1.2. Επιφάνειες και αποκλίσεις	6
1.3. Επιφάνειες και τραχύμετρα	8
1.4. Επιφάνειες και τραχυμετρήσεις.....	10
1.4.1 Προσδιορισμός μέσης γραμμής.....	14
1.4.2. Προσδιορισμός κεντρικής γραμμής.....	14
1.4.3. Προσδιορισμός μέσης αριθμητικής τραχύτητας Ra	15
1.4.4. Μέγιστο βάθος ή μέγιστη τραχύτητα Rt.....	16
1.4.5. Καμπύλη Φέρουσας Επιφάνειας	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Το τραχύμετρο RUGOSURF 20	19
2.1 Χαρακτηριστικά και λειτουργία του RUGOSURF 20	19
2.2 Διαδικασία μέτρησης τραχύτητας	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Μετρήσεις τραχύτητας	31
3.1 Μετρήσεις δοκιμίων	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Αξιολόγηση μετρήσεων τραχύτητας	51
5. Συμπεράσματα.....	54
6. Βιβλιογραφία.....	55

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον Επίκουρο Καθηγητή Βασίλη Δημητρίου, του Τμήματος Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, για την δυνατότητα που μου έδωσε να πραγματοποιήσω την πτυχιακή μου εργασία. Για όλη τη βοήθεια που μου παρείχε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας μου, τις συμβουλές και τις οδηγίες που με βοήθησαν να την φέρω εις πέρας. Επίσης, ευχαριστώ τον Θεόδωρο Παπαδουλή, εργαστηριακό συνεργάτη του SMM για τη βοήθεια που μου παρείχε, ειδικότερα στο πειραματικό μέρος, που αφορά τη διαδικασία λήψης των τραχυμετρήσεων. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την εργαστηριακή βοηθό του SMM Ελένη Βαριαντζά για την βοήθεια της, στην οργάνωση και σύνθεση της πτυχιακής μου εργασίας. Τους ευχαριστώ όλους για τον χρόνο που μου αφιέρωσαν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγή

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιείται “Διερεύνηση επιρροής συνθηκών κοπής στην ποιότητα των τελικών τεμαχίων με τη βοήθεια τραχυμετρήσεων”. Αφού προσδιοριστεί το τι είναι τραχύτητα επιφάνειας, αναλύεται η διαδικασία μέτρησής της. Εννέα δοκίμια τόννευσης με χαρακτηριστικές συνθήκες κοπής χρησιμοποιούνται ως δείγματα προς μέτρηση. Αναλύεται η λειτουργία του τραχυμέτρου που χρησιμοποιήθηκε και ο τρόπος που έγιναν οι μετρήσεις. Τα αποτελέσματα που πάρθηκαν κατά το πέρας αυτής χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή συμπερασμάτων για τις παραμέτρους κοπής και την επιρροή αυτών στην τελική τους επιφάνεια.

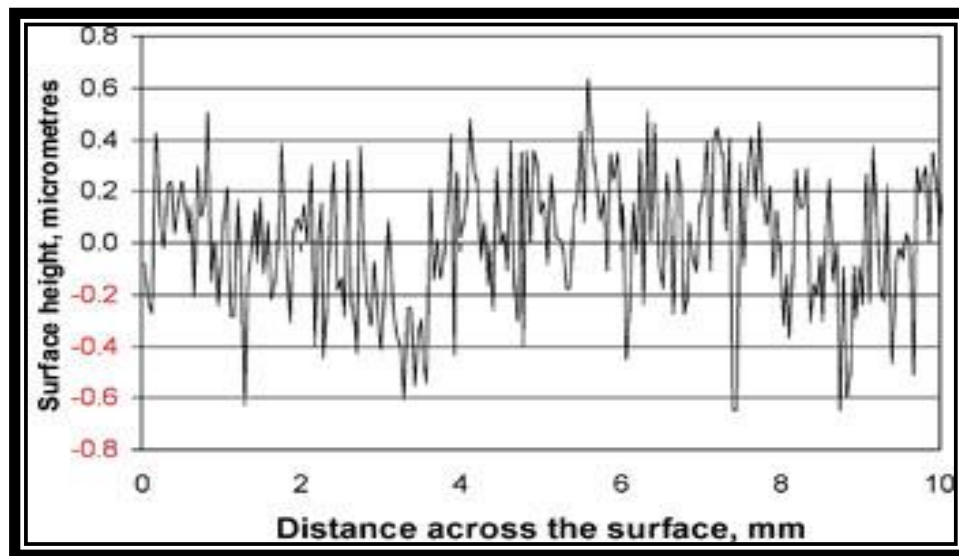
1.1. Τοπογραφία επιφανειών

Η έννοια της απόλυτα λείας επιφάνειας, μιλά για μια επιφάνεια η οποία είναι απόλυτα λεία σε ένα γεωμετρικό επίπεδο, αλλά όταν μελετηθεί σε μοριακό επίπεδο βλέπουμε ότι στην πραγματικότητα αυτό δεν είναι εφικτό. Το πόσο λεία είναι μια επιφάνεια, δηλαδή το ποσοστό τραχύτητας της επιφάνειας αυτής, εξαρτάται από τις ιδιότητες του υλικού και τον τρόπο κατεργασίας του κατά την κατασκευή του. Το ποσοστό διαδοχικών εξάρσεων ή βυθίσεων του ανάγλυφου μπορεί να περιοριστεί ή να αυξηθεί ανάλογα με τον τρόπο κατεργασίας που χρησιμοποιήθηκε, οι εξάρσεις και οι βυθίσεις ανάγλυφου ονομάζονται επιφανειακή τοπογραφία που καθορίζει το πόσο λεία είναι μια επιφάνεια [1].



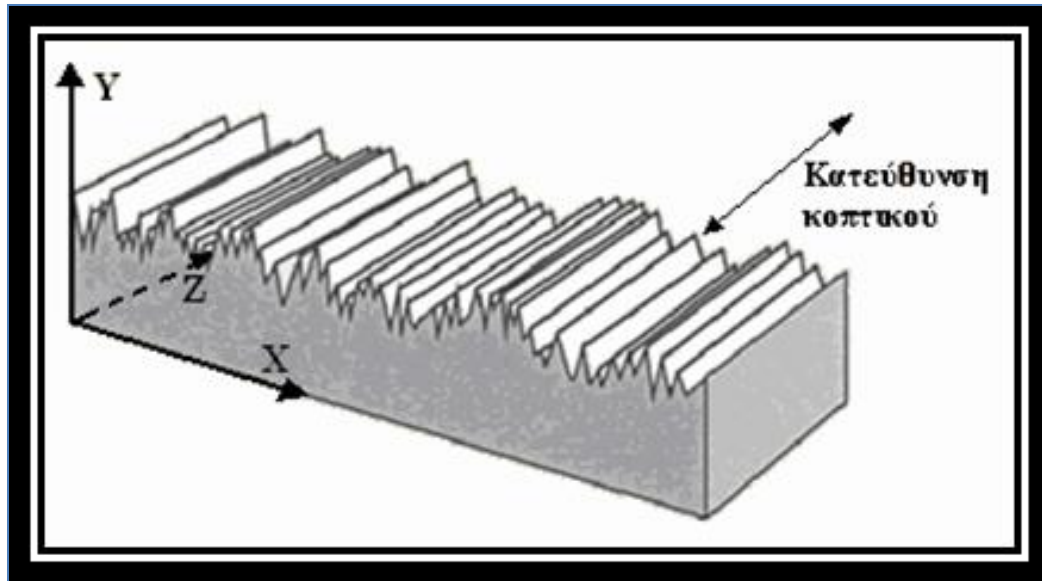
Σχήμα 1.1. Φυσική επιφάνεια.

Για να επιτύχουμε τη βέλτιστη ποιότητα μιας επιφάνειας πρέπει να καθοριστούν κάποια αποδεκτά γεωμετρικά όρια, πριν τη κατεργασία αυτής, κατά το σχεδιασμό. Όταν ένα στερεό σώμα δέχεται τριβές π.χ. λόγω μηχανικών φορτίσεων και γενικά βρίσκεται σε διαβρωτικό περιβάλλον η επιφάνειά του παρουσιάζει αύξηση της τραχύτητας. Αυτή η τεχνητή επιφάνεια μπορεί να συγκριθεί με μία μικρής κλίμακας φυσικού στερεού επιφάνεια, όπως συναντάται στη φύση και παρουσιάζει κοιλάδες, πεδιάδες και λόφους όπως στο Σχήμα 1.1.



Σχήμα 1.2. Κάθετη τομή πραγματικής επιφάνειας στερεού σώματος [2].

Η μαθηματική περιγραφή μιας τέτοιας τρισδιάστατης επιφάνειας στο χώρο προϋποθέτει την εύρεση μιας σχέσης τριών αγνώστων που αντιστοιχούν στις συντεταγμένες κάθε σημείου της επιφάνειας σε ένα σύστημα καρτεσιανών αξόνων, η οποία είναι της μορφής: $Y = f(X, Z)$. Για να προσδιορίσουμε τη θέση του συστήματος των κύριων αξόνων, στους οποίους θα μετρήσουμε την επιφάνεια, κόβουμε σε παράλληλες λωρίδες μικρού πάχους, κάθετες τομές, κατά τη διεύθυνση Z όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.2. Έτσι προσδιορίζεται η συνάρτηση δύο μεταβλητών για κάθε για κάθε δεδομένο Z : $Y_i = f_i(X_i)$, για δεδομένο Z_i . Βρίσκοντας τη συνάρτηση (f_i) μπορούμε να απεικονίσουμε το ανάγλυφο της επιφάνειας σε διάγραμμα (xy).



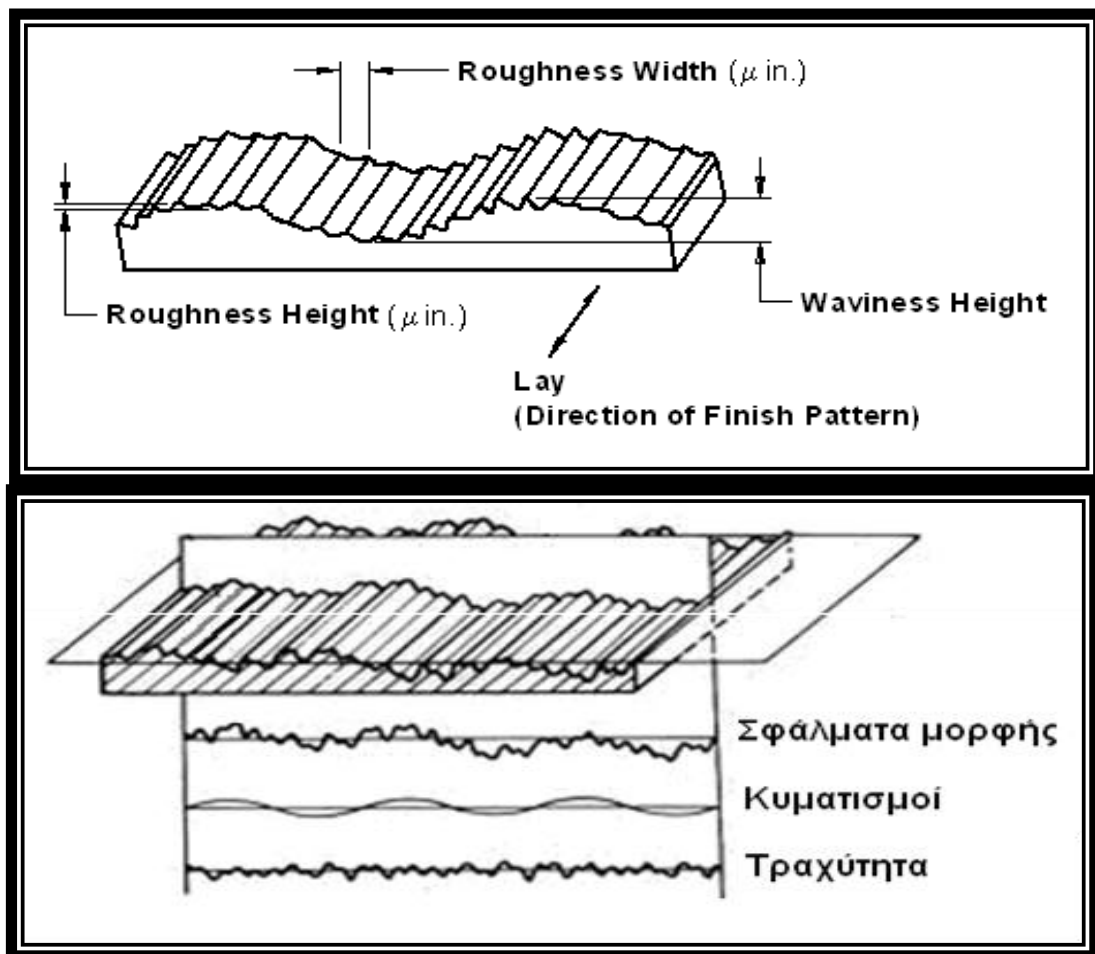
Σχήμα 1.3. Επιφάνεια από πλάνιση [3].

Η κατεργασία αφαίρεσης υλικού, θα έχει ως αποτέλεσμα ένα προσανατολισμένο ανάγλυφο επιφάνειας όπως του Σχήματος 1.3. Δηλαδή θα παρουσιάζει μέγιστες ανωμαλίες στην κάθετη προς τον άξονα κατεργασίας διεύθυνση (άξονας X στο Σχήμα 1.3) και ελάχιστες κατά τη διεύθυνση πρόωσης του κοπτικού άκρου (άξονας Z, στο Σχήμα 1.3). Με αυτή τη μέθοδο μας δίνεται η δυνατότητα της δισδιάστατης αναπαραγωγής της επιφάνειας με τη χρήση του Υ1, που θα αντιπροσωπεύει το πραγματικό ανάγλυφο [3].

1.2. Επιφάνειες και αποκλίσεις

Η μορφή ενός στερεού σώματος μεγεθύνοντας το έχει τη μορφή που απεικονίζεται στο Σχήμα 1.4 (πάνω). Μια επιφάνεια κατά μηχανολογική έννοια, έχει πάντα κάποιες γεωμετρικές αποκλίσεις από την απόλυτα λεία επιφάνεια, οι οποίες συνδέονται με τις συνθήκες κατεργασίας που κατασκευάστηκε και μπορούν να απεικονιστούν σε κυματομορφές όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.4 (κάτω). Αυτές είναι: το **σφάλμα μορφής** και έχει να κάνει με την εσφαλμένη ρύθμιση της εργαλειομηχανής και με την λανθασμένη ρύθμιση των παραμέτρων κατεργασίας ακόμα και σε τάξη χιλιοστών. Έχει ως αποτέλεσμα την υψομετρική απόκλιση του σημείου από το οποίο ξεκινάει η κατεργασία της επιφάνειας σε σχέση με το σημείο κατά το τέλος αυτής. Η **Κυμάτωση** και αφορά τις ταλαντώσεις του μηχανήματος κατά την κατεργασία, είναι τάξης χιλιοστού και έχει ως αποτέλεσμα κάποιες περιοδικά επαναλαμβανόμενες εξάρσεις ή βυθίσεις στην επιφάνεια του στερεού. Η **τραχύτητα** που είναι της τάξεως δέκατων του χιλιοστού και εξαρτάται από τη

γεωμετρία των κοπτικών άκρων, λόγω του ότι οι γεωμετρικές αποκλίσεις από την επιπεδότητα που προκύπτουν είχαν να κάνουν με εσφαλμένη διαχείριση της εργαλειομηχανής. Μικροτραχύτητα και Νανοτραχύτητα είναι οι ονομασίες για να αποδώσουμε αποκλίσεις σε ατομική κλίμακα στις επιφάνειες, τάξης δέκατου του χιλιοστού, 2-100 μm και για μικρότερες τάξης του νανόμετρου (nm), αντίστοιχα.

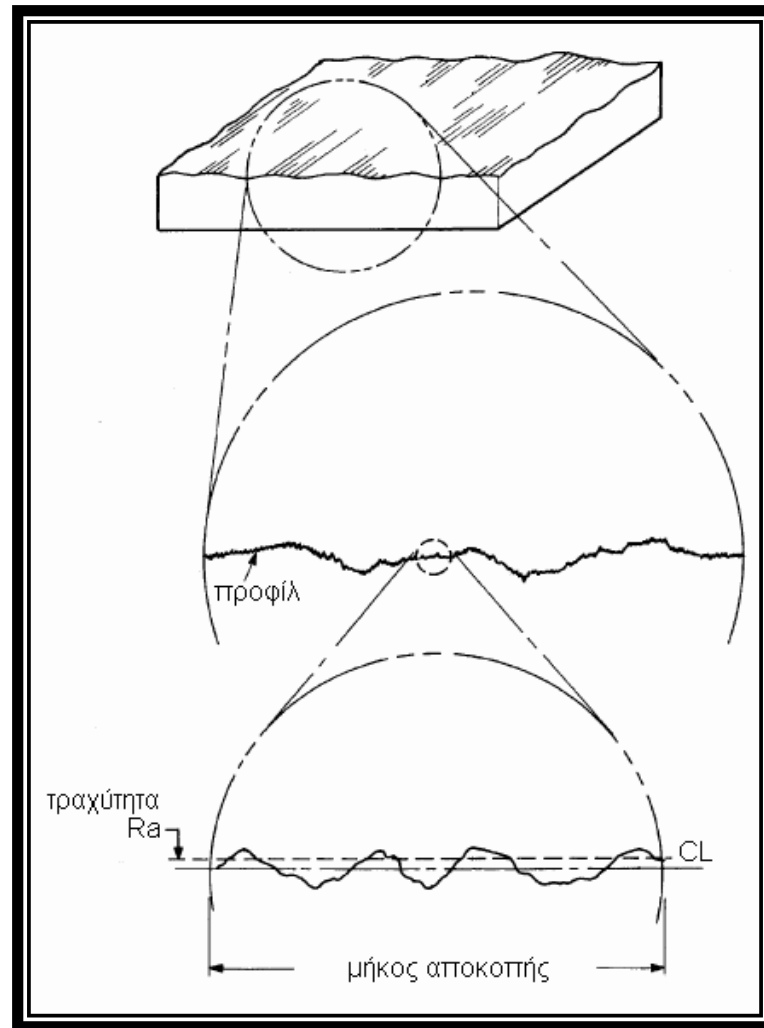


Σχήμα 1.4. Σχηματική αναπαράσταση γεωμετρικών αποκλίσεων μηχανολογικών επιφανειών. Μορφή πραγματικής επιφάνειας (πάνω) [4] και αποκλίσεις από την επιπεδότητα (κάτω) [3].

Η τραχύτητα μιας επιφάνειας αναφέρεται στις γεωμετρικές αποκλίσεις της επιφάνειας από την επιπεδότητα, οι οποίες εξαρτώνται από:

- Γεωμετρία, μακροσκοπικά και μικροσκοπικά, του κοπτικού άκρου που αφαιρεί υλικό, κατά την κατεργασία της επιφάνειας.

- b) Τις συνθήκες επαφής της επιφάνειας, λόγω του ότι στις επιφάνειες συζευγμένων εξαρτημάτων των μηχανών υπάρχει κίνηση που έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της τραχύτητας ή τη μείωση αυτής σε λεία επιφάνεια.

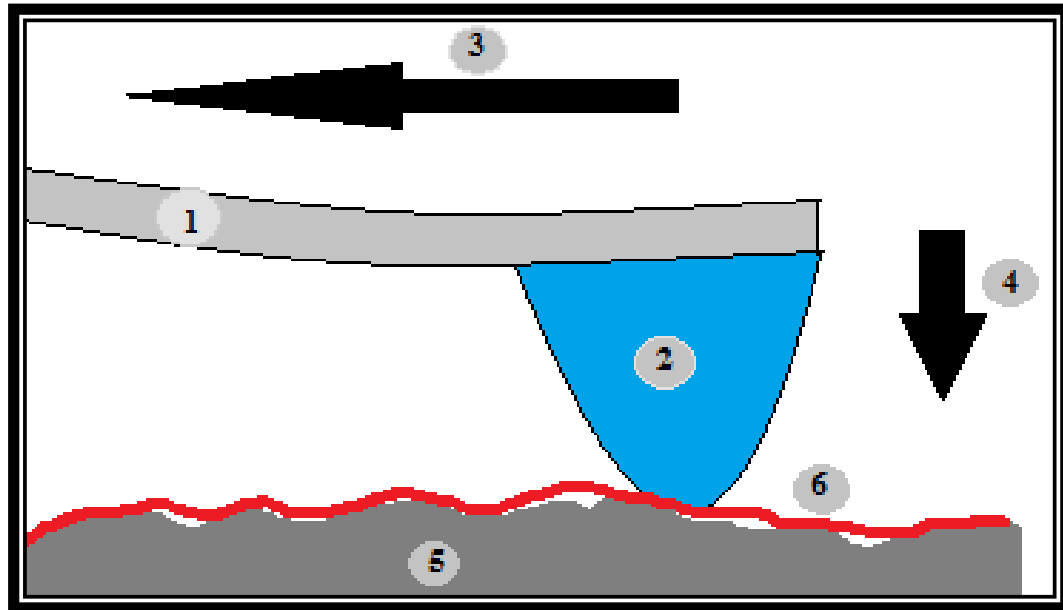


Σχήμα 1.5. Διαδοχικές μεγεθύνσεις προφίλ [3].

1.3. Επιφάνειες και τραχύμετρα

Η κατατομή (profile) της επιφάνειας με τη βοήθεια τεχνιτών μέσων, προσδιορίζεται με τον έλεγχο της σε μια ευθεία για την εύρεση των ανωμαλιών της (Σχήμα 1.5). Τα τεχνητά μέσα που χρησιμοποιούνται για τη σάρωση είναι τα τραχύμετρα ή κατατομόμετρα ή προφιλόμετρα. Οι ηλεκτρομηχανικές τεχνικές για τη λήψη μετρήσεων και τον έλεγχο ποιότητας των επιφανειών είναι οι πιο κατάλληλες διότι επιτρέπουν την καταγραφή και αναπαραγωγή της κατατομής από τις μετρήσεις που πάρθηκαν όπως και τον υπολογισμό διαφόρων παραμέτρων τραχύτητας.

Τα ηλεκτρομηχανικά τραχύμετρα καταγράφουν το ανάγλυφο μίας επιφάνειας, κατά μήκος μιας ευθείας γραμμής ενώ ολισθαίνει σε αυτή, με τη χρήση μια ευαίσθητης, τυποποιημένης γεωμετρίας, ακίδας, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.6.



Σχήμα 1.6. Ο στυλίσκος (1) με την προσαρμοσμένη αδαμάντινη ακίδα (2) ολισθαίνει παράλληλα στην επιφάνεια (3) του αντικείμενου (5). Ο στυλίσκος κινείται κατακόρυφα (4) ακολουθώντας την κατατομή της επιφάνειας, οι κατακόρυφες αλλαγές της ακίδας καταγράφονται (κόκκινο) ως μετρούμενη κατατομή (6).

Οι διατάξεις που χρησιμοποιούνται για την μετατροπή των μηχανικών μετατοπίσεων σε ηλεκτρικά σήματα ονομάζονται μορφοτροπείς αλλιώς pick-ups. Οι μορφοτροπείς χωρίζονται σε δυο κατηγορίες, όπου η διαφορά τους είναι κυρίως στην ικανότητα μέτρησης πολύ λείων επιφανειών:

- **Οι διατάξεις διαμόρφωσης φέρουσας συχνότητας,** η θέση του στυλίσκου (ακίδας) επηρεάζει τη συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος. Η χρήση τους περιορίζεται για εργαστηριακές μετρήσεις διότι είναι αρκετά πολύπλοκες κατά συνέπεια, υψηλό κόστος.
- **Διατάξεις τάσης ή έντασης,** κατά την κίνηση του στυλίσκου παράγεται ρεύμα ή διαφορά δυναμικού. Για να επιτύχουμε τη μετατροπή των υψομετρικών διαφορών της κατατομής σε ηλεκτρικό σήμα, θα πρέπει να έχουμε γρήγορες μεταβολές της τάσης ή της έντασης, ώστε να υπάρξει μια εναλλασσόμενη ηλεκτρική τιμή έχοντας συχνότητα μεγαλύτερη από 1 Hz. Μειωμένη ευαισθησία υπάρχει όταν έχουμε να κάνουμε με επιφάνειες μικρής τραχύτητας, αλλά αυτό το καθιστά κατάλληλο για τη χρήση του σε μετρήσεις μηχανολογικών επιφανειών. Έχουν εύκολο

χειρισμό, χαμηλό σχετικά κόστος και χρησιμοποιούνται για επιτόπιες μετρήσεις, τραχύμετρα για φορητή ή εργοταξιακή χρήση.



Σχήμα 1.7. Τυπικά ηλεκτρομηχανικά τραχύμετρα [10, 11]

1.4. Επιφάνειες και τραχυμετρήσεις

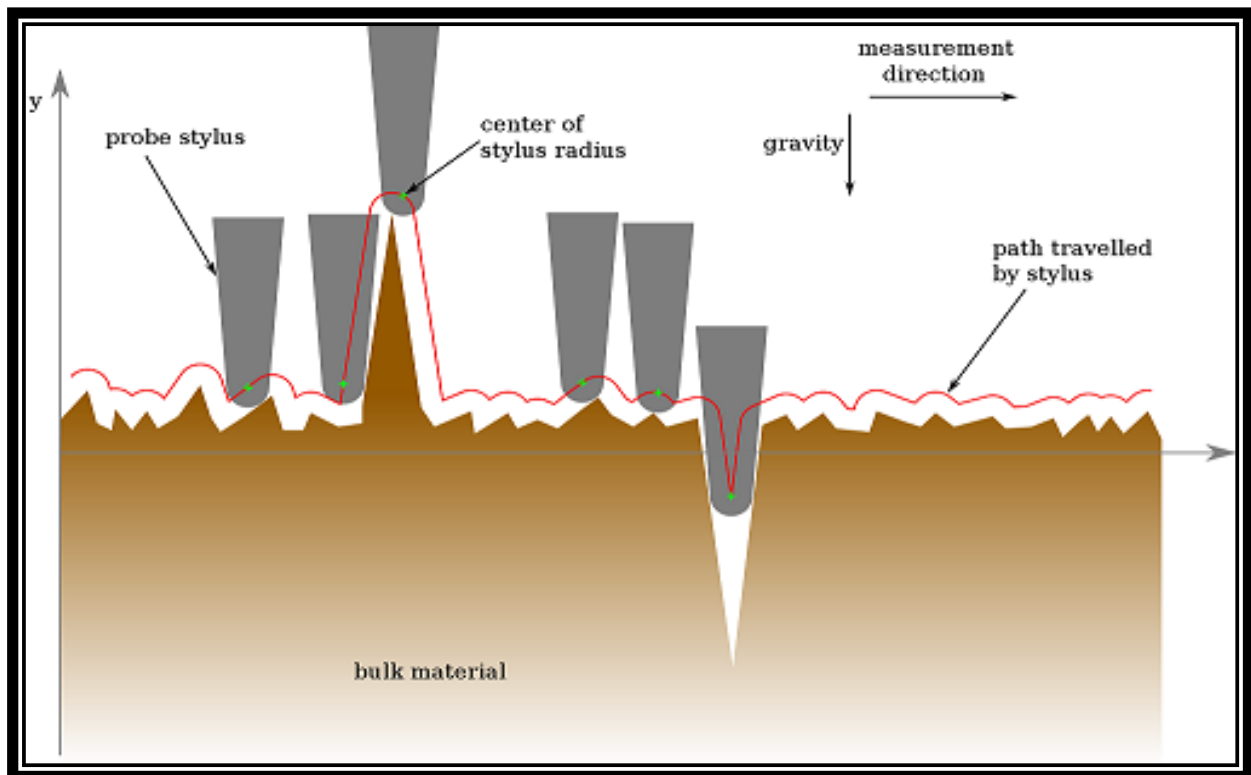
Το δισδιάστατο μοντέλο που παίρνουμε κατά την τραχυμέτρηση, σε σχέση με το τρισδιάστατο αντικείμενο που μετράμε, διαφέρει μιας και το κομμάτι που επιλέχτηκε να μετρηθεί είναι ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα του συνόλου της μετρούμενης επιφάνειας. Όταν η επιφάνεια αυτή προέρχεται από μηχανολογική επεξεργασία στην οποία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος αφαίρεσης υλικού, η τοπογραφία του είναι προσανατολισμένη και επαναλαμβανόμενη περιοδικά. Τότε μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η μέτρηση μας είναι πραγματικά αντιπροσωπευτική και μας δίνει πολλές χρήσιμες πληροφορίες για τη μετρούμενη μηχανολογική επιφάνεια, εφόσον έχουμε κάθετη διεύθυνση στην κατεργασία αλλά και το μήκος μέτρησης είναι πολλαπλάσιο της περιόδου επανάληψης.

Γενικά η αναλογική ή ψηφιακή αναπαραγωγή ενός φυσικού μεγέθους έχει μια απόκλιση από την πραγματική του μορφή. Όπως και με τα τραχύμετρα, η κατατομή που προκύπτει από τη μέτρηση δε μπορεί να θεωρηθεί απόλυτα ακριβής αναπαράσταση της πραγματικής μετρούμενης επιφάνειας γιατί:

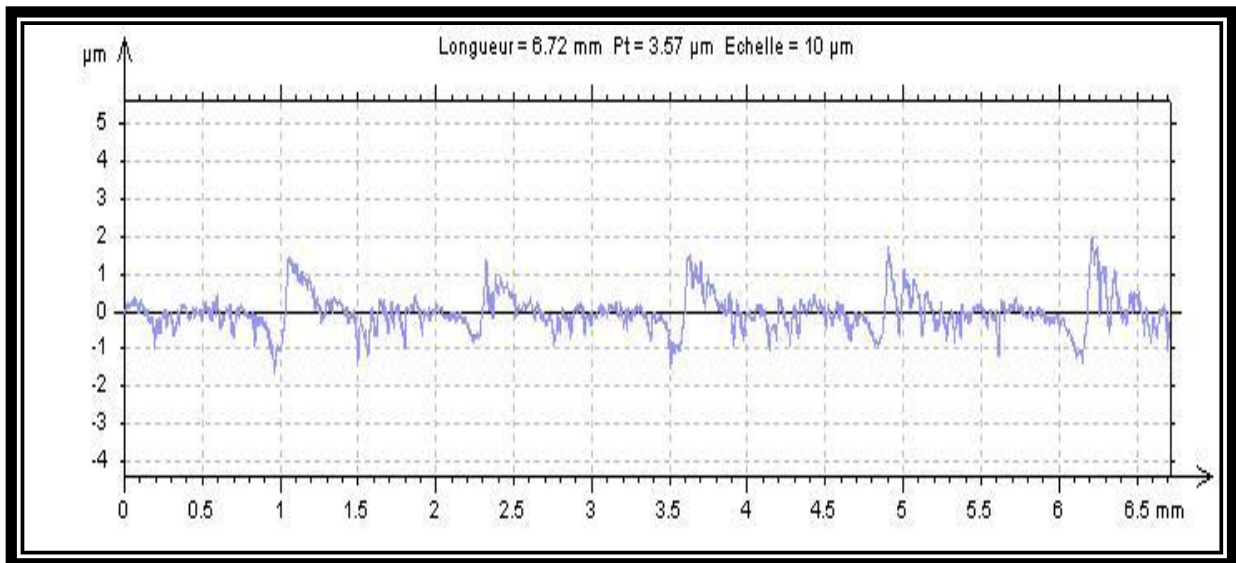
- Αποκλίσεις πιθανών να οφείλεται στον ηλεκτρονικό θόρυβο της συσκευής με απλά λόγια παράσιτα και λόγω παραμόρφωσης της μορφής, λόγω έλλειψης γραμμικότητας των

σημάτων εισόδου-εξόδου. Οι αποκλίσεις μειώνονται εάν το ηλεκτρονικό σήμα που αντιστοιχεί στην κατατομή επεξεργαστεί με τη βοήθεια κατάλληλων ηλεκτρονικών ή μηχανικών φίλτρων που μειώνουν το ποσοστό των ηλεκτρονικών παράσιτων.

- Κομμάτι των αποκλίσεων είναι λόγο του μεγέθους της ακίδας της χρησιμοποιούμενης συσκευής για την λήψη μετρήσεων και έχουμε ως αποτέλεσμα η συσκευή να μην καταγράφει τις πιθανές ανωμαλίες μικρότερες από το μέγεθος της ακίδας όπως παρουσιάζεται σχηματικά στο Σχήμα 1.8.



Σχήμα 1.8. Επίδραση της καμπυλότητας ακίδας στην ακρίβεια μετρήσεων [7].



Σχήμα 1.9. Παράδειγμα γραφικής αναπαραγωγής profile [4].

Γενικά στις επιφάνειες λόγω της τραχύτητας υπάρχουν τοπογραφικές ανωμαλίες, με διαφορετικές μεταξύ τους αποστάσεις και ύψη κορυφών. Για αυτόν το λόγο πρέπει να επιλέξουμε ένα αρκετά μεγάλο Μήκος Ολοκλήρωσης (cut-off length). Αυτό πρέπει να περιλαμβάνει ένα αποτελεσματικά αντιπροσωπευτικό δείγμα της επιφάνειας, αλλά χωρίς να είναι τόσο μεγάλο ώστε η μέτρηση να είναι γρήγορη, αλλά και να μην εμπεριέχονται τιμές που αλλοιώνουν το αποτέλεσμα της μέτρησης, π.χ. κυμάτωση.

Μεγάλης σημασίας είναι ο καθορισμός του μήκους ολοκλήρωσης, λόγω της δειγματοληπτικής λήψης τιμών των ψηφιακών οργάνων κατά τη μέτρηση. Για να προσδιορίσουμε την κυματομορφή με ακρίβεια το κριτήριο Nyquist λέει πως εάν η μέγιστη συχνότητα του ηλεκτρονικού σήματος που αντιστοιχεί στην μετρούμενη κατατομή είναι F , τότε η συχνότητα δειγματοληψίας πρέπει να είναι $2F$. Τότε έχουμε πολύ πυκνή δειγματοληψία δηλαδή υψηλότερη συχνότητα δειγματοληψίας, άρα θα υπάρξει επανάληψη τιμών σε μετρήσεις οι οποίες βρίσκονται πολύ κοντά η μία στην άλλη με αποτέλεσμα την αλλοίωση στον υπολογισμό αλλά και τη στατιστική τους ανάλυση. Έχοντας χαμηλότερη συχνότητα στη δειγματοληψία προκύπτει μη αποτελεσματική προσέγγιση της πραγματικής κατατομής και απώλεια τιμών.

Τα μεγέθη που προορίζονται για μέτρηση είναι υπεύθυνα για την επιλογή του μήκους ολοκλήρωσης. Οι παράμετροι μέσου ύψους μπορούν να μετρηθούν με ακρίβεια με σχετικά μικρό αριθμό τιμών μέτρησης όπως παράδειγμα η παράμετρος τραχύτητας RMS, με σχετικά λίγα σημεία δειγματοληψίας μπορούμε να λάβουμε ακριβή αποτελέσματα, σε περίπτωση όμως που ο στόχος

μας είναι η γραφική παράσταση της κατατομής τότε τα λίγα σημεία δειγματοληψίας είναι ανεπαρκή.

Η γεωμετρία της ακίδας του τραχύμετρου παίζει επίσης σημαντικό ρόλο στην σωστή επιλογή του μήκους που θα έχει η δειγματοληψία. Λόγω του πεπερασμένου μεγέθους της ακίδας, έχει ως αποτέλεσμα την εξομάλυνση της κυματομορφής διαγράφοντας τις υψηλές συχνότητες με αποτέλεσμα να λειτουργεί ως μηχανικό φίλτρο. Άρα το μήκος της δειγματοληψίας θα πρέπει να είναι ίσο ή λίγο μεγαλύτερο από την ακτίνα καμπυλότητας της ακίδας.

Όσον αφορά τις μηχανολογικές επιφάνειες, η κατεργασία του υλικού έχει να κάνει με την σωστή επιλογή του μήκους ολοκλήρωσης, η οποία τάξη μεγέθους της τραχύτητας οφείλεται σε αυτή. Στον Πίνακα 1.1 παρουσιάζονται χαρακτηριστικές τιμές τραχύτητας μεταλλικών επιφανειών που λαμβάνονται μετά από τυπικές κατεργασίες.

Κατεργασία	Μέση Τραχύτητα Ra (μm)	Συνήθης Απόσταση Κορυφών (mm)				
		0,08	0,25	0,80	2,5	8,0
Υπερλείανση	0.05 – 0.20	x	x	x		
Lapping	0.05 – 0.40	x	x	x		
Honing	0.1 – 0.8		x	x		
Λείανση	0.1 – 1.6		x	x	x	
Τορνίρισμα με διαμάντι	0.1 – 0.4		x	x		
Τόρνευση	0.4 – 6.3			x	x	
Διάτρηση	0.4 – 6.3			x	x	x
Διάτρηση με εκγλύφανο	0.8 – 3.2			x	x	
Φρεζάρισμα	0.8 – 6.3			x	x	x
Πλάνισμα	1.60 – 12.5			x	x	x

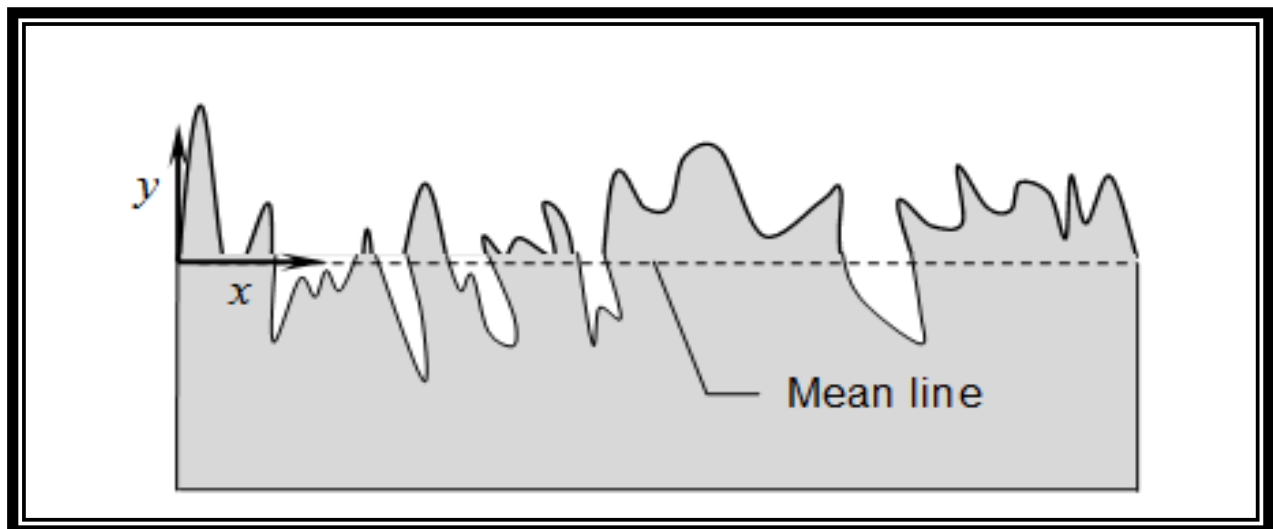
Πίνακας 1.1. Αναμενόμενες τιμές τραχύτητας Ra και μέση απόσταση εξάρσεων του ανάγλυφου, μετά από τυπικές κατεργασίες μεταλλικών επιφανειών [3].

Για τη σωστή αξιολόγηση μια επιφάνειας, η τραχύτητα είναι αυτή που θα μας καθορίσει την ποιότητά της. Γενικά, θα πρέπει να αναφερθεί το ότι η τιμή της τραχύτητας δεν μπορεί να μετρηθεί αλλά να χαρακτηριστεί. Για να χαρακτηρίσουμε την τραχύτητα υπάρχουν διάφορα συστήματα μέτρησης, με το καθένα να κατέχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

1.4.1 Προσδιορισμός μέσης γραμμής

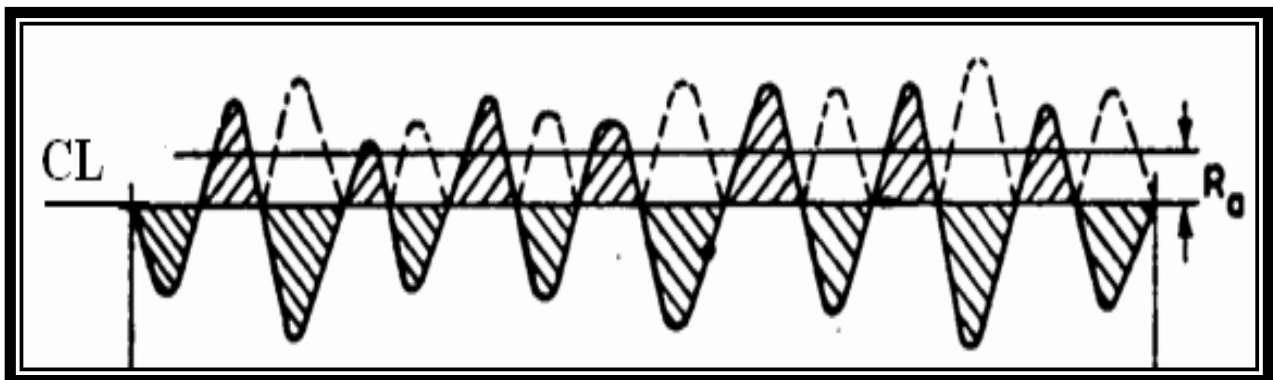
Ως μια γραμμή αναφοράς μπορούμε να θεωρήσουμε τη Μέση Γραμμή (mean line), Σχήμα 1.10, δηλαδή μια γραμμή για την μέτρηση υψών κατατομής και θεωρείται ως γραμμή ονομαστικής κατατομής εντός ορίων του μήκους δειγματοληψίας. Έχει τέτοια θέση μέσα στα όρια αυτά ώστε το άθροισμα των τετραγώνων των αποκλίσεων της πραγματικής κατατομής από αυτή να είναι ελάχιστο.

Για να υπολογιστεί η μέση γραμμή χρησιμοποιείται η αρχή των ελάχιστων τετραγώνων. Υπάρχουν κάποιες πρακτικές δυσκολίες δηλαδή υπάρχει δυσκολία στον ακριβή προσδιορισμό της θέσης και διεύθυνσής της μέσης γραμμής και χρειάζονται το λιγότερο έξι εμβαδομετρήσεις, λόγω του ότι η μέση γραμμή δεν είναι μια ευθεία γραμμή.



Σχήμα 1.10. Μέση γραμμή κατατομής [6].

1.4.2. Προσδιορισμός κεντρικής γραμμής



Σχήμα 1.11. Κεντρική γραμμή κατατομής, CL [3].

Το να καθορίσουμε την μέση γραμμή της τραχυμέτρησης είναι σχεδόν αδύνατο, για αυτόν το λόγο ως σύστημα αναφοράς χρησιμοποιούμε την Κεντρική Γραμμή - (Central Line CL), Σχήμα 1.11. Η κεντρική γραμμή είναι μια ευθεία γραμμή η οποία αντιπροσωπεύει τα εμβαδά μεταξύ της γραμμής αυτής και του περιγράμματος της κατατομής, δηλαδή προς τα πάνω και προς τα κάτω, να υπάρχει ίση απόσταση, για συγκεκριμένο μήκος δειγματοληψίας (L) που έχουμε προκαθορίσει. Η θέση της κεντρικής γραμμής ορίζεται, ώστε αν αυτή ληφθεί σαν αρχή των τεταγμένων να ικανοποιείται η σχέση:

$$\int_0^L y dx = 0 \quad 1.1$$

Δηλαδή, η κεντρική γραμμή τέμνει την κατατομή της επιφάνειας έτσι ώστε τα εμβαδά που σχηματίζονται μεταξύ αυτής και της κατατομής αυτής, να είναι ίσα.

1.4.3. Προσδιορισμός μέσης αριθμητικής τραχύτητας R_a

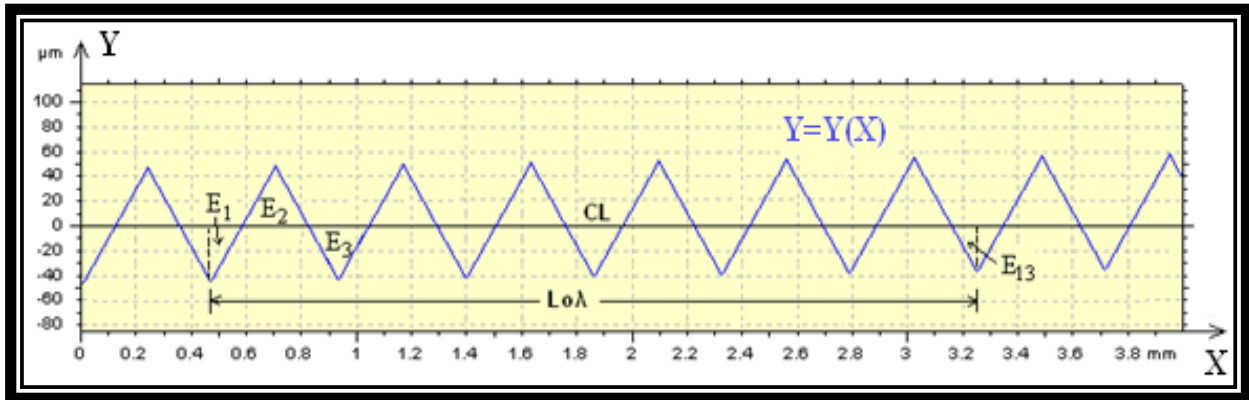
Ως R_a ορίζουμε την μέση αριθμητική τραχύτητα δηλαδή το μέτρο της τραχύτητας που δίνεται από την σχέση:

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L v dx \quad 1.2$$

Παριστάνει τη μέση τιμή των αποκλίσεων όλων των σημείων της πραγματικής κατατομής από την κεντρική γραμμή, για ένα επιλεγμένο μήκος δειγματοληψίας. Η τραχύτητα R_a είναι η μεταβλητή που χρησιμοποιείται περισσότερο, λόγω του ότι ο προσδιορισμός της κεντρικής γραμμής γίνεται αυτόματα από τα ηλεκτρικά όργανα μέτρησης, άρα ο προσδιορισμός της είναι γρήγορος.

Ειδικά για απλές γεωμετρικές κατατομές, η σχέση (1.2) μπορεί να απλουστευθεί ως άθροισμα των εμβαδών όλων των διακριτών, ενός απλού σχήματος, ανωμαλιών, που εμπεριέχονται στο μήκος δειγματοληψίας. Για παράδειγμα, η μέση αριθμητική τραχύτητα της απλής κατατομής του Σχήματος 1.12, μπορεί να προσεγγισθεί με ακρίβεια από την απλοποιημένη σχέση 1.3:

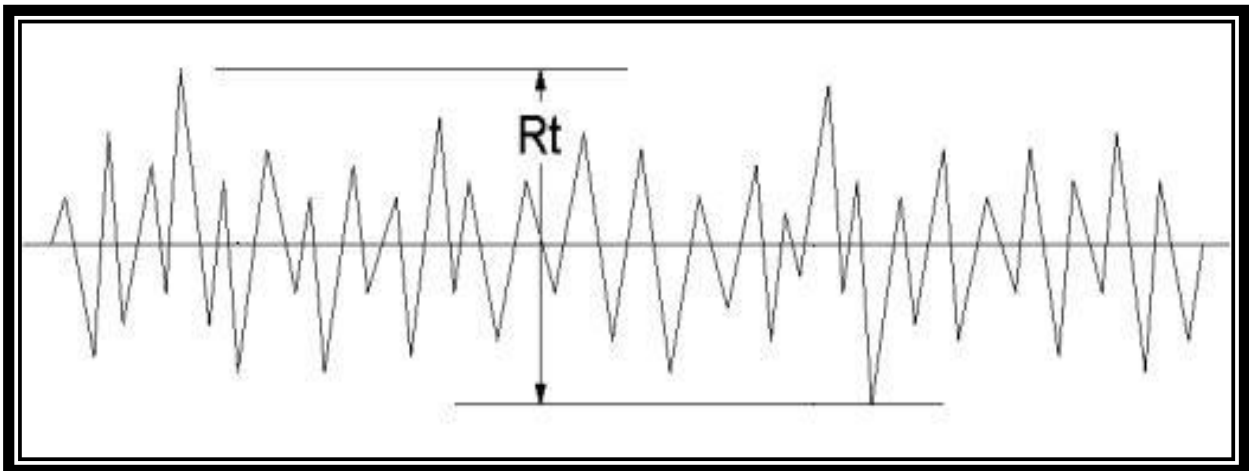
$$R_a = \frac{E_{o\lambda}}{L_{o\lambda}} = \frac{E_1 + E_2 + \dots + E_{13}}{L_{o\lambda}} \quad 1.3$$



Σχήμα 1.12. Υπολογισμός της R_a απλής γεωμετρικής κατατομής [3].

1.4.4. Μέγιστο βάθος ή μέγιστη τραχύτητα R_t

Μέγιστο βάθος ή μέγιστη τραχύτητα R_t , είναι η υψομετρική διαφορά της υψηλότερης κορυφής των επιφανειακών ανωμαλιών από τη βαθύτερη κοιλάδα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.13, εντός του μήκους δειγματοληψίας.



Σχήμα 1.13. Υπολογισμός του μέγιστου βάθους ή μέγιστης τραχύτητας R_t κατατομής [8].

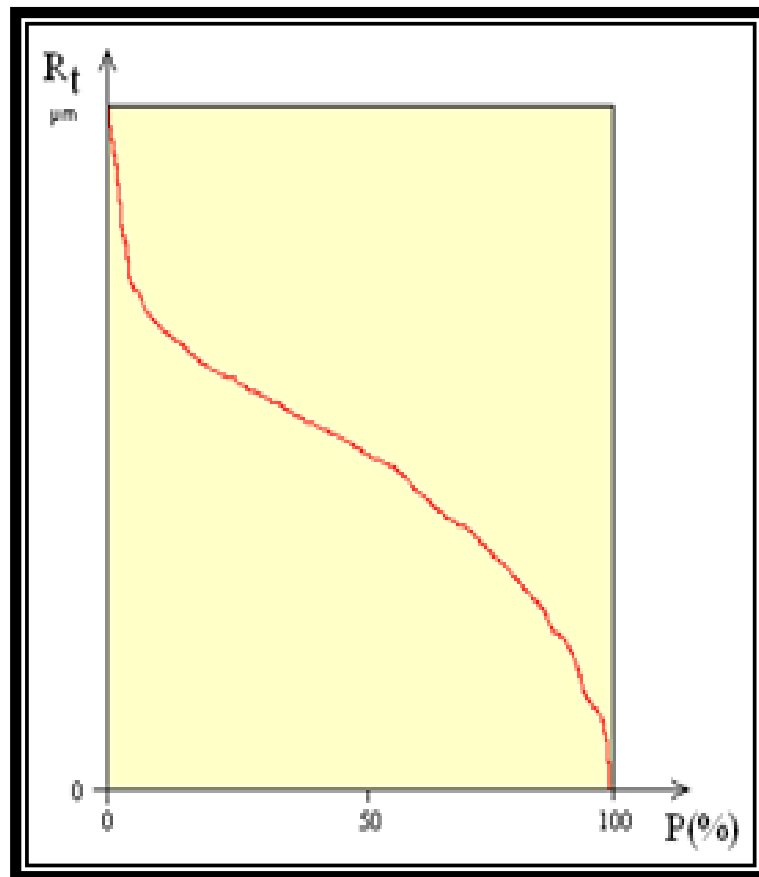
Το μέγιστο βάθος R_t μετριέται πολύ εύκολα, έχει όμως το μειονέκτημα να παρουσιάζει ευαισθησία σε τυχαίες τοπικές ανωμαλίες, π.χ. αμυχή στην επιφάνεια, εντός του μήκους δειγματοληψίας, οι οποίες δε χαρακτηρίζουν την κατατομή.

1.4.5. Καμπύλη Φέρουσας Επιφάνειας

Καμπύλη φέρουσας επιφάνειας λέγεται η καμπύλη που παριστάνει την αθροιστική συχνότητα εμφάνισης ύψους ανωμαλίας μεγαλύτερου από δεδομένη στάθμη, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.14 και δίνει σημαντικές πληροφορίες για την πραγματική επιφάνεια:

$$P_{(v>h)} = \int_h^{\infty} p(y)dy \quad 1.4$$

όπου $p(y)$ η συνάρτηση κατανομής υψών που δείχνει την πιθανότητα κάποιο σημείο της επιφάνειας να έχει ύψος μεταξύ $y + dy$



Σχήμα 1.14. Καμπύλη Φέρουσας Επιφάνεια [3].

Στον Πίνακα 1.2 που ακολουθεί, παρουσιάζονται όλες οι γενικές παράμετροι επιφανειών που αφορούν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και την τραχύτητά τους.

	Παράμετροι επιφανειών
Rq	Τραχύτητα μέσης τιμής ή ενδεικνυόμενη τιμή τραχύτητας (RMS, σ).
Rti	Η μέγιστη υψομετρική διαφορά κορυφής-κοιλιάδας της κατατομής σε ένα μήκος δειγματοληψίας.
Ry	Η μεγαλύτερη από τις τιμές των Rti.
Rtm	Μέσο μέγιστο βάθος. Για μετρήσεις χωρίς φίλτρο είναι $Rti=Ry=Rtm$
RPC	Αριθμός κορυφών
Rp	Βάθος οριζοντίωσης (levelling depth), το μεγαλύτερο ύψος του προφίλ πάνω από τη μέση γραμμή.
Rpm	Μέσο μέγιστο βάθος οριζοντίωσης
Rc	Μέσο ύψος των στοιχείων της τραχύτητας
Rz	Ύψος δέκα σημείων, ή μέση υψομετρική διαφορά μεταξύ των πέντε υψηλότερων κορυφών και των πέντε χαμηλότερων κοιλάδων.
Rmax	Η μεγαλύτερη κορυφή
RSm	Το μέσο πλάτος στοιχείων του από το profile
Rsk	Λοξότητα, μέτρο συμμετρίας της καμπύλης κατανομή των υψών των κορυφών ως προς τη μέση γραμμή.
Rmr%	Ποσοστό υλικού για συγκεκριμένο βάθος

Πίνακας 1.2. Γενικές παράμετροι επιφανειών [5].

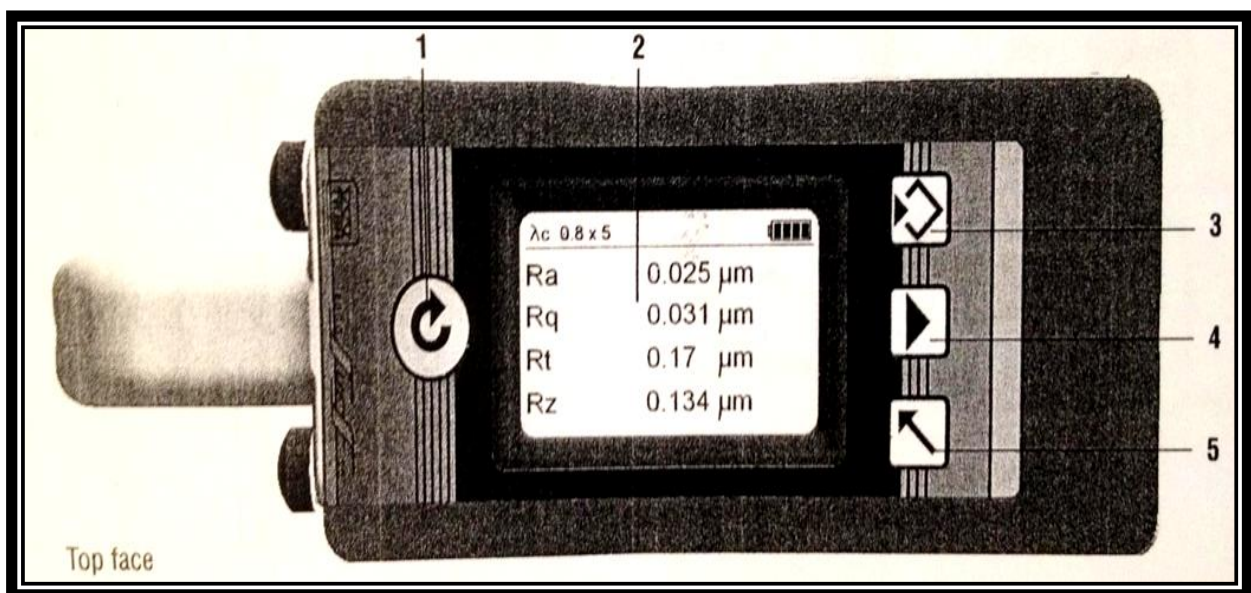
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Το τραχύμετρο RUGOSURF 20

Στο τρέχον κεφάλαιο παρουσιάζεται η συσκευή RUGOSURF 20, μοντέλο τραχυμετρήσεων της εταιρείας TESA, που διαθέτει το εργαστήριο Προσομοιώσεων και Μηχανολογικών Κατασκευών [13]. Με τη βοήθεια αυτής πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις που παρουσιάζονται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 3 που ακολουθεί.

2.1 Χαρακτηριστικά και λειτουργία του RUGOSURF 20

Η συσκευή της TESA, το μοντέλο RUGOSURF 20, που παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.0, είναι μια συσκευή μέτρησης τραχύτητας επιφανειών [13]. Αρχικά για να θέσουμε σε λειτουργία τη συσκευή πιέζουμε τον διακόπτη σε λειτουργία ON ο οποίος βρίσκεται στο πλάι της συσκευής. Τα πλήκτρα της συσκευής είναι τα εξής:

1. Πλήκτρο Start/Stop.
2. Οθόνη LC Display, μαύρο & άσπρο, 2 inches.
3. Πλήκτρο Enter (επιβεβαίωσης)
4. Πλήκτρο Μετακίνησης
5. Πλήκτρο Επιστροφής



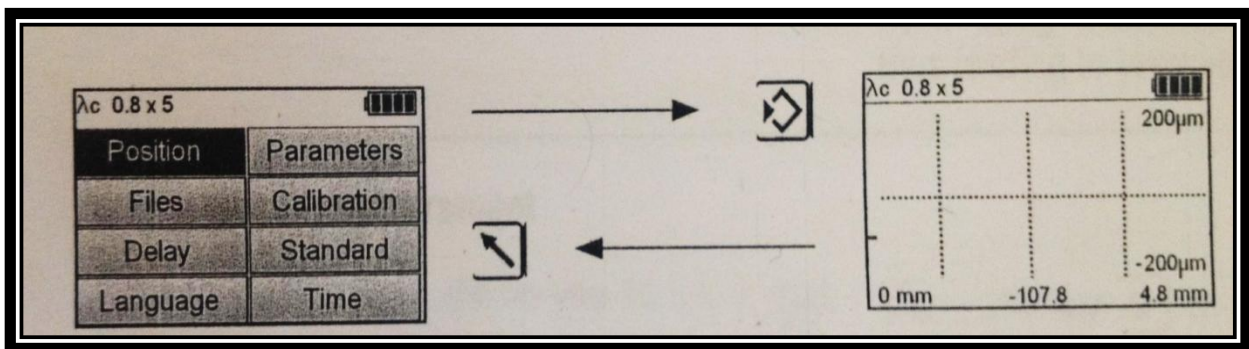
Σχήμα 2.0 Απεικόνιση ενδείξεων τραχυμέτρου [13].

Πατώντας το πλήκτρο 1 η συσκευή ανοίγει στην αρχική οθόνη η οποία απεικονίζει τις τελευταίες μετρήσεις που είχαν καταγραφεί. Πληκτρολογώντας το πλήκτρο 4 ενώ βρισκόμαστε στη αρχική οθόνη μας απεικονίζει και τις υπόλοιπες μετρήσεις που έχουν αποθηκευτεί στη συσκευή από την προηγούμενη χρήση της.

Οι τιμές που βρίσκονται στην αρχική οθόνη είναι Ra,Rq,Rt,Rz πατώντας το πλήκτρο 4 απεικονίζει Rc,Rmax,Rsm,RPc στη συνέχεια μας δείχνει γράφημα για το Rmr και τέλος πατώντας το 4 για ακόμα μια φορά μας απεικονίζετε στην οθόνη διάγραμμα τραχύτητας

Πριν ξεκινήσουμε τη διαδικασία μετρήσεων πρέπει να λάβουμε υπόψη διάφορες μεταβλητές οι οποίες χρειάζονται ρύθμιση ανάλογα την επιφάνεια που θέλουμε να μετρήσουμε αλλά και για το τι είδους αποτελέσματα θέλουμε. Ενώ βρισκόμαστε στην αρχική οθόνη πιέζουμε το πλήκτρο 3 για να ανοίξουμε το μενού. Οι επιλογές του μενού είναι οι εξής: Position, Parameters, Filter, Calibration, Delay, Standard, Language, Time

- **Position (Θέση):** Αυτή η επιλογή, Σχήμα 2.1,μας επιτρέπει να ρυθμίσουμε τον αισθητήρα στην σωστή θέση ως προς την επιφάνεια που θέλουμε να μετρήσουμε. Βοηθάει σε 2 περιπτώσεις

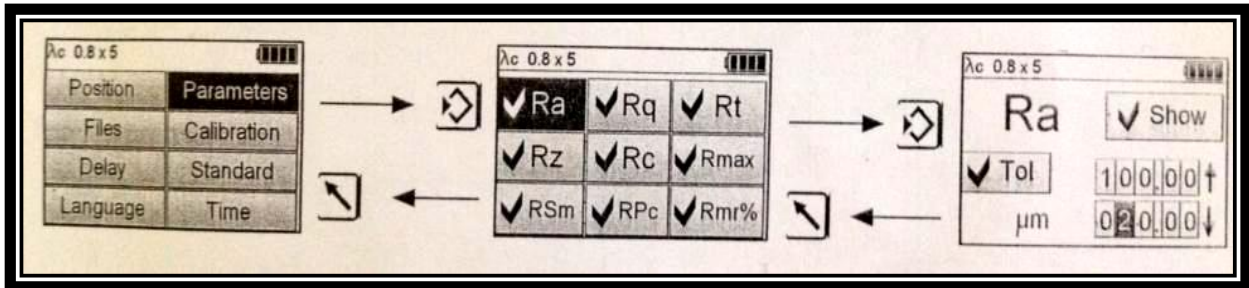


Σχήμα 2.1 Απεικόνιση επιλογής Position του τραχυμέτρου [13].

- Κατά τη μέτρηση κοίλων επιφανειών: Όπως απεικονίζετε στην εικόνα αισθητήρας μπορεί να ρυθμιστεί ανάλογα το εύρος των μετρήσεων που θέλουμε να πάρουμε. Εάν είναι αναγκαίο, αυτή η επιλογή στο μενού επιβεβαιώνει ότι ο αισθητήρας διατηρεί την επαφή με την επιφάνεια που θέλουμε να πάρουμε την μέτρηση μας, διαφορετικά η διαδικασία της μέτρησής θα διακοπεί.
- Κατά την μέτρηση κρίσιμων επιφανειών: Σε αυτή την περίπτωση, αυτή η επιλογή βοηθάει στη διόρθωση της σωστής θέσης του αισθητήρα σε κοίλες ή κυρτές επιφάνειες. Για να

εισέλθουμε σε αυτή την επιλογή του μενού επιλέγουμε το Position και στη συνέχεια επιβεβαιώνουμε με το πλήκτρο 3 (Enter).

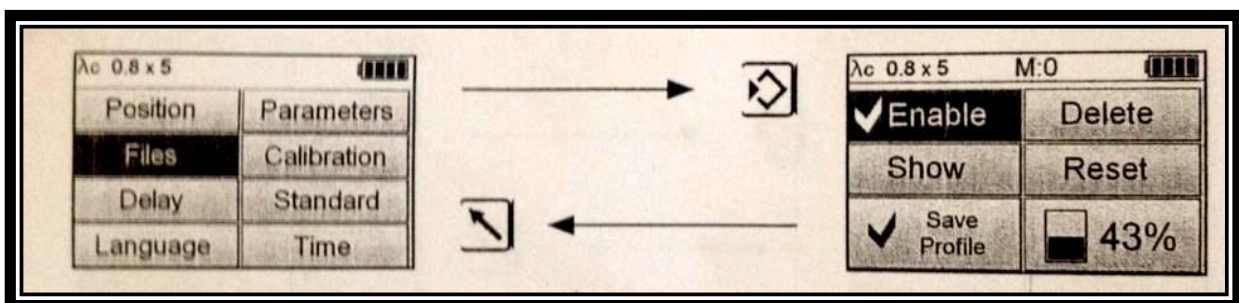
- **Parameters (Παράμετροι):** Με τη βοήθεια των πλήκτρων 4 και 3 μπορούμε να επιλέξουμε αυτή την επιλογή του μενού, Σχήμα 2.2.



Σχήμα 2.2 Απεικόνιση μενού επιλογής Parameters [13].

Στην επιλογή Parameters περιέχονται όλες οι παράμετροι που μπορούν να μετρηθούν από τον αισθητήρα μας. Κάθε παράμετρος μπορεί να ενεργοποιηθεί ή να απενεργοποιηθεί ανάλογα για το αν τα θέλουμε να εμφανίζονται ή όχι στα τελικά αποτελέσματα. Μπορούμε επίσης να αλλάξουμε την τιμή της ανοχής της κάθε μεταβλητής. Πατώντας το κουμπί 4 επιλέγουμε την τιμή που θέλουμε να ρυθμίσουμε και μετά πατάμε το πλήκτρο 3 για να καθορίσουμε την τιμή, κρατώντας το πλήκτρο 4 πατημένο εφόσον η επιλεγμένη τιμή ολοκληρωθεί. Πατώντας το πλήκτρο 5 επιστρέφουμε στο προηγούμενο μενού, όλες οι αλλαγές αποθηκεύονται αυτόματα στη μνήμη της συσκευής.

- **Files (Αρχεία):** Το Rugosurf 20 μας επιτρέπει να αποθηκεύσουμε μέχρι 1000 μετρήσεις τραχύτητας ή 20 μετρήσεις μαζί με γραφική παράσταση, Σχήμα 2.3.

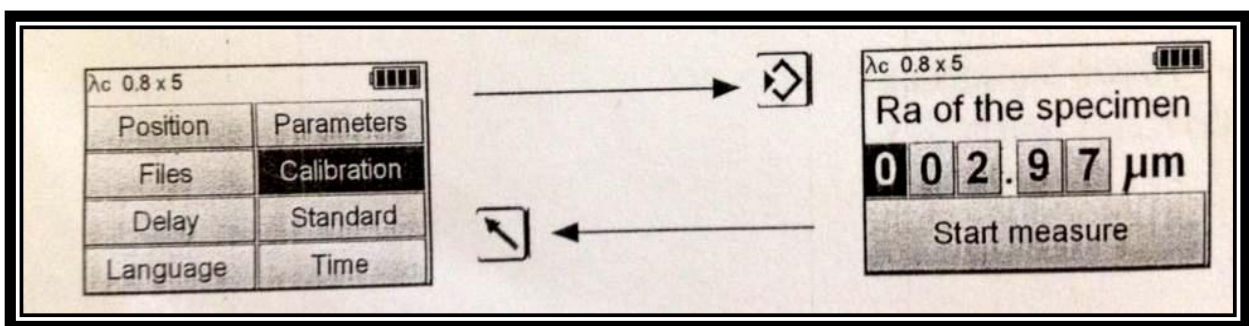


Σχήμα 2.3 Απεικόνιση επιλογής Files [13].

Σε αυτό το μενού έχουμε τη δυνατότητα να ενεργοποιήσουμε τη μνήμη της συσκευής χρησιμοποιώντας το πλήκτρο 3 (Enter) πατάμε την επιλογή Enable για ενεργοποίηση και αν θέλουμε το απενεργοποιούμε με τον ίδιο τρόπο. Αναγράφεται το ποσοστό αποθηκευμένων μετρήσεων στη συσκευή όπως βλέπουμε στην παραπάνω εικόνα. Κάθε μια από τις αποθηκευμένες μετρήσεις μπορεί να διαγραφεί πατώντας την επιλογή Delete , να την εμφανίσετε στη οθόνη πατώντας την επιλογή Show ή να διαγράψετε όλοι την μνήμη πατώντας την επιλογή Reset.

Η επιλογή Save Profile μας επιτρέπει να καθορίσουμε για το αν θα αποθηκεύονται στη συσκευή οι μετρήσεις μαζί με τις γραφικές παραστάσεις ή χωρίς. Επίσης, μας δίνεται η επιλογή να εκτυπώσουμε τα αποτελέσματα των μετρήσεων μας, εφόσον έχουμε την ειδική συσκευή εκτύπωσης του Rugosurf 20. Πατώντας το πλήκτρο εκτύπωσης οπου βρίσκεται πάνω στον εκτυπωτή.

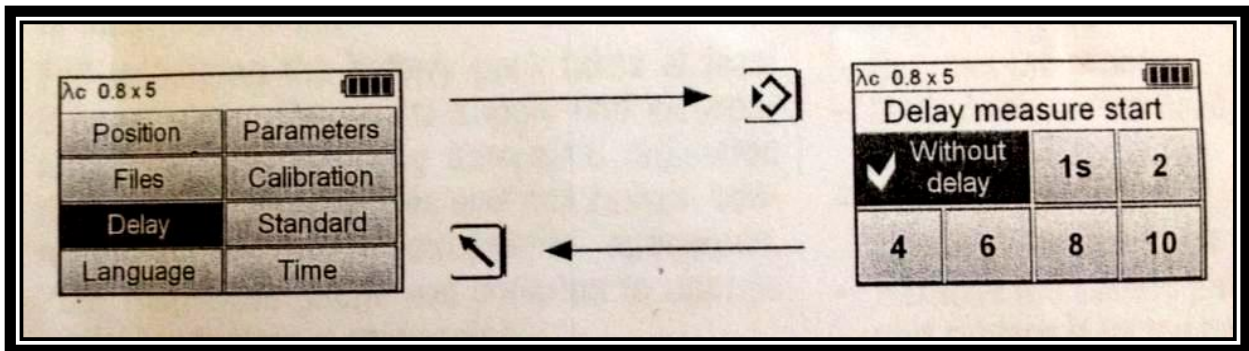
- **Calibration (Βαθμονόμηση):** Σε αυτή την επιλογή, Σχήμα 2.3, έχουμε την δυνατότητα να ελέγξουμε και να βαθμονομήσουμε τον αισθητήρα χρησιμοποιώντας σαν σταθερά την παράμετρο Ra την οποία την μετράμε από το δείγμα που δίνεται με την αγορά της συσκευής Rugosurf 20.



Σχήμα 2.3 Απεικόνιση επιλογής Calibration [13].

Επιλέγοντας λοιπόν το Calibration έχουμε την δυνατότητα να βαθμονομήσουμε τη συσκευή πατώντας “Start measure” ξεκινάει η μέτρηση του δείγματος μας για να βρεθεί η τιμή Ra η οποία τιμή πρέπει να είναι 2.97μm και έτσι να ολοκληρωθεί η βαθμονόμηση. Το δείγμα πρέπει να τοποθετηθεί στη βελόνα της συσκευής αλλά για να παρθεί σωστά η μέτρηση θα πρέπει να ρυθμίσουμε σωστά το μήκος του δείγματος και να ορίσουμε την σωστή απόσταση που θα πρέπει να κινηθεί η βελόνα (το δείγμα είναι στα 0,8 x 5mm, ο τρόπος για την ρύθμιση αυτή εξηγείται παρακάτω).

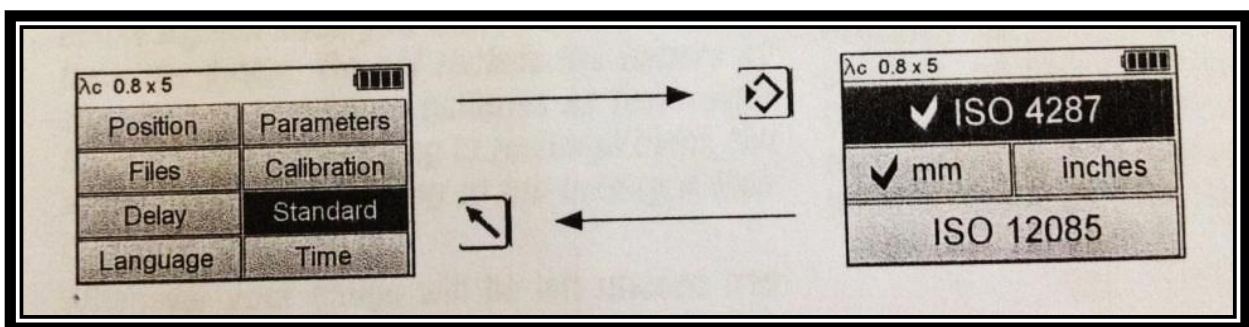
- **Delay (Ρύθμιση χρόνου για την εκκίνηση των μετρήσεων):** Αυτή η επιλογή, Σχήμα 2.4, μας επιτρέπει να ρυθμίσουμε τον χρόνο αναμονής μεταξύ του αρχικού πατήματος για την εκκίνηση της διαδικασίας μέτρησης και της πραγματικής εκκίνησης της διαδικασίας δηλαδή έχουμε την δυνατότητα ρυθμίσουμε χρονοδιακόπτη για την εκκίνηση της.



Σχήμα 2.4 Απεικόνιση επιλογής Delay [13].

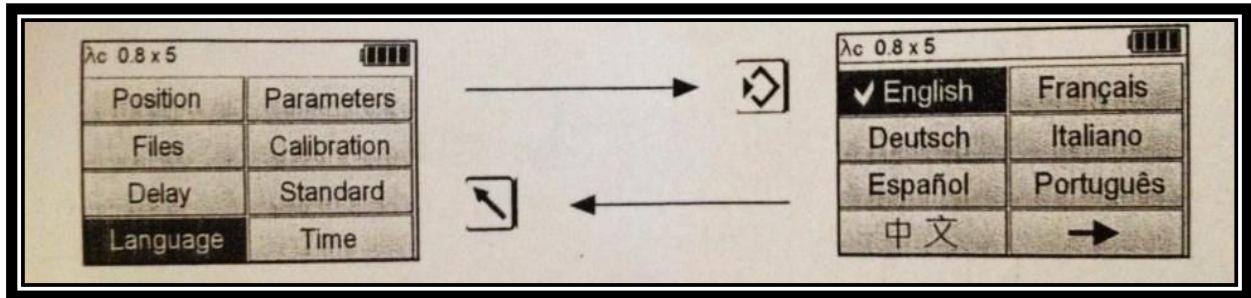
μέτρησης. Αυτή η επιλογή είναι χρήσιμη σε περίπτωση όπου η μέτρηση που θέλουμε να πάρουμε βρίσκεται σε δύσβατο σημείο. Με την βοήθεια των πλήκτρων μπορούμε να ρυθμίσουμε τον χρόνο μεταξύ 1 με 10 sec αναλόγως τον χρόνο που χρειαζόμαστε.

- **Standard:** Για την είσοδο μας σε αυτό το μενού επιλέγουμε την επιλογή Standard και επιβεβαιώνουμε με το πλήκτρο 3 enter, Σχήμα 2.5.



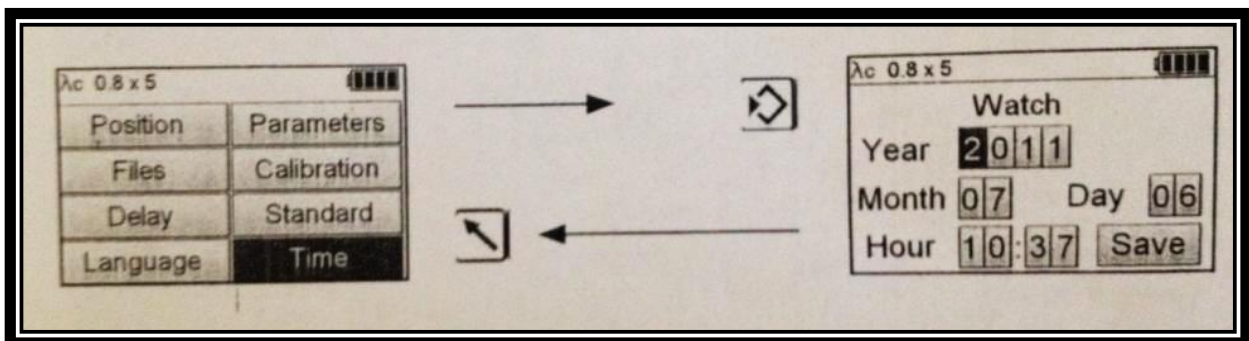
Σχήμα 2.5 Απεικόνιση επιλογής Standard [13].

Σε αυτό το μενού μπορούμε να επιλέξουμε μεταξύ των ISO4287 και ISO12085, ή τε να διαλέξουμε εάν θέλουμε τα αποτελέσματα σε ίντσες ή χιλιοστά. Το ISO4287 περιέχει τις μεταβλητές $R_a - R_q - R_t - R_z - R_c - R_{sm} - R_{mr} - P_t - P_{mr}$. Το ISO12085 περιέχει τις μεταβλητές $R - R_x - A_R$.



Σχήμα 2.6 Απεικόνιση επιλογής Language [13].

- **Language (Γλώσσα):** Επιλέγοντας στο μενού, Σχήμα 2.6 το Languages έχουμε την δυνατότητα να αλλάξουμε γλώσσα. Χρησιμοποιώντας το πλήκτρο μετακίνησης 4 και το πλήκτρο 3 enter επιλέγουμε την γλώσσα που επιθυμούμε.
- **Time (Ώρα):** Σε αυτό το μενού, Σχήμα 2.7, μας δίνετε η επιλογή να ρυθμίσουμε την ημερομηνία της συσκευής. Με την βοήθεια των πλήκτρων 3 και 4 μετακινούμαστε μεταξύ των επιλογών και ρυθμίσουμε την ώρα, ημέρα, χρονιά και επιλέγουμε το Save για να αποθηκευτούν οι αλλαγές.



Σχήμα 2.7 Απεικόνιση επιλογής Time [13].

Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζονται συγκεντρωμένα όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά του τραχυμέτρου Rugosurf 20.

Οθόνη	Black & White LCD Display, 2" (160x100 pixels)
Παράμετροι Τραχύτητας	Για ISO 4287-1997/JIS B0601/ASME B46-2002 : Ra – Rq – Rt – Rz – Rc – Rsm – Rmr – Pt – Pmr Για DIN 4768 : Rmax Για EN 10049 : RPc - Ppc Για ISO 12085 (CNOMO) : R – Rx – AR
Αποστάσεις Μετρήσεων	X-axis = 16 mm / Z-axis = 400 μm
Μονάδες Μέτρησης	mm / inch
Εύρος Ενδείξεων	Ra 0 ÷ 100 μm, Rt 0,05 ÷ 400 μm
Ανάλυση	Για 0,001 μm
Μήκος Ολοκλήρωσης	0,25-0,8-2,5 mm
Ταχύτητα του Δρομέα	1 mm/s
Αριθμός Κοπών	1 to 5
Ακρίβεια	ISO 3274, Class 1
Πληκτρολόγιο	4 προστατευμένα πλήκτρα
Χαρακτηριστικά Γραφίδας	R = 5 μm, 90° (εναλλακτικά 2 μm, 60°)
Δύναμη πίεσης της Γραφίδας	0,75 mN (ISO 3274)
Γλώσσες	Αγγλικά, Γαλλικά, Γερμανικά, Ιταλικά, Ισπανικά, Πορτογαλικά, Κινέζικα
Χωρητικότητα Μνήμης	20 Μετρήσεις με γραφήματα ή >1000 μετρήσεις χωρίς γραφήματα
Πηγή Ρεύματος	7,2 V Ενσωματωμένη μπαταρία, 300 mAh, NiMH PP3
Διάρκεια Ζωής Μπαταρίας	~ 1000 measurements
Διαστάσεις	122 x 60 x 62 mm
Βάρος	650 g
Περιλαμβάνονται με την παράδοση:	Πρότυπο Τραχύτητας, Ra = 2,97 μm (117 μin) Σύσφιξη Άξονα για διάμετρος 8 mm Σφικτήρες πολλαπλών θέσεων Πρότυπο SB10 probe Επαναφορτιζόμενη Μπαταρία Τροφοδοτικό, 220/110 V

Πίνακας 2.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά Rugosurf 20 [13].

2.2 Διαδικασία μέτρησης τραχύτητας

Η διαδικασία των μετρήσεων τραχύτητας με το Rugosurf 20 πραγματοποιείται ακολουθώντας τα εξής βήματα:

Βήμα 1:

Με την βοήθεια εξαρτημάτων, για καλύτερη σταθερότητα, τοποθετήσαμε σε επιφάνεια για αρχή το πρώτο σε σειρά δοκίμιο ώστε να στήσουμε μια σωστή διάταξη για την διαδικασία μέτρησης. Με προσοχή καθαρίζουμε την επιφάνεια των δοκιμίων που θα μετρήσουμε. Κατά την διαδικασία μετρήσεων η συσκευή δεν πρέπει να κρατείται από ανθρώπινο χέρι για την αποφυγή εσφαλμένων μετρήσεων. Πάρθηκαν 3 μετρήσεις για να μας δοθεί η δυνατότητα να συγκρίνουμε τις τιμές που πήραμε. Εάν μια μέτρηση αποκλίνει πολύ από τις υπόλοιπες, τότε σημαίνει ότι στη συσκευή συνέβη κάποια παρεμβολή κατά διαδικασία μετρήσεως. Τα εξαρτήματα που συμπεριλαμβάνονται μαζί με την συσκευή είναι το κάλυμμα της συσκευής και τα εξαρτήματα ανύψωσης, για να κάνουν την σωστή τοποθέτηση της συσκευής ευκολότερη.



Σχήμα 2.8 Τραχύμετρο κατά τη διάρκεια λήψης μετρήσεων

Βήμα 2:

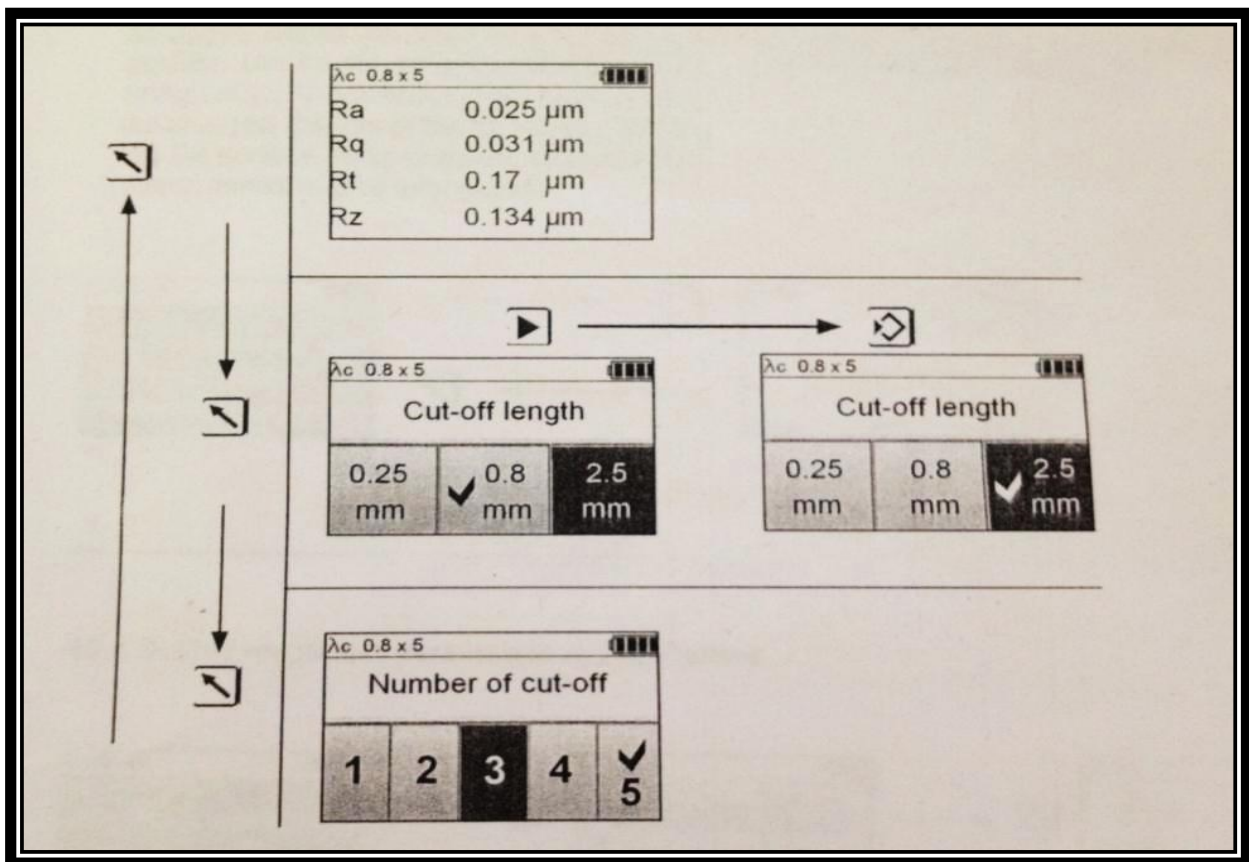
Πατώντας το πλήκτρο 1 Start στα αριστερά της οθόνης ενεργοποιείται η συσκευή.

Βήμα 3:

Επόμενο βήμα είναι να ρυθμίσουμε το μήκος ολοκλήρωσης που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε για την μέτρηση. Το οποίο μήκος που χρησιμοποιήθηκε ήταν 12.5mm.

A. Ρύθμιση του μήκους και τον αριθμό των κοπών σύμφωνα με το ISO4287:

Για εισέλθουμε σε αυτό το μενού πατάμε το πλήκτρο 5 (Πλήκτρο Επιστροφής) ενώ βρισκόμαστε στην αρχική οθόνη, με το πλήκτρο 4 επιλέγουμε την τιμή που θέλουμε και επιβεβαιώνουμε με το πλήκτρο 3 (Enter).



Σχήμα 2.9 Απεικόνιση μενού [13].

Η συνολική απόσταση της επιφάνειας που θα μετρηθεί εξαρτάται από το μήκος ολοκλήρωσης που θα επιλέξουμε.

L_t = Μήκος ολοκλήρωσης

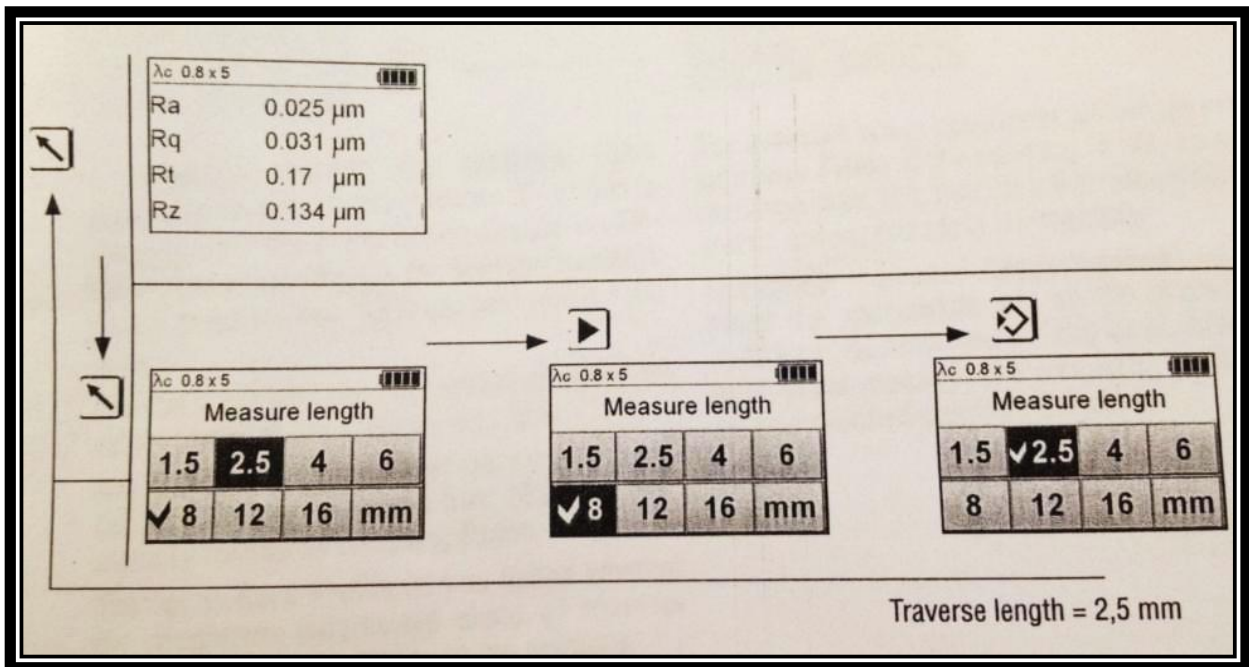
L_c = Απόσταση κοπών

Στις μετρήσεις μας επιλέχθηκε $L_t = (\text{αριθμός κοπών} + 1) \times L_c$

Εάν μας ενδιαφέρει ένα διαφορετικό μήκος, μπορούμε να το αλλάξουμε μειώνοντας τον αριθμό κοπών που θα χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση. Συνήθως, 5 είναι ο αριθμός κοπών αλλά παρόλα αυτά μπορούμε να το αλλάξουμε μεταξύ των τιμών 1–5.

B. Ρύθμιση του μήκος και τον αριθμό των κοπών σύμφωνα με το ISO12085 (CNOMO):

Επιλέγοντας το ISO 12085 το μήκος των μετρήσεων που θα παρθούν δε εξαρτάται πλέον από τον αριθμό κοπών αλλά εξ αυτού μας δίνεται η δυνατότητα να το ρυθμίσουμε άμεσα. Με τη βοήθεια των πλήκτρων μπορούμε να ανοίξουμε το μενού και να ρυθμίσουμε το επιθυμητό μήκος το οποίο χρειαζόμαστε για να γίνει η μέτρηση.



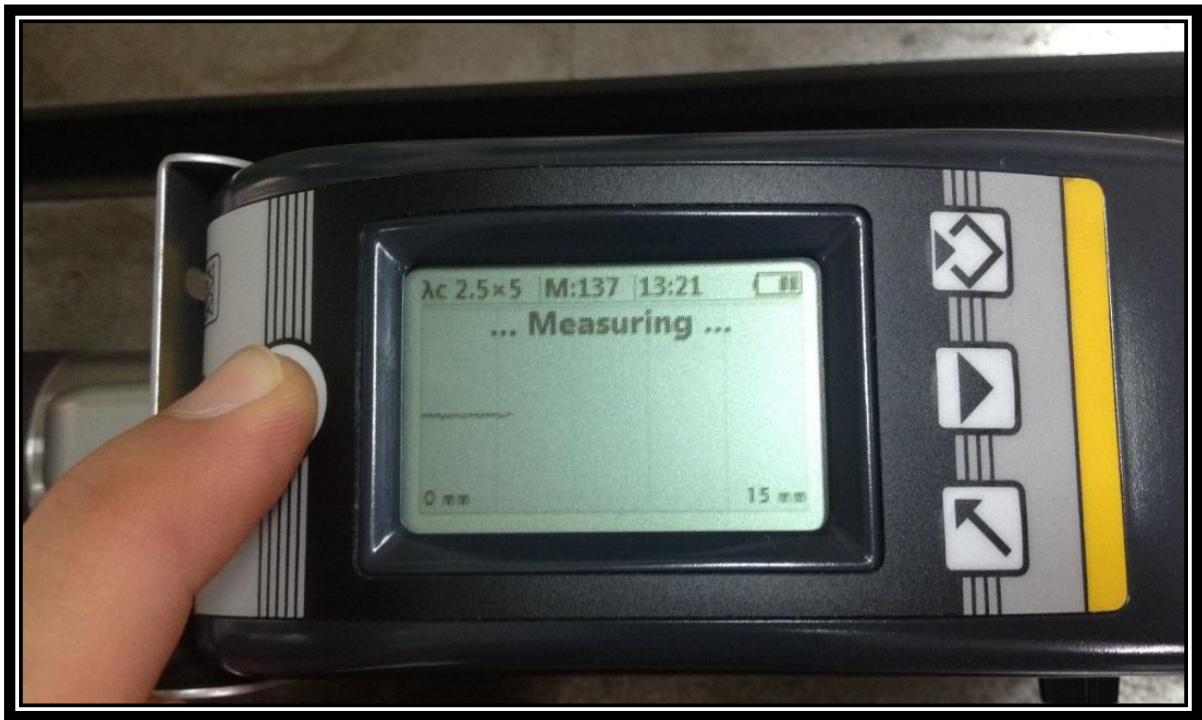
Σχήμα 2.10 Απεικόνιση μενού [13].

Βήμα 4:

Ο αισθητήρας πρέπει να τοποθετηθεί έτσι ώστε ο άξονας του να είναι παράλληλα με την επιφάνεια που πρόκειται να μετρήσουμε. Ενεργοποιώντας την επιλογή **Position** μας επιτρέπει να ελέγξουμε τη θέση του αισθητήρα και ειδικά σε μέρη με περιορισμένη πρόσβαση.

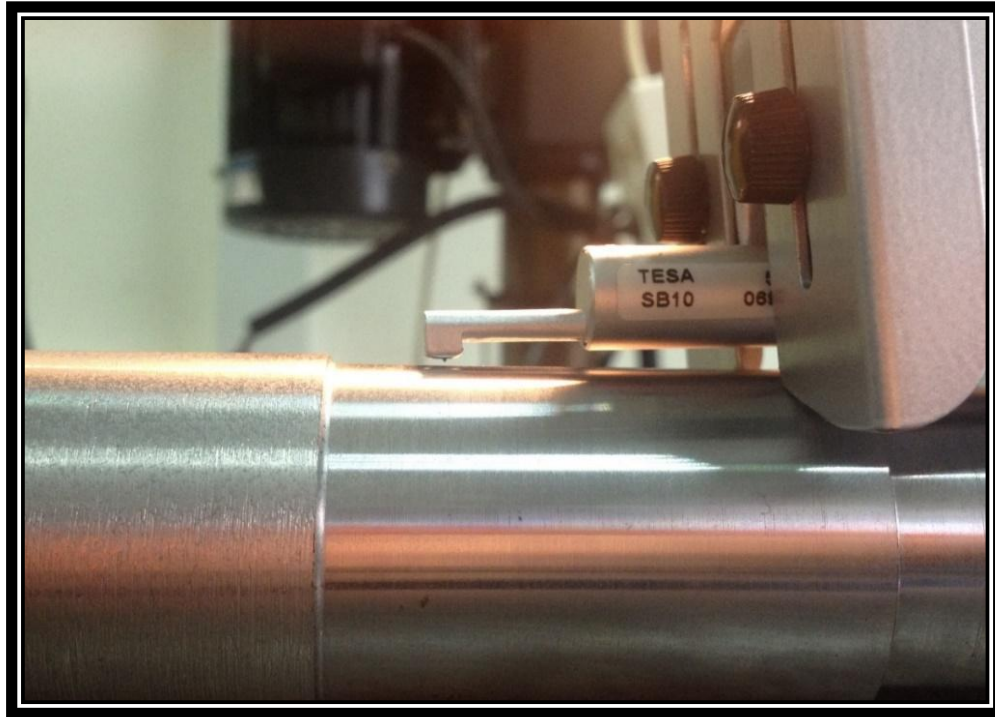
Βήμα 5:

Πατώντας το πλήκτρο 1 ξεκινάει η διαδικασία μέτρησης. Ο οδηγός κινεί την κεφαλή – αισθητήρα κατά μήκος της επιφάνειας. Το γράφημα που εμφανίζεται κατά την διάρκεια της μέτρησης μας (Σχήμα 2.11) δείχνει την πρόοδο του αισθητήρα, έτσι ώστε οποιαδήποτε ανομοιομορφία να παρατηρηθεί κατά την διαδικασία μέτρησης.



Σχήμα 2.11 Τραχύμετρο κατά την διάρκεια μετρήσεων

Κατά την ολοκλήρωση της συλλογής δεδομένων, το τραχύμετρο μας απεικονίζει τις ληφθείσες τιμές κάθε παραμέτρου που επιλέξαμε και τέλος ο οδηγός επιστέφει τον αισθητήρα στην αρχική του θέση. Στο Σχήμα 2.12 παρουσιάζεται η ακίδα του τραχυμέτρου κατά τη διάρκεια μετρήσεων.



Σχήμα 2.12 Ακίδα τραχύμετρου

Πατώντας το πλήκτρο 1 κατά την διάρκεια της μέτρησης μας επιτρέπει να ακυρώσουμε άμεσα την διαδικασία.

Τα δοκίμια κατασκευάστηκαν με τόννευση και κάθε ένα περιλαμβάνει 3 διαφορετικές συνθήκες κοπής. Για το λόγο αυτό, όπως και περιγράφεται και στο ακόλουθο Κεφάλαιο 3, η διαδικασία τραχυμέτρησης έγινε σε 3 φάσεις. Το κάθε δοκίμιο παρουσιάζει 3 εμφανή «σκαλοπάτια» οπότε και πάρθηκαν 3 μετρήσεις ανά σκαλοπάτι άρα σύνολο 9 μετρήσεις ανά δοκίμιο. Οι μεταβλητές οι οποίες καταγράφηκαν είναι: R_a , R_q , R_t , R_z , R_c , R_{max} , R_{Sm} , R_{Pc} , το διάγραμμα R_{mr} αλλά και η καμπύλη τραχύτητας. Η θερμοκρασία περιβάλλοντος, του αισθητήρα αλλά και η θερμοκρασία του δοκίμιου πρέπει να είναι όσο το δυνατό πλησιέστερες. Η ιδανική θερμοκρασία για τη σωστή λειτουργία του αισθητήρα βρίσκεται στους 20C.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Μετρήσεις τραχύτητας

Η συσκευή RUGOSURF 20, μοντέλο τραχυμετρήσεων της εταιρείας TESA, που διαθέτει το εργαστήριο Προσομοιώσεων και Μηχανολογικών Κατασκευών χρησιμοποιείται για τη λήψη μετρήσεων τραχύτητας σε εννέα δοκίμια που κατεργάστηκαν σε τόρνο. Κάθε ένα από αυτά περιλαμβάνει 3 διαφορετικές παραλλαγές συνθηκών κοπής δίδοντας έτσι 27 συνολικά διαφορετικές περιπτώσεις μετρήσεων. Στο Σχήμα 3.1 παρουσιάζονται τα δοκίμια και η αρίθμησή τους. Το κάθε δοκίμιο παρουσιάζει 3 εμφανή «σκαλοπάτια» που υποδεικνύουν και την αλλαγή της κάθε περίπτωσης, άρα και την ανάγκη νέας μέτρησης. Λαμβάνονται 3 μετρήσεις ανά «σκαλοπάτι» άρα σύνολο 9 μετρήσεις ανά δοκίμιο. Η αρίθμηση των κυλινδρικών δοκιμίων ξεκινά από δεξιά προς τα αριστερά με πρώτο το δοκίμιο A1 και τελευταίο το A9.



Σχήμα 3.1 Δοκίμια όπου πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις

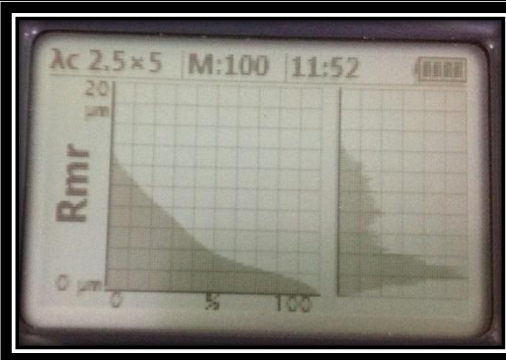
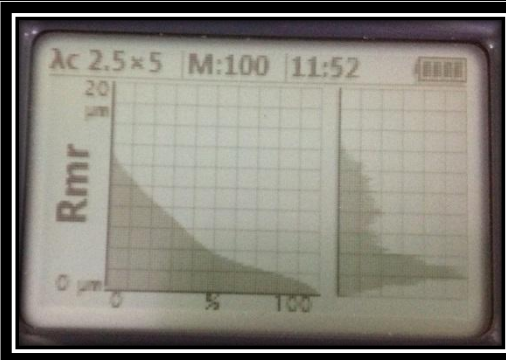
Στον Πίνακα 3.0 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά κοπής κατά την τόννευση των δοκιμίων σύμφωνα με την αρίθμηση του Σχήματος 3.1. Οι παράμετροι $f(\text{mm/rev})$, $ap(\text{mm})$, $n(\text{rpm})$, αντιπροσωπεύουν τις παραμέτρους κοπής, την πρόωση, το βάθος κοπής και τις στροφές ανά λεπτό, αντίστοιχα, της εργαλειομηχανής.

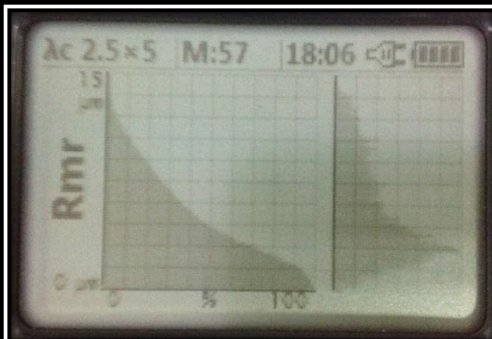
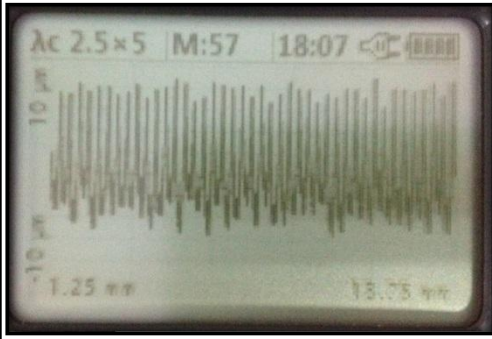
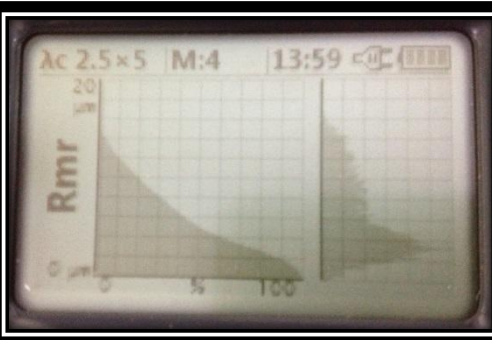
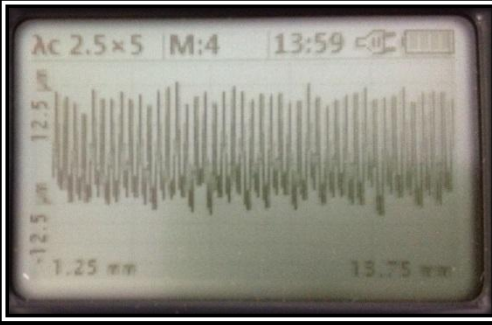
Δοκίμιο	$f(\text{mm/rev})$	$ap(\text{mm})$	$n(\text{rpm})$
A1a	0.3	0.5	1060
A1b	0.3	1	1060
A1c	0.3	1.5	1060
A2a	0.2	0.5	1060
A2b	0.2	1	1060
A2c	0.2	1.5	1060
A3a	0.1	0.5	1060
A3b	0.1	1	1060
A3c	0.1	1.5	1060
A4a	0.3	0.5	750
A4b	0.3	1	750
A4c	0.3	1.5	750
A5a	0.2	0.5	750
A5b	0.2	1	750
A5c	0.2	1.5	750
A6a	0.1	0.5	750
A6b	0.1	1	750
A6c	0.1	1.5	750
A7a	0.3	0.5	530
A7b	0.3	1	530
A7c	0.3	1.5	530
A8a	0.2	0.5	530
A8b	0.2	1	530
A8c	0.2	1.5	530
A9a	0.1	0.5	530
A9b	0.1	1	530
A9c	0.1	1.5	530

Πίνακας 3.0. Χαρακτηριστικά κοπής κατά την τόννευση των δοκιμίων σύμφωνα με την αρίθμηση του Σχήματος 3.1.

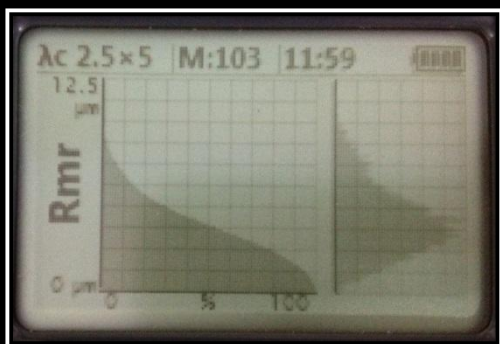
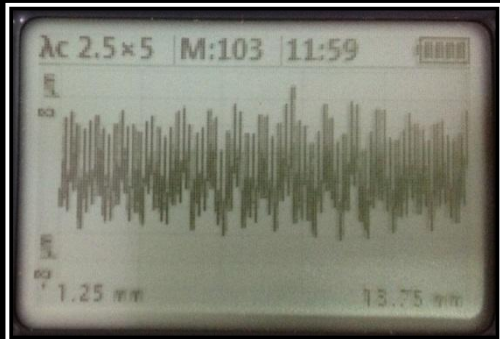
Σύμφωνα με τα βήματα που περιγράψαμε στο Κεφάλαιο 2 και τα χαρακτηριστικά κοπής που προαναφέραμε, πραγματοποιήσαμε τις μετρήσεις με τα αποτελέσματα αυτών να αναγράφονται στους παρακάτω 9 πίνακες. Ο κάθε πίνακας είναι αρχειοθετημένος σύμφωνα με την αρίθμηση των δοκιμών που έχει προηγηθεί. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των 3 μετρήσεων που πήραμε ανά κομμάτι δοκιμίου στις στήλες 1, 2 και 3. Οι μετρήσεις αφορούν τις μεταβλητές $Ra(\mu m)$, $Rq(\mu m)$, $Rt(\mu m)$, $Rz(\mu m)$, $Rc(\mu m)$, $Rmax(\mu m)$, $RSm(\mu m)$, $RPc(cm)$ που περιγράφηκαν στα προηγούμενα δύο Κεφάλαια. Παράλληλα, παρουσιάζονται και τα γραφήματα της τιμής Rmr με το γράφημα ανάγλυφου για κάθε περίπτωση.

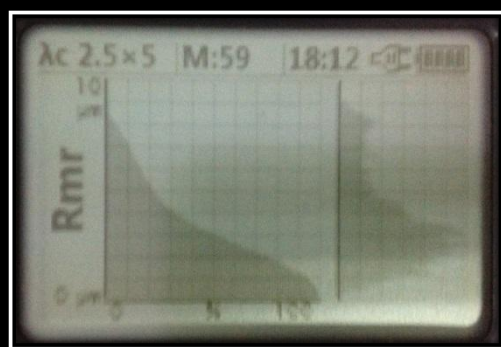
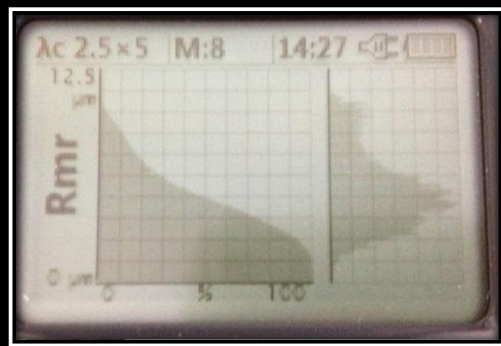
3.1 Μετρήσεις δοκιμών

Δοκίμιο A1				
Παράμετροι κοπής A1				
	f(mm/rev)	ap(mm)	n(rpm)	
A1a	0.3	0.5	1060	
A1b	0.3	1	1060	
A1c	0.3	1.5	1060	
Μετρήσεις A1a				
	1	2	3	RMR & ΑΝΑΓΛΥΦΟ
Ra(μm)	3,198	3,085	3,171	
Rq(μm)	3,752	3,585	3,695	
Rt(μm)	16,61	15,77	16,29	
Rz(μm)	15,341	14,341	14,54	
Rc(μm)	12,134	11,795	12,175	
Rmax(μm)	16,61	15,77	16,27	
RSm(μm)	294	294	295	
RPc(cm)	36	33	33	

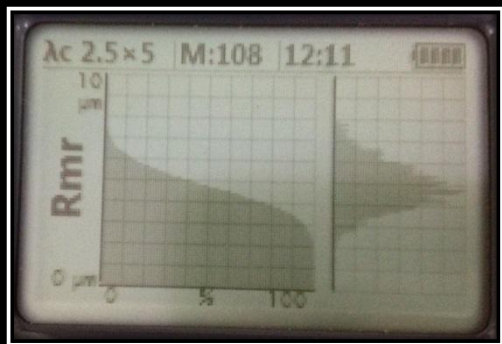
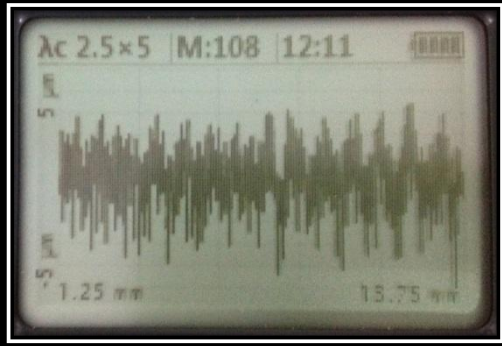
Μετρήσεις A1b				
	1	2	3	RMR & ΑΝΑΓΛΥΦΟ
Ra(μm)	2,724	2,853	2,83	
Rq(μm)	3,26	3,375	3,366	
Rt(μm)	15,38	14,76	14,61	
Rz(μm)	13,921	13,754	13,824	
Rc(μm)	9,852	11,056	11,009	
Rmax(μm)	14,35	14,76	14,3	
RSm(μm)	249	260	264	
RPc(cm)	43	38	40	
Μετρήσεις A1c				
	1	2	3	RMR & ΑΝΑΓΛΥΦΟ
Ra(μm)	3,299	3,32	3,226	
Rq(μm)	3,947	3,899	3,799	
Rt(μm)	20,18	18,45	16,76	
Rz(μm)	17,82	16,45	15,67	
Rc(μm)	11,831	12,777	13,035	
Rmax(μm)	20,08	17,82	16,63	
RSm(μm)	242	282	294	
RPc(cm)	41	35	37	

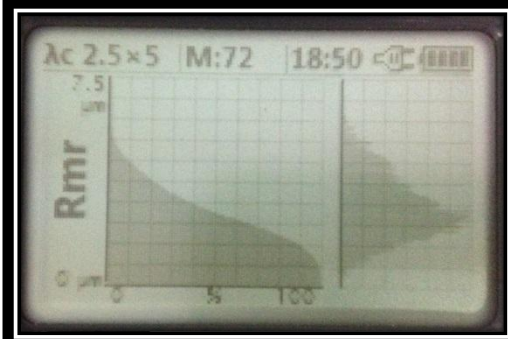
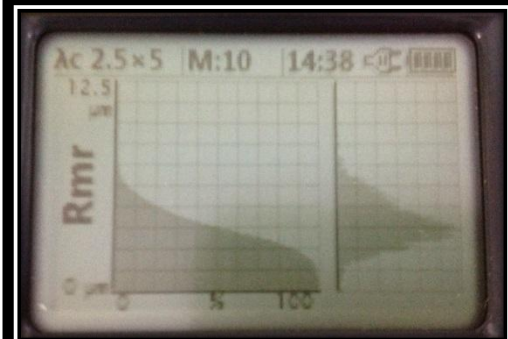
Πίνακας 3.1 Αποτελέσματα μετρήσεων δοκιμίου A1.

Δοκίμιο A2				
Παράμετροι κοπής A2				
	f(mm/rev)	ap(mm)	n(rpm)	
A2a	0.2	0.5	1060	
A2b	0.2	1	1060	
A2c	0.2	1.5	1060	
Μετρήσεις A2a				
	1	2	3	RMR & ΑΝΑΓΛΥΦΟ
Ra(μm)	1,557	1,654	1,574	
Rq(μm)	1,945	2,061	1,976	
Rt(μm)	11,18	11,37	11,48	
Rz(μm)	9,485	10,062	10,049	
Rc(μm)	5,497	6,091	5,733	
Rmax(μm)	10,96	10,98	11,48	
RSm(μm)	186	181	158	
RPc(cm)	65	55	66	

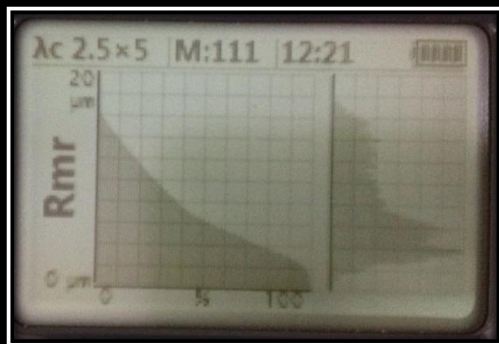
Μετρήσεις A2b				
	1	2	3	RMR & ΑΝΑΓΛΥΦΟ
Ra(μm)	1,669	1,735	1,773	
Rq(μm)	2,079	2,164	2,208	
Rt(μm)	9,18	9,81	10,13	
Rz(μm)	8,67	8,943	9,537	
Rc(μm)	5,72	6,329	7,004	
Rmax(μm)	9,12	9,82	9,86	
RSm(μm)	138	189	193	
RPc(cm)	72	75	70	
Μετρήσεις A2c				
	1	2	3	RMR & ΑΝΑΓΛΥΦΟ
Ra(μm)	1,915	1,784	1,757	
Rq(μm)	2,387	2,222	2,194	
Rt(μm)	11,54	10,86	12,04	
Rz(μm)	10,543	10,204	10,76	
Rc(μm)	6,77	6,081	5,365	
Rmax(μm)	11,04	10,086	11,56	
RSm(μm)	151	145	121	
RPc(cm)	64	70	85	

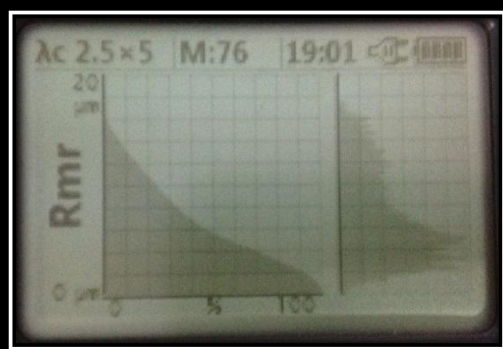
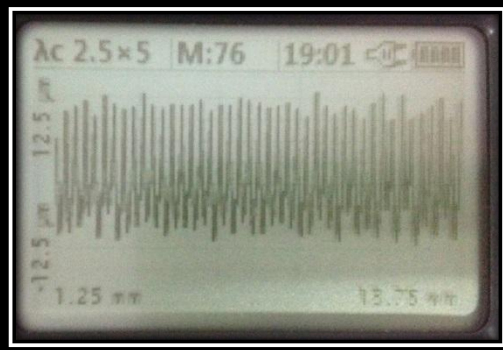
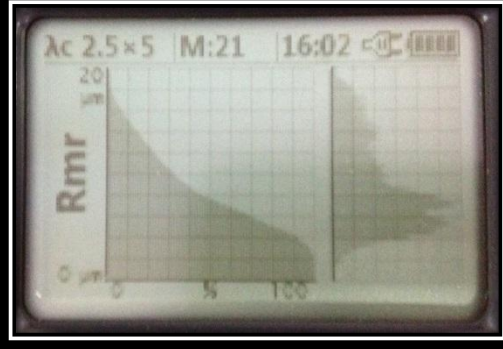
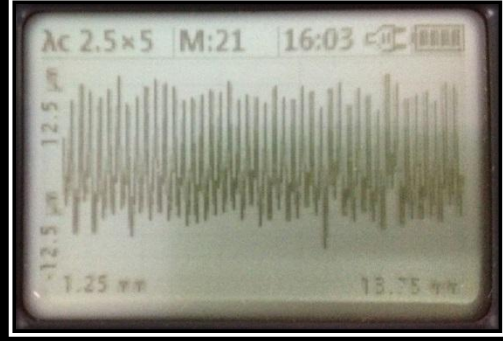
Πίνακας 3.2 Αποτελέσματα μετρήσεων δοκιμίου A2.

Δοκίμιο Α3				
Παράμετροι κοπής Α3				
	f(mm/rev)	ap(mm)	n(rpm)	
A3a	0.1	0.5	1060	
A3b	0.1	1	1060	
A3c	0.1	1.5	1060	
Μετρήσεις Α3a				
	1	2	3	RMR & ΑΝΑΓΛΥΦΟ
Ra(μm)	0,841	0,855	0,918	
Rq(μm)	1,044	1,077	1,14	
Rt(μm)	7,3	8,29	7,58	
Rz(μm)	10,543	10,204	10,76	
Rc(μm)	6,77	6,081	5,365	
Rmax(μm)	7,09	8,29	7,32	
RSm(μm)	84	73	87	
RPc(cm)	0,841	0,855	0,918	

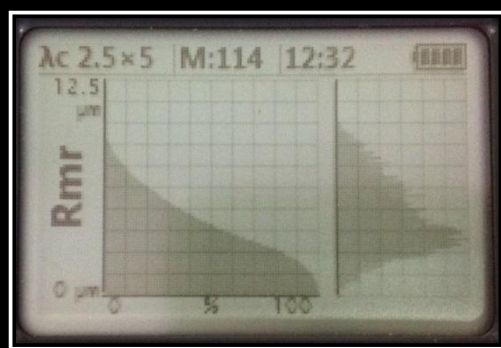
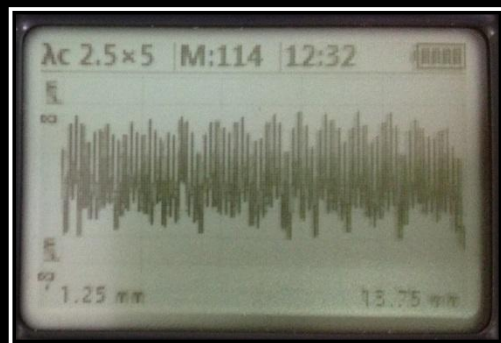
Μετρήσεις A3b				
	1	2	3	RMR & ΑΝΑΓΛΥΦΟ
Ra(μm)	0,921	0,946	0,918	
Rq(μm)	1,142	1,196	1,129	
Rt(μm)	7,68	8,34	7,3	
Rz(μm)	6,123	7,095	5,989	
Rc(μm)	2,478	2,521	2,584	
Rmax(μm)	7,31	8,34	7,3	
RSm(μm)	79	74	78	
RPc(cm)	139	141	128	
Μετρήσεις A3c				
	1	2	3	RMR & ΑΝΑΓΛΥΦΟ
Ra(μm)	1,092	1,11	1,12	
Rq(μm)	1,388	1,376	1,421	
Rt(μm)	10,74	9,35	10,22	
Rz(μm)	8,638	7,21	8,618	
Rc(μm)	3,125	2,959	2,797	
Rmax(μm)	10,74	8,32	10,01	
RSm(μm)	80	89	81	
RPc(cm)	127	112	124	

Πίνακας 3.3 Αποτελέσματα μετρήσεων δοκιμίου A3.

Δοκίμιο A4				
Παράμετροι κοπής A4				
	f(mm/rev)	ap(mm)	n(rpm)	
A4a	0.3	0.5	750	
A4b	0.3	1	750	
A4c	0.3	1.5	750	
Μετρήσεις A4a				
	1	2	3	RMR & ΑΝΑΓΛΥΦΟ
Ra(μm)	3,378	3,394	3,366	
Rq(μm)	3,998	4,014	3,99	
Rt(μm)	17,14	17,73	17,17	
Rz(μm)	15,818	16,544	16,1	
Rc(μm)	13,46	13,102	13,481	
Rmax(μm)	16,69	17,35	17,17	
RSm(μm)	288	257	282	
RPc(cm)	34	38	36	

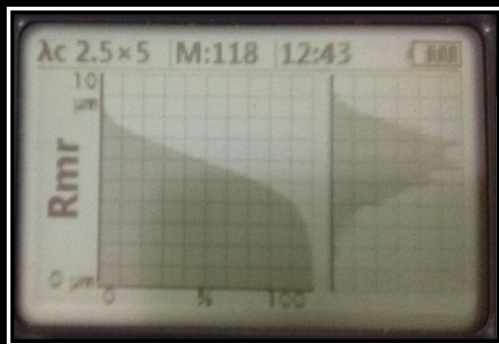
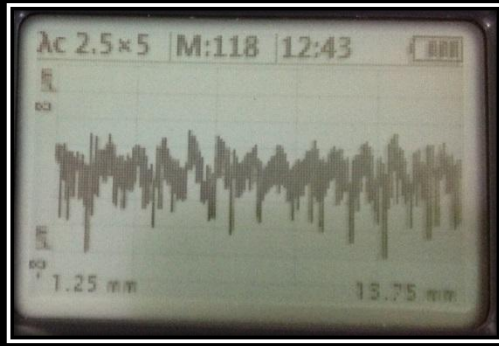
Μετρήσεις A4b				
	1	2	3	RMR & ΑΝΑΓΛΥΦΟ
Ra(μm)	3,465	3,448	3,449	
Rq(μm)	4,124	4,098	4,105	
Rt(μm)	17,39	17,78	17,65	
Rz(μm)	16,677	16,745	16,1	
Rc(μm)	14,488	14,017	12,905	
Rmax(μm)	17,05	17,23	17,54	
RSm(μm)	298	290	265	
RPc(cm)	33	34	36	
Μετρήσεις A4c				
	1	2	3	RMR & ΑΝΑΓΛΥΦΟ
Ra(μm)	3,484	3,599	3,365	
Rq(μm)	4,168	4,272	4,045	
Rt(μm)	18,74	18,84	20,05	
Rz(μm)	17,564	17,457	17,824	
Rc(μm)	14,243	14,735	13,909	
Rmax(μm)	18,49	18,84	19,1	
RSm(μm)	287	288	273	
RPc(cm)	36	34	36	

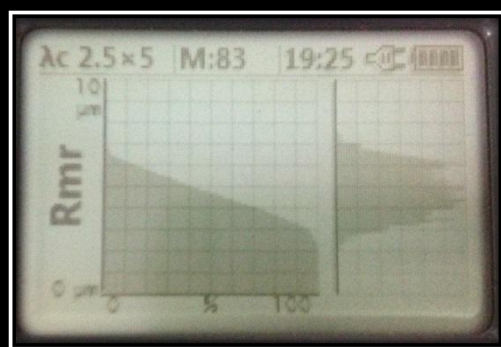
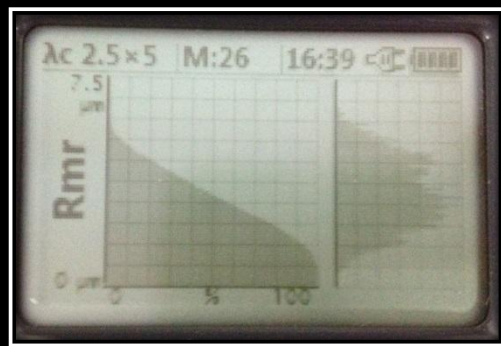
Πίνακας 3.4 Αποτελέσματα μετρήσεων δοκιμίου A4.

Δοκίμιο A5				
Παράμετροι κοπής A5				
	f(mm/rev)	ap(mm)	n(rpm)	
A5a	0.2	0.5	750	
A5b	0.2	1	750	
A5c	0.2	1.5	750	
Μετρήσεις A5a				
	1	2	3	RMR & ΑΝΑΓΛΥΦΟ
Ra(μm)	1,671	1,663	1,663	
Rq(μm)	2,015	2,005	2,013	
Rt(μm)	10,8	10,12	10,26	
Rz(μm)	9,622	9,289	9,265	
Rc(μm)	6,437	3,328	6,342	
Rmax(μm)	10,8	9,98	9,65	
RSm(μm)	196	196	196	
RPc(cm)	52	51	52	

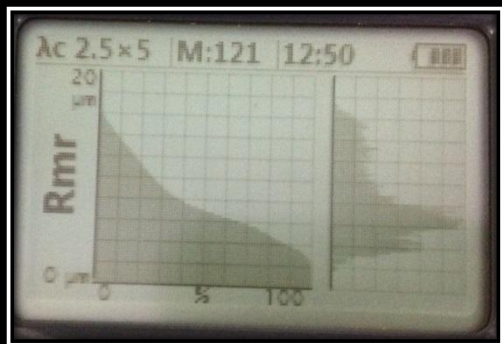
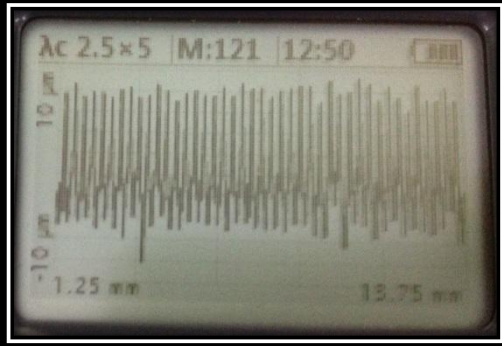
Μετρήσεις A5b				
	1	2	3	RMR & ΑΝΑΓΛΥΦΟ
Ra(μm)	1,64	1,656	1,667	
Rq(μm)	1,997	2,017	2,019	
Rt(μm)	9,98	9,44	9,24	
Rz(μm)	9,027	8,95	8,674	
Rc(μm)	6,599	6,789	6,731	
Rmax(μm)	9,98	9,42	9	
RSm(μm)	180	194	191	
RPc(cm)	58	52	52	
Μετρήσεις A5c				
	1	2	3	RMR & ΑΝΑΓΛΥΦΟ
Ra(μm)	1,646	1,665	1,63	
Rq(μm)	2,01	2,042	2,005	
Rt(μm)	10,21	10,06	10,18	
Rz(μm)	9,24	9,31	9,294	
Rc(μm)	6,379	6,488	6,469	
Rmax(μm)	10,21	9,76	9,97	
RSm(μm)	181	184	186	
RPc(cm)	58	55	56	

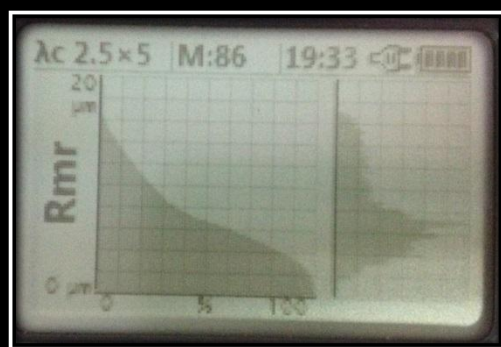
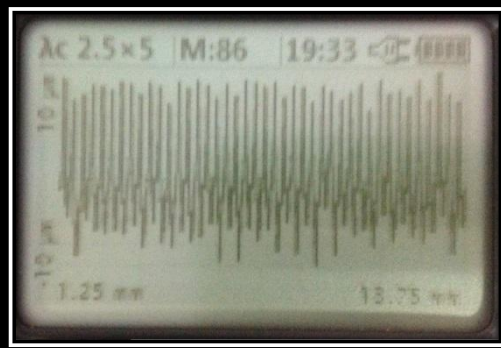
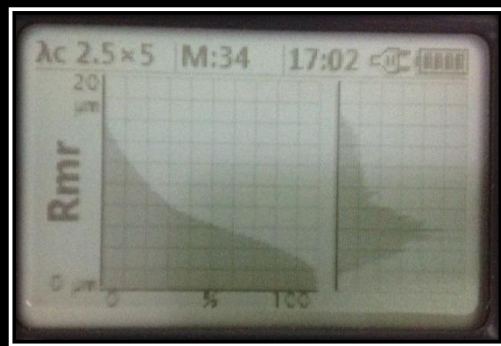
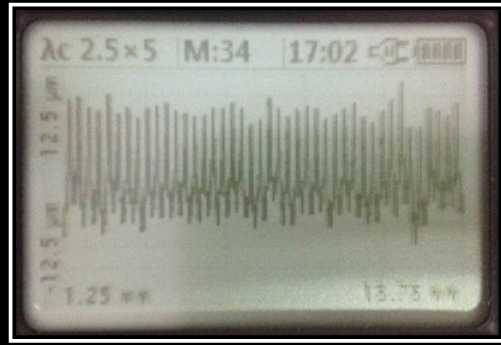
Πίνακας 3.5 Αποτελέσματα μετρήσεων δοκιμίου A5.

Δοκίμιο Α6				
Παράμετροι κοπής Α6				
	f(mm/rev)	ap(mm)	n(rpm)	
A6a	0.1	0.5	750	
A6b	0.1	1	750	
A6c	0.1	1.5	750	
Μετρήσεις Α6α				
	1	2	3	RMR & ΑΝΑΓΛΥΦΟ
Ra(μm)	1,025	1,095	1,098	
Rq(μm)	1,268	1,375	1,385	
Rt(μm)	8,4	9,16	10,12	
Rz(μm)	7,134	7,985	7,455	
Rc(μm)	3,051	3,088	2,834	
Rmax(μm)	7,88	9,11	9,29	
RSm(μm)	105	110	113	
RPc(cm)	100	92	92	

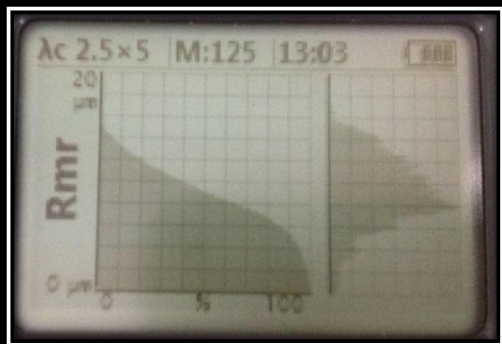
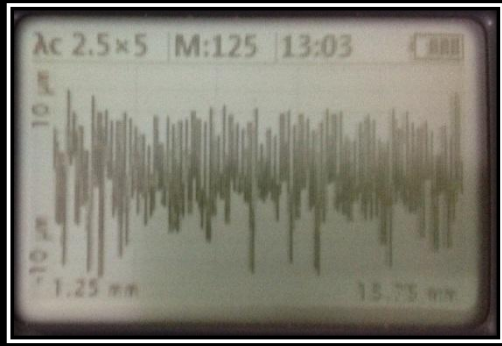
Μετρήσεις A6b				
	1	2	3	RMR & ΑΝΑΓΛΥΦΟ
Ra(μm)	0,945	0,911	0,913	
Rq(μm)	1,139	1,082	1,091	
Rt(μm)	9,07	7,54	5,88	
Rz(μm)	6,525	5,691	5,412	
Rc(μm)	2,987	2,778	2,74	
Rmax(μm)	8,4	7	5,64	
RSm(μm)	97	95	99	
RPc(cm)	104	116	115	
Μετρήσεις A6c				
	1	2	3	RMR & ΑΝΑΓΛΥΦΟ
Ra(μm)	1,04	1,032	1,043	
Rq(μm)	1,237	1,212	1,232	
Rt(μm)	6,59	5,69	7,26	
Rz(μm)	5,67	5,191	6,381	
Rc(μm)	3,089	3,111	3,251	
Rmax(μm)	6,11	5,54	7,08	
RSm(μm)	98	98	94	
RPc(cm)	102	104	115	

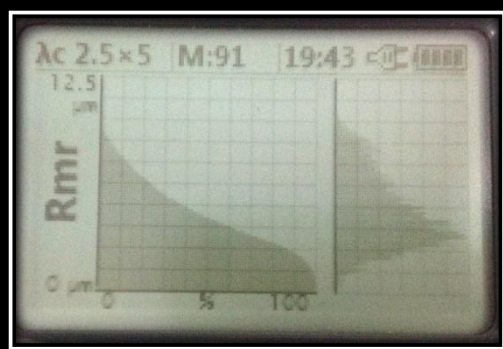
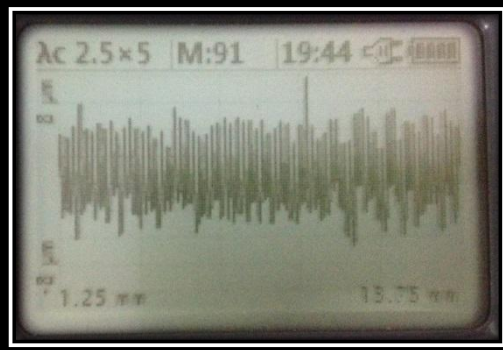
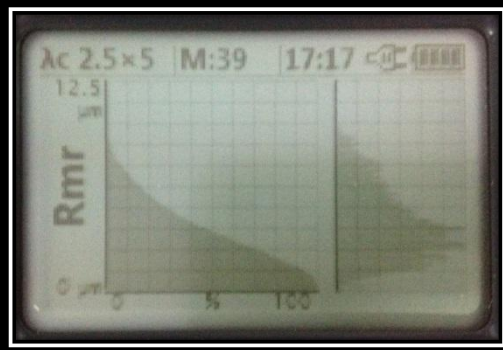
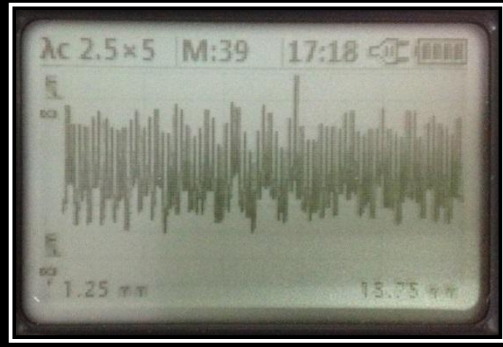
Πίνακας 3.6 Αποτελέσματα μετρήσεων δοκιμίου A6.

Δοκίμιο Α7				
Παράμετροι κοπής Α7				
	f(mm/rev)	ap(mm)	n(rpm)	
A7a	0.3	0.5	530	
A7b	0.3	1	530	
A7c	0.3	1.5	530	
Μετρήσεις Α7a				
	1	2	3	RMR & ΑΝΑΓΛΥΦΟ
Ra(μm)	2,887	2,943	3,071	
Rq(μm)	3,523	3,57	3,799	
Rt(μm)	17,49	17,53	19,67	
Rz(μm)	15,005	16,174	17,46	
Rc(μm)	11,258	11,266	10,836	
Rmax(μm)	16,81	17,53	18,58	
RSm(μm)	278	237	293	
RPc(cm)	39	44	50	

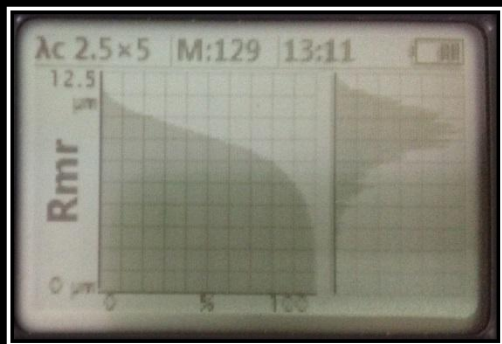
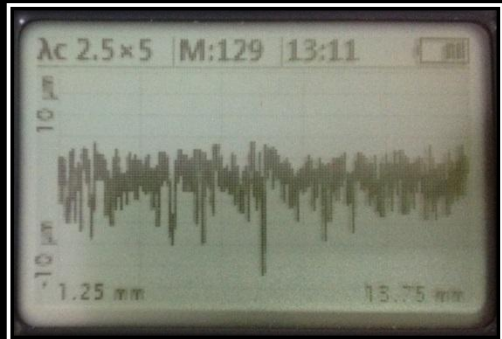
Μετρήσεις A7b				
	1	2	3	RMR & ΑΝΑΓΛΥΦΟ
Ra(μm)	2,954	2,886	2,943	
Rq(μm)	3,654	3,57	3,619	
Rt(μm)	17,83	15,89	17,72	
Rz(μm)	16,734	15,262	15,502	
Rc(μm)	13,583	12,717	11,815	
Rmax(μm)	17,1	15,67	17,23	
RSm(μm)	282	275	239	
RPc(cm)	39	44	50	
Μετρήσεις A7c				
	1	2	3	RMR & ΑΝΑΓΛΥΦΟ
Ra(μm)	2,955	2,748	2,824	
Rq(μm)	3,686	3,453	3,549	
Rt(μm)	19,83	18,79	18,83	
Rz(μm)	17,217	15,731	16,677	
Rc(μm)	12,437	11,523	11,118	
Rmax(μm)	19,83	18,79	18,83	
RSm(μm)	275	267	239	
RPc(cm)	39	44	50	

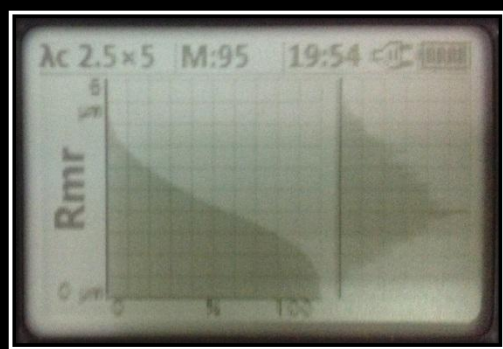
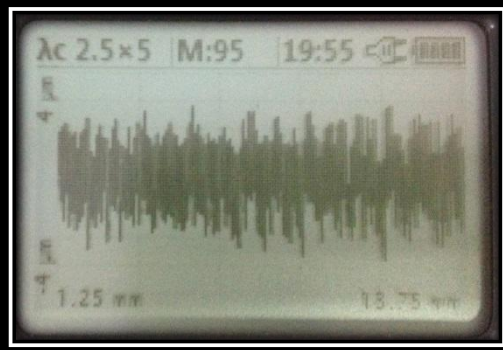
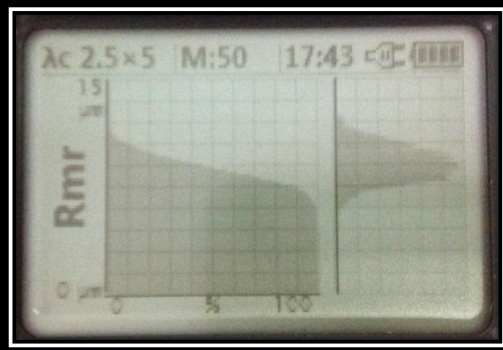
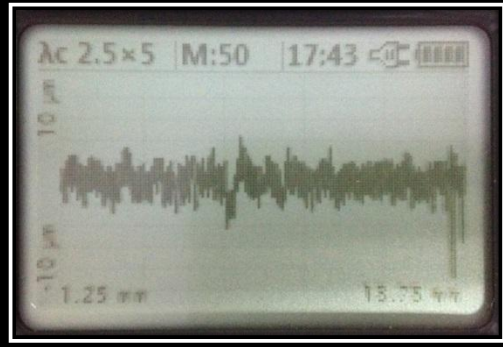
Πίνακας 3.7 Αποτελέσματα μετρήσεων δοκιμίου A7.

Δοκίμιο Α8				
Παράμετροι κοπής Α8				
	f(mm/rev)	ap(mm)	n(rpm)	
A8a	0.2	0.5	530	
A8b	0.2	1	530	
A8c	0.2	1.5	530	
Μετρήσεις Α8a				
	1	2	3	RMR & ΑΝΑΓΛΥΦΟ
Ra(μm)	2,174	1,448	2,484	
Rq(μm)	2,714	3,032	3,055	
Rt(μm)	14,93	17,2	17,93	
Rz(μm)	13,385	15,207	15,13	
Rc(μm)	7,07	7,905	8,35	
Rmax(μm)	14,93	17,2	16,81	
RSm(μm)	164	171	180	
RPc(cm)	66	64	61	

Μετρήσεις A8b				
	1	2	3	RMR & ΑΝΑΓΛΥΦΟ
Ra(μm)	1,7	1,678	1,667	
Rq(μm)	2,068	2,046	2,006	
Rt(μm)	12,55	11,92	10,14	
Rz(μm)	9,817	9,281	8,675	
Rc(μm)	6,332	6,291	6,56	
Rmax(μm)	12,55	11,92	9,39	
RSm(μm)	185	188	199	
RPc(cm)	56	54	51	
Μετρήσεις A8c				
	1	2	3	RMR & ΑΝΑΓΛΥΦΟ
Ra(μm)	1,629	1,704	1,67	
Rq(μm)	1,992	2,084	2,024	
Rt(μm)	10,38	11,98	11,17	
Rz(μm)	9,255	9,599	9,627	
Rc(μm)	6,322	6,224	6,195	
Rmax(μm)	10,38	11,9	11,17	
RSm(μm)	188	191	197	
RPc(cm)	56	53	53	

Πίνακας 3.8 Αποτελέσματα μετρήσεων δοκιμίου A8.

Δοκίμιο Α9				
Παράμετροι κοπής Α9				
	f(mm/rev)	ap(mm)	n(rpm)	
A9a	0.1	0.5	530	
A9b	0.1	1	530	
A9c	0.1	1.5	530	
Μετρήσεις Α9a				
	1	2	3	RMR & ΑΝΑΓΛΥΦΟ
Ra(μm)	1,327	1,216	1,73	
Rq(μm)	1,726	1,53	1,504	
Rt(μm)	15,42	10,49	11,96	
Rz(μm)	9,121	8,536	8,693	
Rc(μm)	3,334	3,068	3,119	
Rmax(μm)	12,42	9,46	10,97	
RSm(μm)	109	108	105	
RPc(cm)	104	123	140	

Μετρήσεις A9b				
	1	2	3	RMR & ΑΝΑΓΛΥΦΟ
Ra(μm)	0,823	0,846	0,832	
Rq(μm)	1,008	1,032	1,024	
Rt(μm)	5,56	6,58	6,6	
Rz(μm)	5,058	5,614	5,771	
Rc(μm)	2,469	2,619	2,591	
Rmax(μm)	5,56	6,24	6,37	
RSm(μm)	88	93	77	
RPc(cm)	0,823	0,846	0,832	
Μετρήσεις A9c				
	1	2	3	RMR & ΑΝΑΓΛΥΦΟ
Ra(μm)	1,04	1,061	0,998	
Rq(μm)	1,311	1,35	1,272	
Rt(μm)	11,68	14,01	13,41	
Rz(μm)	7,967	8,113	7,892	
Rc(μm)	2,802	2,794	2,882	
Rmax(μm)	11,68	14,01	12,39	
RSm(μm)	59	98	95	
RPc(cm)	148	121	119	

Πίνακας 3.9 Αποτελέσματα μετρήσεων δοκιμίου A9.

Συγκρίνουμε τα αποτελέσματα με τη βοήθεια των πινάκων, όπως αναγράφονται παρακάτω.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Αξιολόγηση μετρήσεων τραχύτητας

Οι μετρήσεις που συλλέχθηκαν και καταγράφηκαν στους εννέα (9) πίνακες του Κεφαλαίου 3 αναλύονται και συγκρίνονται. Από τα αποτελέσματα που πήραμε από με βάση τις διαφορετικές συνθήκες κοπής μετά την κατεργασία τόννευσης του κάθε δοκιμίου προκύπτουν τα συμπεράσματα που ακολουθούν.

Για το δοκίμιο **A1** κατά την κατεργασία τόννευσής του, επιλέχθηκε πρόωση 0,3 mm/rev και στροφές ανά λεπτό κοπής 1060 (rpm). Αυτό που άλλαζε μεταξύ στα a, b, c τμήματα του δοκιμίου A1 ήταν το βάθος κοπής, με τιμές: για a 0,5(mm), για b 1(mm) και για c 1,5(mm). Από τα αποτελέσματα που καταγράφηκαν στον πίνακα 3.1, βλέπουμε ότι, Ra όπως και το Rmax αυξάνονται όσο μεγαλώνουμε το βάθος κοπής από A1a στο A1c που είναι και το αναμενόμενο. Στη συγκεκριμένη περίπτωση παρατηρούμε τις τιμές του τμήματος A1b να εμφανίζονται μειωμένες σε σχέση με τα κομμάτια a και c. Το αναμενόμενο αποτέλεσμα θα ήταν να έχουν αύξουσα σειρά στα μεγέθη τους ξεκινώντας από το a περνώντας στο b και τελειώνοντας στο c. Οι μετρήσεις στο τμήμα A1b δεν ακολουθούν την αύξουσα πορεία της τραχύτητας που περιμέναμε, καθώς παρουσιάζει μικρότερες τιμές π.χ. στα Ra και Rmax. Αυτό σίγουρα συνέβη λόγω ανθρώπινου λάθους κατά την διαδικασία της κατεργασίας κοπής ή/και μέτρησης της τραχύτητας. Η γενική παρατήρηση είναι ότι όσο μικρότερο βάθος κοπής επιλέγεται, τόσο μικρότερες τιμές στις μεταβλητές της τραχύτητας επιτυγχάνουμε.

Για την κατεργασία του δοκιμίου **A2** χρησιμοποιήσαμε πρόωση με τιμή 0,2 mm/rev, στροφές ανά λεπτό κοπής 1060 (rpm) για όλα τα κομμάτια και για βάθος κοπής ανά κομμάτι, όπως και στο προηγούμενο δοκίμιο, a 0,5(mm), b 1(mm) και c 1,5(mm). Από τα αποτελέσματα που καταγράφηκαν στον πίνακα 3.2, παρατηρούμε ότι από το κομμάτι a μέχρι το κομμάτι c το οποίο είχε το μεγαλύτερο βάθος κοπής, έχουμε αύξηση τραχύτητας σύμφωνα με τις μετρήσεις που πήραμε, λόγω του μεγαλύτερου βάθους κοπής.

Συγκρίνοντας τις τιμές του **A2** με τις τιμές του δοκιμίου **A1** (Πίνακες 3.1 και 3.2) παρατηρούμε ότι το A2 έχει μικρότερες τιμές στις μεταβλητές της τραχύτητας του. Ο λόγος είναι πως το A2 σε σχέση με το A1, έχει μειωμένη την τιμή της πρόωσης, ενώ οι υπόλοιπες μεταβλητές κοπής παραμένουν ίδιες. Άρα από αυτό παρατηρούμε ότι όσο μικρότερη πρόωση έχουμε επιτυγχάνουμε μικρότερες τιμές τραχύτητας, με το μόνο, αλλά σημαντικό παράλληλα κόστος, την αύξηση του χρονικού διαστήματος για την ολοκλήρωση της κατεργασίας.

Στο δοκίμιο **A3** επιλέχθηκε πρόωση 0,1 mm/rev, στροφές ανά λεπτό κοπής 1060 (rpm) και όπως σε όλα τα δοκίμια το κάθε κομμάτι του είχε κατεργαστεί με βάθος κοπής, a 0,5(mm), b 1(mm) και c 1,5 (mm). Και σε αυτό το δοκίμιο, του οποίου οι μετρήσεις περιέχονται στον πίνακα 3.3, παρατηρείται αύξηση στις τιμές τραχύτητας κατά την αύξηση της τιμής του βάθους κοπής μεταξύ των κομματιών a, b, και c.

Συγκρίνοντας το δοκίμιο **A3** σε σχέση με τα άλλα δύο, **A1** και **A2** (Πίνακες 3.1, 3.2 και 3.3), βλέπουμε ότι οι τιμές των παραμέτρων Ra, Rmax παρουσιάζουν μειωμένη τραχύτητα στο δοκίμιο A3 και αυτό συμβαίνει λόγω του ότι το δοκίμιο αυτό είχε την μικρότερη πρόωση κατά την κατεργασία του από τα άλλα δύο δοκίμια. Άρα ως τώρα μπορούμε να πούμε ότι το A3 με την μικρότερη τιμή πρόωσης και ειδικότερα στο μικρότερο βάθος κοπής παρουσιάζει την χαμηλότερη στροφές ανά λεπτό κατά την σύγκριση του με τα δοκίμια A1 και A2.

Η κατεργασία τόννευσης στο δοκίμιο **A4** είχε τιμές, πρόωση 0,3(mm/rev), στροφές ανά λεπτό κοπής 750(rpm) και βάθος κοπής ανά κομμάτι a 0,5 (mm), b 1 (mm) και c 1,5 (mm). Τα αποτελέσματα (πίνακας 3.4) δείχνουν αύξηση τραχύτητας ανά κομμάτι, με το τμήμα a να παρουσιάζει την μικρότερη τραχύτητα σε σχέση με τα κατά αύξουσα σειρά b και c. Συγκρίνοντας το με το δοκίμιο **A1** παρατηρούμε ότι το A4 είχε ελαφρά αυξημένη τραχύτητα από το A1 λόγω του ότι ενώ είχαν την ίδια τιμή στην πρόωση τους, στο A4 η στροφές ανά λεπτό κοπής είχε μικρότερη τιμή. Αυτό εξηγεί και τη διαφορά στην τραχύτητα που παρουσιάζεται. Αν συγκρίνουμε το A4 και με τα υπόλοιπα δοκίμια παρατηρούμε το ίδιο. Δηλαδή η μεγαλύτερη στροφές ανά λεπτό κοπής μας δίνει μικρότερη τραχύτητα, αντίστοιχα όπως όταν το δοκίμιο κατεργάζεται με μικρότερο βάθος κοπής και μικρότερη τιμή πρόωσης.

Το δοκίμιο **A5** (πίνακας 3.5) κατεργάστηκε με πρόωση 0,2 mm/rev, στροφές ανά λεπτό κοπής 750 (rpm) και βάθος κοπής ανά κομμάτι a 0,5(mm), b 1(mm) και c 1,5(mm). Και εδώ παρατηρείται αύξηση τραχύτητας ανά κομμάτι από το μικρότερο βάθος κοπής στο μεγαλύτερο, εκτός ενός μικρού σφάλματος που στις τιμές του a τμήματος που αποδίδεται και πάλι σε ανθρώπινο σφάλμα μέτρησης ή-και κατεργασίας. Κατά την σύγκριση του A5 με τα υπόλοιπα δοκίμια που έχουμε μελετήσει ως τώρα, παρατηρούμε, τιμές τραχύτητας που αυξάνονται κατά την αύξηση του βάθους κοπής, αύξηση τραχύτητας κατά την μείωση της στροφές ανά λεπτός κοπής ή/και την αύξηση πρόωσης.

Το δοκίμιο **A6** (πίνακας 3.6) κατεργάστηκε με πρόωση 0,1 mm/rev, στροφές ανά λεπτό κοπής 750 (rpm) και βάθος κοπής ανά κομμάτι a 0,5(mm), b 1(mm) και c 1,5(mm). Η αύξηση βάθους

κοπής ισοδυναμεί με αύξηση τραχύτητας, γεγονός που διαπιστώνεται και πάλι. Η μείωση τραχύτητας σε σχέση με τα A4 και A5 παρατηρείται λόγω του ότι το δοκίμιο A6 κατεργάστηκε με την μικρότερη τιμή πρόωσης σε σχέση με τα άλλα δύο. Σε σχέση με τα υπόλοιπα δοκίμια βλέπουμε ότι το δοκίμιο A6 έχει αυξημένη τραχύτητα σε σχέση με το A3 με το οποίο έχει τις ίδιες παραμέτρους κοπής, πλην της στροφές ανά λεπτό κοπής, που στο A6 χρησιμοποιήθηκε μικρότερη, και είναι ο λόγος που το A3 κατέχει τις μικρότερες τιμές παραμέτρων τραχύτητας.

Το δοκίμιο A7 κατεργάστηκε με πρόωση 0,3 mm/rev, στροφές ανά λεπτό κοπής 530 (rpm) και βάθος κοπής ανά κομμάτι a 0,5 (mm), b 1 (mm) και c 1,5 (mm). Στο A7 (πίνακας 3.7) παρατηρήθηκε αύξηση τραχύτητας κατά την αύξηση του βάθους κοπής, όπως και διαφορετική τραχύτητα σε σχέση με άλλα δοκίμια που είχαν κατεργαστεί με μεγαλύτερες ταχύτητες κοπής.

Στο δοκίμιο A8 είχαμε, πρόωση 0,2 mm/rev, στροφές ανά λεπτό κοπής 530 (rpm) και βάθος κοπής ανά κομμάτι a 0,5 (mm), b 1 (mm) και c 1,5 (mm). Εάν το συγκρίνουμε με το δοκίμιο A7 παρατηρούμε τη μειωμένη τιμή τραχύτητας στο A8 λόγω της μικρότερης πρόωσης κατά την κατεργασία τους.

Τέλος, στο δοκίμιο A9 είχαμε κατεργασία με πρόωση 0,1 mm/rev, στροφές ανά λεπτό κοπής 530 (rpm) και βάθος κοπής ανά κομμάτι a 0,5 (mm), b 1 (mm) και c 1,5 (mm). Το A9 είχε αυξανόμενη τιμή τραχύτητας στα τμήματα a, b και c, με την μεγαλύτερη τραχύτητα να την κατέχει το κομμάτι με το μεγαλύτερο βάθος κοπής και την μικρότερη τραχύτητα ανά κομμάτι αυτό με το μικρότερο βάθος κοπής. Σε σύγκριση με τα δοκίμια A7 και A8, το δοκίμιο A9 είχε την μικρότερη τραχύτητα λόγω του ότι κατεργάστηκε με την μικρότερη πρόωση και με στροφές ανά λεπτό κοπής να είναι ίδια και στα τρία δοκίμια.

Γενικότερα, μελετώντας συνολικά τα δοκίμια A1-A9 και τα τμήματά τους a, b και c, μπορούμε με ασφάλεια να πούμε ότι τα δοκίμια με την μικρότερη πρόωση και το μικρότερο βάθος κοπής παρουσιάζουν πάντα την μικρότερη τραχύτητα, όπως και αναμενόταν. Μιας και η πρόωση είναι αλληλεξαρτώμενη με τις στροφές ανά λεπτό κοπής αντίστοιχα είναι και τα συμπεράσματα που προκύπτουν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Συμπεράσματα

Γενικά όσον αφορά μια κατεργασία τόννευσης, οι μεγαλύτερες τιμές, ταχύτητας κοπής, της πρόωσης αλλά και του βάθους κοπής είναι ισοδύναμα με μικρότερο χρόνο και μικρότερο κόστος της συνολικής κατεργασίας. Σε κάθε κατεργασία όμως εκτός από το χρόνο και το κόστος αυτής μας ενδιαφέρει ποιότητα του αντικειμένου, στην περίπτωση μας η τραχύτητα της επιφάνειας του δοκιμίου.

Κατά την διαδικασία της τελικής κατεργασίας σε ένα δοκίμιο, με άλλα λόγια «φινίρισμα», πρέπει να εφαρμοστεί μικρή πρόωση και μικρό βάθος κοπής για την επίτευξη μια λείας και καθαρής επιφάνειας έχοντας τη δυνατότητα επιλογής κατάλληλης ταχύτητας κοπής. Γενικά το βάθος κοπής κατά το «ξεχόνδρισμα», εννοώντας την επιλογή μεγαλύτερου κοπτικού εργαλείου και την μεγαλύτερη τιμή της πρόωσης για την επίτευξη γρήγορης αφαίρεσης υλικού, μπορεί να αυξηθεί στα μεγαλύτερα επιτρεπτά όρια μιας και στην συγκεκριμένη περίπτωση η τραχύτητα της επιφάνειας κατά αυτή την κατεργασία είναι ελάχιστης σημασίας.

Η χρήση των τραχυμέτρων εξασφαλίζει την σωστή εκτίμηση της τραχύτητας επιφανειών, παρέχοντας χρήσιμες πληροφορίες για το κομμάτι που θα χρησιμοποιήσουμε σε οποιαδήποτε μηχανολογική εφαρμογή. Οι περιορισμοί και οι απαιτήσεις της εφαρμογής καθορίζουν τα όρια της τραχύτητας και η μέτρηση την τελική ικανοποίηση των περιορισμών άρα και της ορθής λειτουργίας. Παράλληλα η τραχυμέτρηση παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για τις συνθήκες κατεργασίας που κατασκευάστηκε ένα προϊόν και το πώς επηρέασαν την τελική μορφή του. Έτσι δίδεται η δυνατότητα βελτίωσης αυτών των παραμέτρων με βάση τον προορισμό χρήσης του μηχανολογικού αντικειμένου που κατασκευάζεται.

6. Βιβλιογραφία

- [1] http://en.wikipedia.org/wiki/Surface_finish, επισκέψιμο την 01-07-2016.
- [2] http://en.wikipedia.org/wiki/Surface_roughness, επισκέψιμο την 01-07-2016.
- [3] Α. Μουρλάς, Τ.Ε.Ι. Πειραιά, Τμήμα Μηχανολογίας. Μέτρηση Τραχύτητας, Οκτώβριος 2013
http://triblab.teipir.gr/files/TRB/Notes/CH1_Roughness_N.pdf, επισκέψιμο την 01-07-2016.
- [4] <http://www.engineersedge.com/manufacturing/images/texture.gif>, επισκέψιμο την 01-07-2016.
- [5] <http://www.phase2plus.com/surfaceroughnesstesters/profile-parameters.htm>, επισκέψιμο την 01-07-2016.
- [6] <http://ijmem.avestia.com/>, επισκέψιμο την 01-07-2016.
- [7] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mechanical_filtering_of_surface_finish_trace.svg, επισκέψιμο την 01-07-2016.
- [8] <http://s1072948.instanturl.net/digitalmetrology.com/wp-content/uploads/2014/06/Rt.jpg>, επισκέψιμο την 01-07-2016.
- [9] <http://www.tesatechnology.com/>, επισκέψιμο την 01-07-2016.
- [10] <http://portabletesters.com/>, επισκέψιμο την 01-07-2016.
- [11] TESA-rugosurf 20, Instruction Manual, <http://ecx.images-amazon.com/images/I/81Tnck2zE8L.pdf>, επισκέψιμο την 01-07-2016.