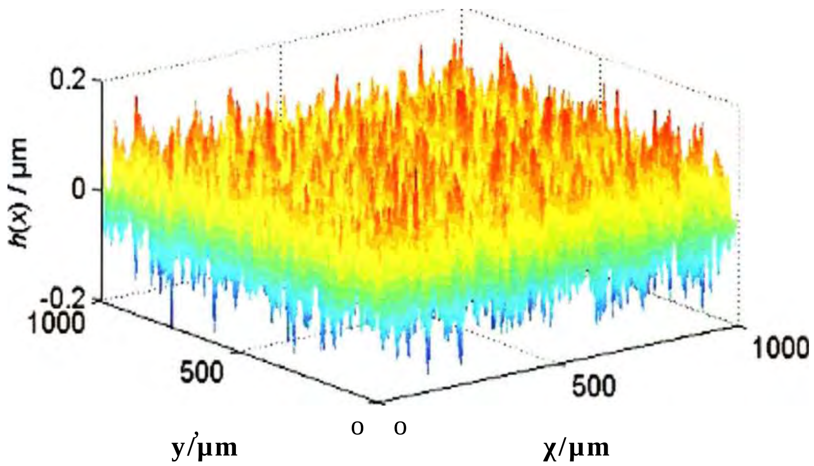
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

I-,

Διπλωματική Εργασία

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΤΑΔΙΟΥ ΦΘΟΡΑΣ ΚΥΛΙΝΔΡΟΥ ΜΗΧΑΝΗΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΕΩΣ ΒΑΣΕΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΜΕΝΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ & ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΉς ΤΡΑΧΥΜΕΤΡΗΣΗΣ



Επιμέλεια : **ΑΝΝΑ Δημ. ΓΙΑΓΑΗ**

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για την απόκτηση του Διπλώματος Μηχανολόγου Μηχανικού.

Βόλος, 2012

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής: Δρ. Κεχαγιάς Ιωάννης
(Επιβλέπων) Διδάσκων, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής: Δρ. Καραμάνος Σπυρίδος
Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής: Δρ. Λυμπερόπουλος Γεώργιος
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Πρώτα απ' όλα, θέλω να ευχαριστήσω τους καθηγητές κ. Κεχαγιά Ιωάννη και κ. Πανταζάρα Κωνσταντίνο για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή τους κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Επίσης, είμαι ευγνώμων στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, καθηγητές κ. Καραμάνο Σπυρίδων και κ. Λυμπερόπουλο Γεώργιο, για την προσεκτική ανάγνοίση της εργασίας μου και για τις πολύτιμες υποδείξεις τους.

Τέλος, το μεγαλύτερο ευχαριστώ οφείλω στους γονείς μου Δημήτριο και Μαλαματένια Γιαγλή για τη στήριξη που μου πρόσφεραν στον υπέρτατο βαθμό όλα αυτά τα χρόνια. Ως ελάχιστο δείγμα της ευγνωμοσύνης μου, αφιερώνω αυτή την εργασία στον Πατέρα μου, δίχως τη συμβολή του οποίου δεν θα είχε επιτευχθεί αυτός μου ο στόχος.

Άννα Δημ. Γιαγλή

Αννα Δημ. Γιαγλή

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, 2012

Επιβλέπων: Δρ. Κεχαγιάς Ιωάννης, Διδάσκων,

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΤΑΔΙΟΥ ΦΘΟΡΑΣ
ΚΥΛΙΝΔΡΟΥ ΜΗΧΑΝΗΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΕΩΣ
ΒΑΣΕΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΜΕΝΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ
& ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΉς ΤΡΑΧΥΜΕΤΡΗΣΗΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το ζητούμενο στο τεχνικό πρόβλημα : 'Ποιό είναι το στάδιο φθοράς κυλίνδρου μηχανής εσοοτερικής καύσεως (Μ.Ε.Κ) που οδηγεί στην απόρριψη της μηχανής από άποψη μηχανικών απωλειών και κατανάλωσης λιπαντικού λόγω αυξημένης φθοράς ;' ενδεχομένως θα μπορούσε να απαντηθεί με βάση συμπεράσματα και κατευθύνσεις που θα παρουσιαστούν στην παρούσα διπλωματική εργασία η οποία χωρίζεται σε τέσσερα κεφάλαια.

Αρχικά στο 1° κεφάλαιο παρουσιάζονται χαρακτηριστικά της τραχύτητας τεχνολογικών επιφανειών και γενικά το θεωρητικό υπόβαθρο που χρησιμοποιήθηκε για την παρούσα διπλωματική εργασία.

Στο 2° κεφάλαιο μελετάται η τραχύτητα κυλίνδρων μηχανών εσωτερικής καύσης με την βοήθεια του στατιστικού συστήματος Fisher - Pearson.

Στην συνέχεια στο 3° κεφάλαιο παρουσιάζονται νέα δεδομένα που αφορούν την μεταβολή των παραμέτρων τραχύτητας με την φθορά (χαρτογραφημένα χαρακτηριστικά).

Στο 4° κεφάλαιο παρατίθενται τα αποτελέσματα της σύγκρισης πειραματικών αποτελεσμάτων (δειγματοληπτική τραχυμέτρηση) και θεωρητικών, καθώς επίσης εκτιμάται και ο χρόνος λειτουργίας μιας μηχανής εσωτερικής καύσης.

Τέλος στο 5° κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που εξάγονται από την παρούσα διπλωματική εργασία καθώς και μελλοντικές προοπτικές για την εξέλιξη της προτεινόμενης μεθοδολογίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

k

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

1. Ιστορικό - Εισαγωγή

Από την δεκαετία του 1960, κυρίως στο χώρο της αυτοκινητοβιομηχανίας εμφανίστηκε έντονη δραστηριότητα σε σχέση με κριτήρια τα οποία θα αναδείκνυαν συγχρόνως τα φαινόμενα της φθοράς και της τριβής μέσα στους κινητήρες εσωτερικής καύσης.

Μέχρι την εποχή εκείνη, κατά την οποία ακόμα η τριβολογία δεν είχε καθιερωθεί σαν αυτόνομη επιστήμη, η τριβή η οποία ήταν συσχετισμένη με τις μηχανικές απώλειες του κινητήρα χαρακτηριζόταν κυρίως από τον συντελεστή τριβής (μ ή ί) ο οποίος μάλιστα δινόταν από πληθώρα παρόμοιων ημιεμπειρικών τύπων. Την περίοδο εκείνη, δεν ήταν σαφής η κατανομή των απωλειών λόγω τριβών μέσα στις μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ), δηλαδή δεν ήταν σαφή τα επιμέρους ποσοστά των μηχανικών απωλειών που αντιστοιχούσαν σε καθένα από τα τρία κυρίως υποσυστήματα του κινητήρα τα οποία είναι:

α)οι κύλινδροι όπου υπάρχουν απώλειες λόγω τριβών μεταξύ του εμβόλου και των δακτυλίων του με τον κύλινδρο,

β) η περιοχή των εδράνων του στροφαλοφόρου άξονα καθώς και των εδράνων των διωστήρων του και

γ)το σύστημα του εκκεντροφόρου άξονα με τα ωστήρια και τις βαλβίδες του.

Συγχρόνως εκείνη την εποχή, άρχισε η κατασκευή ειδικών πειραματικών μηχανών, κυρίως προσομοιωτών τριβής φθοράς εμβόλων δακτυλίων - κυλίνδρων με τα πρώτα βήματα στην Ιαπωνία (προσομοιωτής Furuhama - Hino motors) και τις Η.Π.Α. (προσομοιωτής Rogowski - Πανεπιστημίου M.I.T.) και στην συνέχεια στην Ευρώπη μετά από συνεργασία των εταιρειών Renault, Volvo, Fiat, WV και British Leyland.

Στους συγκεκριμένους προσομοιωτές έγιναν τα πρώτα βήματα πειραματικών μετρήσεων δυνάμεων τριβής κατά την διάρκεια ενός πλήρους κύκλου ΜΕΚ (κατάσταση firing) ή και κάτω από απλούστερες συνθήκες χωρίς την παρουσία όλων των χρόνων, δηλαδή με ανοιχτό το κάλυμμα της κεφαλής της ΜΕΚ (κατάσταση motoring). Συγχρόνως στο πεδίο της φθοράς εμφανίστηκαν μεθοδολογίες παρακολούθησης της μεταβολής της τραχύτητας μέσα στο πεδίο του χρόνου που βασίστηκαν κυρίως στην λεγόμενη καμπύλη του Abbott ή καμπύλη φέρουσας επιφάνειας.

Κατά την δεκαετία του 1980, στην αυτοκινητοβιομηχανία μετά την πετρελαϊκή κρίση εμφανίστηκε η ανάγκη βελτιστοποίησης του σχεδιασμού των κινητήρων με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας άρα και την μείωση των μηχανικών απωλειών. Έτσι αναπτύχθηκαν με βελτιωμένη μορφή θεωρίες που αφορούσαν κυρίως το θεωρητικό προσδιορισμό της τριβής με χρήση πολύπλοκων υπολογιστικών κωδίκων.

Οι ημιεμπειρικοί τύποι που σχετίζονταν με τους συντελεστές τριβής αντικαταστάθηκαν από συνδυασμό κυρίως δύο θεωριών, της **θεωρίας υδροδυναμικής λίπανσης παρουσία τραχύτητας των τεχνολογικών επιφανειών** (γενικευμένη θεωρία του Reynolds) και της **θεωρίας μελέτης τραχειών επιφανειών σε επαφή χωρίς λίπανση** (θεωρία Greenwood και Tripp). Στις δύο προαναφερθείσες θεωρίες η τραχύτητα πλέον λαμβάνεται υπόψιν σε τρείς διαστάσεις, δηλαδή εισάγεται ο όρος της ανισοτροπίας - ισοτροπίας της επιφάνειας. Επίσης γίνεται χρήση στατιστικών καμπυλών των κατανομών των υψομέτρων των σημείων των κατατομών για την υδροδυναμική θεωρία, ενώ στην δεύτερη θεωρία λαμβάνονται υπόψιν στατιστικές καμπύλες κατανομών των υψομέτρων των κορυφών των λοφίσκων των κατατομών καθώς και των ακτίνων καμπυλότητας των λοφίσκων αυτών.

Παράλληλα, συστηματική μελέτη της φθοράς των κυλίνδρων ΜΕΚ στους οποίους τελικά αποδίδεται 50 - 75 % των μηχανικών απωλειών μιας ΜΕΚ από το οποίο ποσοστό περίπου το 75% οφείλεται στην τριβή δακτυλίων - κυλίνδρου, έδειξε αφενός μια τάση μείωσης των τιμών χαρακτηριστικών μεγεθών τραχύτητας μέσα στο πεδίο του χρόνου που πλησιάζει μια λογαριθμική καμπύλη, όπως επίσης και μία έντονη διαφοροποίηση των χαρακτηριστικών της τραχύτητας κατά μήκος μιας γενέτειρας του κυλίνδρου με χαρακτηριστικές τις περιοχές : α) του άνω νεκρού σημείου (ΑΝΣ), β) του μέσου της διαδρομής και γ) του κάτω νεκρού σημείου (ΚΝΣ).

Εικόνα 1.1 Χαρακτηριστική τομή κυλίνδρου ΜΕΚ - Έμβολο - Ελατηριωτοί δακτύλιοι

Οι κύλινδροι των ΜΕΚ παρουσιάζουν τραχύτητα επιφάνειας με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, τα χαρακτηριστικά αυτά οφείλονται κυρίως στην μέθοδο κατεργασίας (Honing) και αφετέρου στην κινηματική του συστήματος του εμβόλου και των δακτυλίων του, που την διαμορφώνουν κατά την λειτουργία της Μ.Ε.Κ.

Εικόνα 1.2 Κατεργασία κυλίνδρου ΜΕΚ με την μέθοδο Honing.
(Αφαίρεση υλικού με 'κοπτικό εργαλείο' μη καθορισμένης γεωμετρίας)

Χαρακτηριστική θεωρείται η ανισοτροπία της τραχύτητας της επιφάνειας του κυλίνδρου που παρουσιάζει διαφορετικές ιδιότητες κατά την κατεύθυνση της γενέτειράς του σε σύγκριση με την περιφερειακή κατεύθυνση. Θεωρώντας, όπως προαναφέρθηκε ότι υπάρχουν κυρίως τρεις περιοχές της επιφάνειας του κυλίνδρου στις οποίες οι δυνάμεις επαφής και οι ταχύτητες μεταβάλλονται και διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους, κρίνεται απαραίτητη η μελέτη της μεταβολής των ιδιοτήτων της τραχύτητας λόγω φθοράς στις περιοχές αυτές.

Διακρίνονται λοιπόν και δίνονται προς μελέτη και ανάλυση :

1. Η περιοχή του άνω νεκρού σημείου (ΑΝΣ) η οποία χαρακτηρίζεται από υψηλό θερμοκρασιακό πεδίο και αυξημένη δύναμη επαφής λόγω της εκτόνωσης.
2. Η περιοχή στο μέσο της διαδρομής η οποία χαρακτηρίζεται από υψηλές γραμμικές ταχύτητες εμβόλων και υψηλή πιθανότητα υδροδυναμικής λίπανσης
3. Η περιοχή του κάτω νεκρού σημείου (ΚΝΣ) η οποία χαρακτηρίζεται κυρίως από τον μηδενισμό της ταχύτητας του συστήματος εμβόλου - δακτυλίου.

Προηγούμενες μελέτες σε σχέση με τον χαρακτηρισμό της τραχύτητας κυλίνδρου ΜΕΚ που μεταβάλλεται, όπως προαναφέρθηκε, με την λειτουργική φθορά του κυλίνδρου έχουν αναδείξει ότι η χρήση του στατιστικού μοντέλου Fisher - Pearson για την προσέγγιση των κατανομών των υψομέτρων των σημείων μιας κατατομής τεχνολογικής επιφάνειας είναι αρκούντως αποτελεσματική. Οι μελέτες μάλιστα αυτές εκτός των άλλων έδειξαν ότι οι περισσότερες κατανομές που σχετίζονται με την τραχύτητα κυλίνδρου ΜΕΚ ανήκουν στην κατηγορία των φραγμένων καμπυλών άνω και κάτω που περιγράφονται με το μαθηματικό τύπο :

$$\mathbf{f(x) = fo\ \ (x\text{-}\alpha\iota)^{(}\ Y^{U}\ \ (\alpha_2\text{-}\chi)^{<}v^{1)}}$$

όπου a\ κάτω όριο της κατανομής , &2 το άνω όριο της κατανομής και qi,q2 εκθέτες που υπολογίζονται με βάση την θεωρία Fisher - Pearson. Ο συντελεστής ίο υπολογίζεται για κάθε κατανομή έτσι ώστε το ολοκλήρωμα της f(x) από αϊ έως α2 να ισούται με την μονάδα.

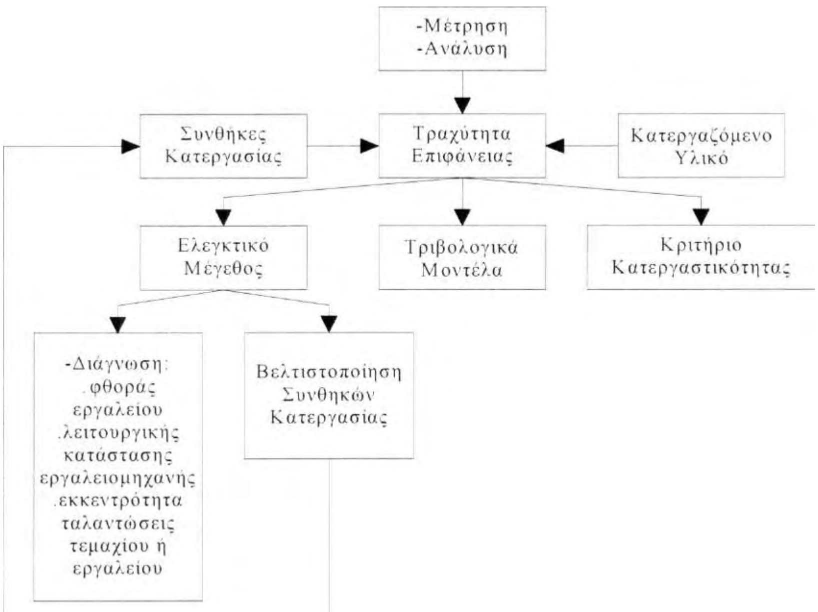
Η μεταβολή της τραχύτητας και των χαρακτηριστικών της μέσα στο πεδίο λειτουργίας της μηχανής εσωτερικής καύσης εμφανίζει μεγάλους ρυθμούς κατά τις πρώτες ώρες λειτουργίας, δηλαδή κατά το στρώσιμο. Θέτοντας κριτήρια απόρριψης της φθαρμένης τεχνολογικής επιφάνειας ενός κυλίνδρου ΜΕΚ το ζητούμενο είναι να μπορεί κανείς να προβλέψει με την δειγματοληπτική τραχυμέτρηση κατά μήκος της γενέτειρας του κυλίνδρου με συμβατικό τραχύμετρο (τύπου στυλίσκου) ή με οπτικό τραχύμετρο που είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί χωρίς να αποσυναρμολογηθεί ο κινητήρας μέσα από την οπή του σπινθηριστή.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η χαρτογράφηση μέσω μαθηματικής προσομοίωσης της κατατομής του κυλίνδρου κατά μήκος της γενέτειρας του και μάλιστα σε διαφορετικά στάδια φθοράς έτσι ώστε με βάση ένα πλήρες αρχείο πειραματικών δεδομένων να είναι δυνατή η ταξινόμηση συγκεκριμένου κυλίνδρου προς έλεγχο στο πεδίο φθοράς. Παράλληλα όλα τα χαρακτηριστικά της τραχύτητας με βάση κυρίως τις συναρτήσεις κατανομής των υψομέτρων χρησιμοποιούνται σε κώδικες θεωρητικής προσομοίωσης της τριβολογικής συμπεριφοράς του συστήματος "κύλινδρος - έμβολο - δακτύλιοι εμβόλου".

1.1 Συνήθη Προβλήματα Κατά τις Μετρήσεις Τραχύτητας Τεχνολογικών Επιφανειών

Η τραχύτητα επιφάνειας που προκύπτει από την εκτέλεση των ποικίλων κατεργασιών μορφοποίησης είναι ένα βασικό κριτήριο κατεργαστικότητας. Αποτελεί έτσι, ένα κρίσιμο παράγοντα παραδοχής ή απόρριψης των τελικών τεμαχίων. Είτε πρόκειται για ένα απλό διακοσμητικό αντικείμενο, είτε για ένα υψηλών απαιτήσεων λειτουργικότητας στοιχείο μηχανής (π.χ. οδοντωτό τροχό, στροφαλοφόρο άξονα, έδρανο) οι μετρήσεις τραχύτητας πρέπει να είναι ακριβείς και αντιπροσωπευτικές για την κάθε επιφάνεια. Μάλιστα, οι τραχυμετρήσεις σε διάφορες φάσεις του κύκλου παραγωγής επιτρέπουν εκτός από διαπίστωση σφαλμάτων στα αρχικά στάδια, έλεγχο και βελτιστοποίηση της κατεργασίας. Η τραχύτητα άλλωστε αποτελεί και ελεγκτικό μέγεθος σε προβλήματα αυτομάτου ελέγχου και διαγνωστικής δυσλειτουργιών ή βλαβών στα σύγχρονα συστήματα κατεργασιών.

Στην συνέχεια θα εστιαστούμε σε ορισμένα παραδείγματα συνήθων προβλημάτων, σφαλμάτων και παρανοήσεων που ανακύπτουν στις μετρήσεις και στην ανάλυση της τραχύτητας.



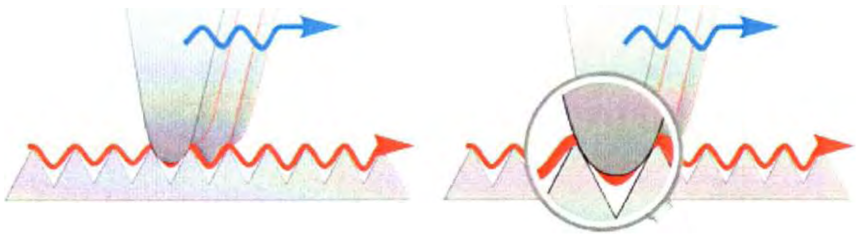
Σχήμα 1.1.1: Σημασία της τραχύτητας επιφάνειας σε σχέση με την παραγωγή και την έρευνα.

1.2 Ποιες Παράμετροι Προσδιορίζονται και τι Χαρακτηρίζουν ;

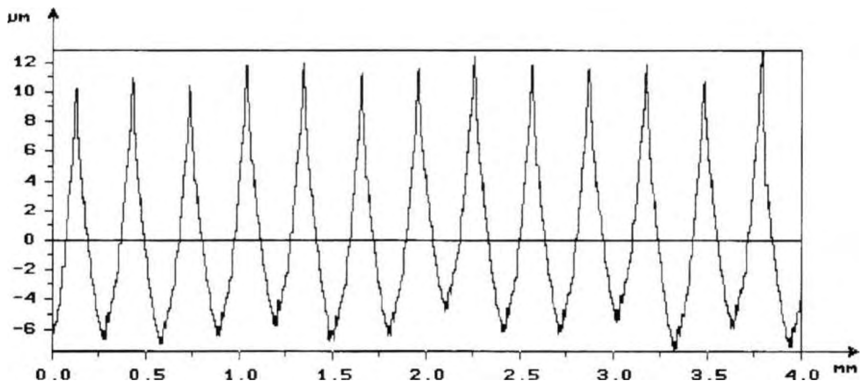
Παλαιότερα, ο καθορισμός της τραχύτητας κατεργασμένης επιφάνειας διεξάγετω καθαρά εμπειρικά, όσο και κατά υποκειμενικό τρόπο, δηλαδή με απλή οπτική επιθεώρηση ή επιθεώρηση διά αφής σε σύγκριση με πρότυπες επιφάνειες δεδομένου βαθμού τραχύτητας. Επομένως, δεν ήταν αναγκαίες στενές ανοχές, ούτε ο προσδιορισμός και ο συμβολισμός της τραχύτητας. Ο έλεγχος της τραχύτητας βελτιώθηκε με την εισαγωγή των αντιστραμμένων τριγώνων κατά DIN 140, όμως ο ποσοτικός προσδιορισμός επετεύχθη με τα πρότυπα ASA (1940) και BS (1950), όπου ορίζονται παράμετροι τραχύτητας, οι οποίες εκφράζονται αριθμητικά και μετρούνται από κατάλληλα όργανα (προφιλόμετρα). Οι πρώτες αριθμητικές παράμετροι, οι οποίες προτάθηκαν ήταν το μέγιστο ύψος και το μέσο ύψος τραχύτητας συμβολιζόμενες ως R_{niax} και R_a, αντιστοίχως. Η τελευταία μάλιστα έχει καθιερωθεί ως η πιο δημοφιλής παράμετρος. Το μεταγενέστερο πρότυπο ISO R468 (1966) εισηγείται τον υπολογισμό τριών παραμέτρων (**R_{ma}**x, Ra και R_7) παράλληλα με αναφορά στη σχετική κατεργασία κοπής. Όμως, ο χαρακτηρισμός της επιφάνειας μόνον υψομετρικά, με απόλυτες τιμές και αντίστοιχους μέσους όρους, έχει σαφείς περιορισμούς. Η σταθερότητα ή διακύμανση των τιμών της R_a μπορεί να επιτρέπει στοιχειώδη έλεγχο της κατεργασίας όμως δεν δίνει καμία πληροφορία για την μορφή της επιφάνειας.

Οι σύγχρονες υψηλές απαιτήσεις για μεγαλύτερη λειτουργική ακρίβεια και υψηλότερη διάρκεια ζωής των τεχνολογικών επιφανειών επιβάλλουν την θεώρηση και άλλων παραμέτρων, τόσο αριθμητικών, όσο και στατιστικών, που καταρχήν είχαν προταθεί σε ερευνητικές εργασίες για να περιγράψουν και άλλα χαρακτηριστικά της επιφάνειας καθ' ύψος και κατά μήκος. Ορισμένες τελικά υιοθετήθηκαν από το ISO 4287 (1997).

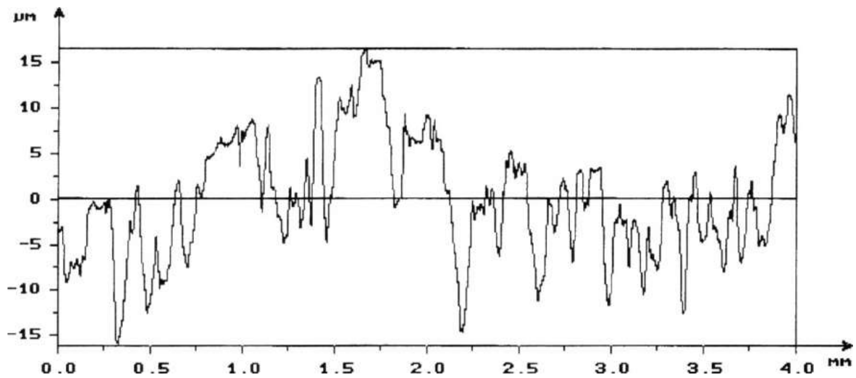
Η βασική διάκριση μεταξύ των παραγόμενων περιγραμμάτων εντοπίζεται σε περιοδικά και σε τυχαία (Σχήματα 1.2.2(a) και 1.2.2(β)). Τα πρώτα οφείλονται σε κατεργασίες με εργαλείο καθορισμένης γεωμετρίας (τόρνευση, φρεζάρισμα, πλάνισμα). Η υφή τους χαρακτηρίζεται από τα αποτυπώματα της ακμής του εργαλείου που ισαπέχουν κατά την τιμή της εκάστοτε εφαρμοζόμενης πρόωσης. Αυτό πάντως δεν ισχύει σε περιπτώσεις μη ομαλού σχηματισμού του αποβλήτου, όπως για ασυνεχές απόβλητο, ψευδόκοψη και σοβαρή φθορά του εργαλείου. Τα δεύτερα παράγονται από λειαντικές κατεργασίες ή μη συμβατικές κατεργασίες (π.χ. ηλεκτροδιάβρωση). Είναι σαφώς αναγνωρίσιμα αν και δύσκολα περιγράψιμα.



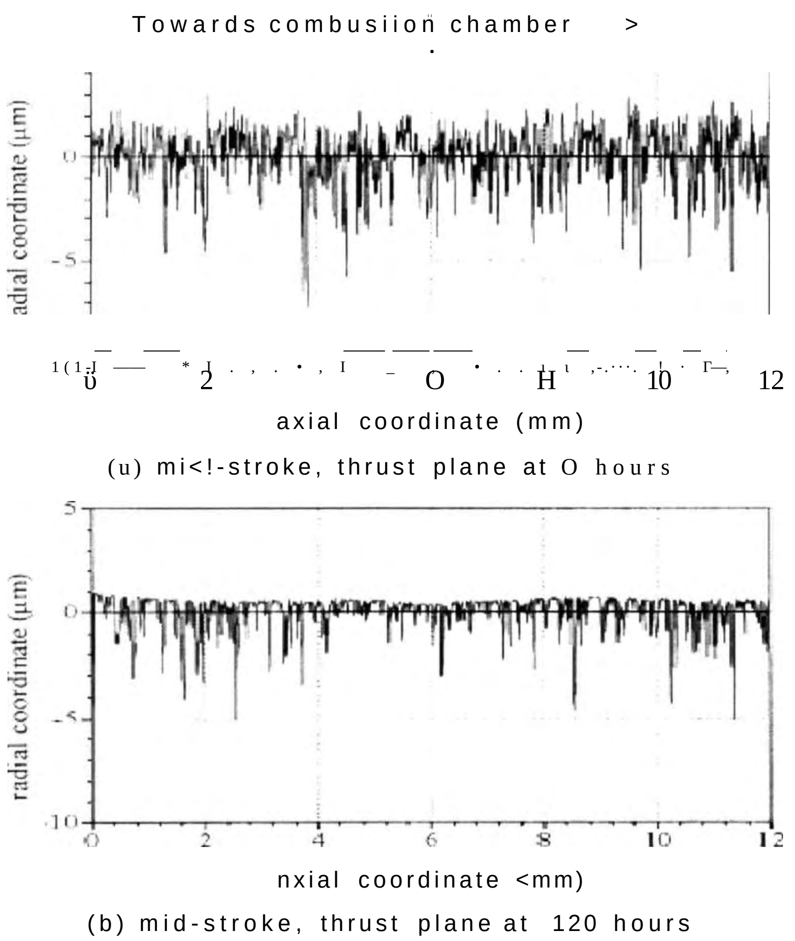
Σχήμα 1.2.1: Προσομοίωση διαμήκους τόρνευσης.



Σχήμα 1.2.2 (α): Περιοδικό περίγραμμα
s=0.32 mm.rev"^{1}, v=185 m.min"^{1}, R_a=3.82 μπι. R,=17.6 μιπ, R_{tr}=101.7 %, R_{DelQ}=10.7 ^{0}



Σχήμα 1.2.2 (β): Τυχαίο περίγραμμα
s=0.08 mm.rev"^{1}, v=20 m.min"^{1}, R_a=3.29 μιη, R_t=20.9 μιη, $R|_r$=102.9 %, R_{De}iQ=14.2 ^{0}



Σχήμα 1.2.3: Χαρακτηριστικά διαγράμματα από επιφάνειες κατεργασμένες με Honing α)σε αρχική κατάσταση και β) μετά από στρώσιμο

Εμπορικά λογισμικά λογικού κόστους που συνεργάζονται με τα σύγχρονα τραχύμετρα υπολογίζουν πάνω από 100(!) παραμέτρους. Από αυτές έως 6 χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία , αλλά και για έρευνα και ανάπτυξη.

Δεν υφίσταται λοιπόν πλέον η δυσκολία προσδιορισμού κάποιων παραμέτρων, αλλά από την άλλη πλευρά γεννιέται σύγχυση ως προς τις επιλέξιμες από αυτές βάσει ή όχι των προτύπων.

Επομένως, παίζει σημαντικό ρόλο η εξειδίκευση της παραγωγής του μηχανουργείου, η συμμόρφωση προς σύγχρονες προδιαγραφές επιφανειών και η κατάρτιση του τεχνικού προσωπικού του τμήματος του ποιοτικού ελέγχου.

Εδώ, πρέπει να τονιστούν τρία σημεία:

α) Οι παρανοήσεις μεταξύ συναφών παραμέτρων, όπως ανάμεσα σε R_a και R_q ή R, ,είναι συχνές και πρέπει να γίνονται οι αντίστοιχες διορθώσεις.

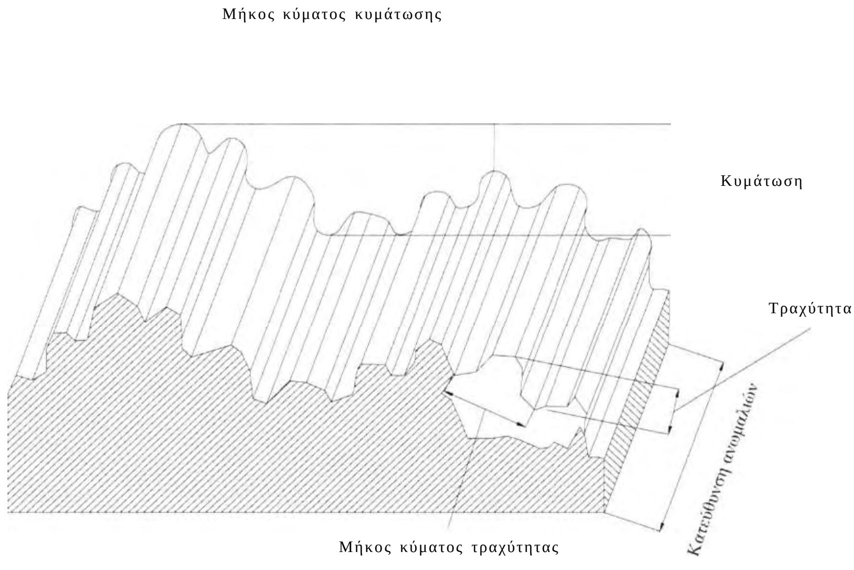
β) Δεν είναι εύκολη η επιλογή των παραμέτρων, καθώς υφίσταται άμεση εξάρτηση από την κατεργασία που προηγήθηκε, αλλά και την μετέπειτα λειτουργική (τριβολογική) συμπεριφορά της επιφάνειας.

γ) Πρέπει να συμπληρωθεί η έρευνα σχετικά με την αλληλεξάρτηση των εν χρήσει παραμέτρων για όσο το δυνατόν περισσότερες μηχανουργικές κατεργασίες και ευρεία περιοχή μεταβολής παραγόντων κοπής (πρόωση, ταχύτητα κοπής, γεωμετρία κοπτικού κ.ά.). Έτσι, θα προκύψει ένα ελάχιστο σύνολο ασυσχέτιστων μεταξύ των παραμέτρων που θα περιγράφει διαφορετικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας.

1.3 Επιλογή Αισθητηρίου (pick up)

Διατίθενται δύο τύποι αισθητηρίων: με πέδιλο και χωρίς πέδιλο. Το πέδιλο χαρακτηρίζεται από πολύ μεγαλύτερη ακτίνα καμπυλότητας σε σχέση με τον στυλίσκο και ακολουθώντας εφαπτομενικά το περίγραμμα της επιφάνειας δρα ως μηχανικό φίλτρο, το οποίο αποκόπτει την κυμάτωση (Σχήμα 1.3.1). Αυτό σημαίνει πως μόνο παραμέτρους τραχύτητας μπορούμε να μετρήσουμε. Με τα αισθητήρια χωρίς πέδιλο υπολογίζουμε αξιόπιστα όλα τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας (μακρογεωμετρικά και μικρογεωμετρικά). Άρα, πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη η διαφορά αυτή των δυνατοτήτων μέτρησης κατά την αγορά του αισθητηρίου.

Επίσης, υπάρχουν ευθέα και πλευρικά αισθητήρια, τα οποία χαρακτηρίζουν επίπεδες και καμπύλες επιφάνειες, αντιστοίχως. Το ζητούμενο, που όμως δεν έχει διευκρινιστεί, είναι αν τα πλευρικά αισθητήρια μπορούν να μετρήσουν αξιόπιστα επίπεδες επιφάνειες, κάτι που θα προσέφερε καλύτερη λύση.

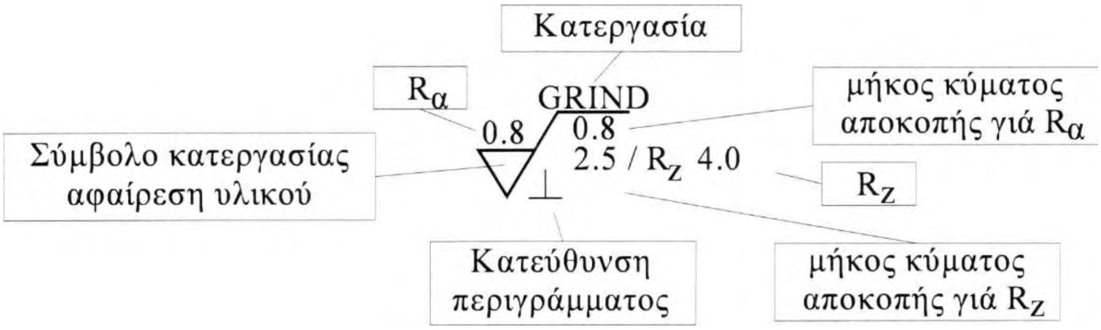


Σχήμα 1.3.1: Τοπογραφία κατεργασμένης επιφάνειας, ορισμός των χαρακτηριστικών μεγεθών επιφάνειας κατά ANSI/ASME B46.1 με βάση τον οποίο αναπτύσσεται η μετρολογία μικροεπιφανειών.

1.4 Επιλογή Μήκους Κύματος Αποκοπής (cut-off)

Ο στυλίσκος του τραχυμέτρου εκτελεί μία ρυθμιζόμενη προκαθορισμένη διαδρομή πάνω στην επιφάνεια του δοκιμίου. Πρέπει να γίνει διάκριση μεταξύ του συνολικού διαστήματος της τροχιάς του και του δειγματοληπτικού μήκους μέτρησης, το οποίο είναι μικρότερο από το πρώτο και συνίσταται από συνήθως 5 μήκη κύματος αποκοπής (Σχήμα 1.4.1). Αυτό το μήκος έχει αναγνωριστεί από δεκαετίες ως μείζον στοιχείο στην αποτίμηση της τραχύτητας, καθώς είναι το ελάχιστο μήκος όπου συλλέγονται τα δεδομένα της τραχυμέτρησης. Αν είναι μικρότερο από το αναγκαίο, ο χαρακτηρισμός της τραχύτητας δεν θα αντιπροσωπεύει το περίγραμμα, αν είναι πολύ μεγαλύτερο θα αποδίδει στην τραχύτητα μακρογεωμετρικά χαρακτηριστικά. Συστηματικά, η τελική επιλογή του μήκους κύματος αποκοπής συναρτάτε άμεσα προς την κατεργασία και την μορφή των περιγραμμάτων που αυτή παράγει, όπως φαίνεται στον Πίνακα 1.4.1. Σαφώς, η περιοδικότητα ή τυχαιότητα του περιγράμματος παίζει σημαντικό ρόλο και από το παράδειγμα που ακολουθεί συνάγεται ότι και οι συνθήκες κατεργασίας, όπως η πρόωση, επιβάλλουν διαφορετικές τιμές cut-off, ακόμη και κατά την ίδια κατεργασία. Ίσως, ένας πρακτικός κανόνας του να περιλαμβάνονται σε ένα μήκος κύματος αποκοπής 10-15 αποτυπώματα του εργαλείου δίνει μία συμβιβαστική λύση.

Μία συνιστώμενη τιμή αποκοπής παλαιότερα ήταν τα 0,8 mm (πρότυπο ANSI B46.1-1985), επειδή ήταν αποτελεσματική για πολλά είδη κατεργασιών, αλλά και με αρκετές εξαιρέσεις.



Σχήμα 1.4.1: Προδιαγραφή της τραχύτητας.

ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΗΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΑΠΟΚΟΠΗΣ (cutoff) λ_c			
DIN EN ISO 4288, ASME B46.1			
ΠΕΡΙΟΔΙΚΟ ΠΡΟΦΙΛ	**ΜΗ ΠΕΡΙΟΔΙΚΟ ΠΡΟΦΙΛ**		**cutoff**
Rsm **(mm)**	Rz **(μιη)**	Ra **(μηι)**	λρ **(mm)**
0.013 έως 0.04	έως 0.10	έως 0.02	0.08
0.04 έως 0.13	0.10 έως 0.50	0.02 έως 0.10	0.25
0.13 έως 0.4	0.5 έως 10	0.1 έως 2	0.80
0.4 έως 1.3	10 έως 50	2 έως 10	2.50
1.3 έως 4	50 έως 200	10 έως 80	8.00

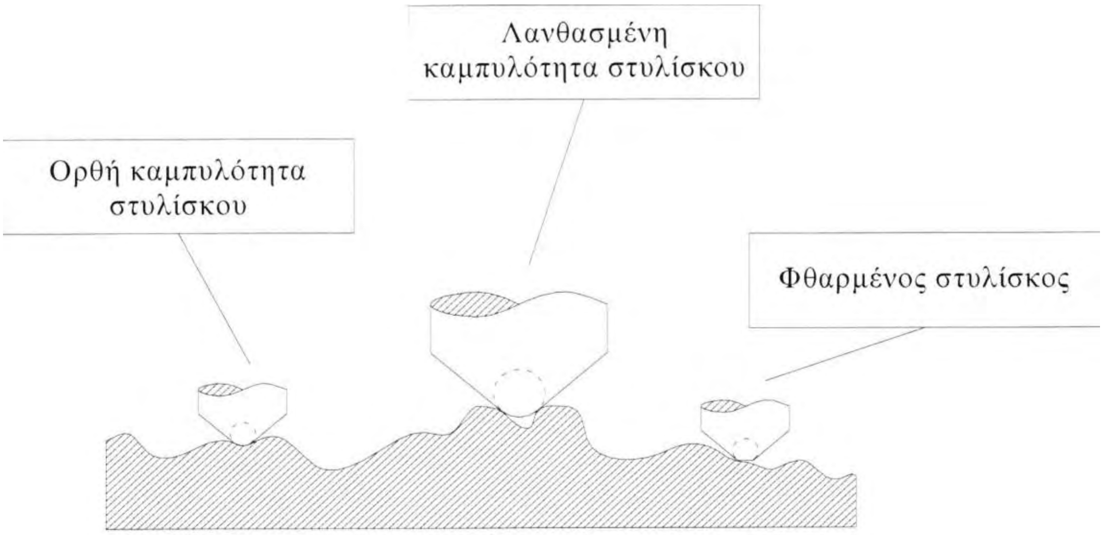
Πίνακας 1.4.1: Προτεινόμενα μήκη cutoff για διάφορες κατεργασίες.

1.5 Επιλογή Φίλτρου

Το σήμα που λαμβάνεται από το αισθητήριο πρέπει να φιλτραριστεί ηλεκτρονικά πριν γίνει η ψηφιακή επεξεργασία της μέτρησης, ούτως ώστε να παρέχονται οι χρήσιμες πληροφορίες και λεπτομέρειες για την τραχύτητα. Δηλαδή, το χρησιμοποιούμενο φίλτρο πρέπει να αποκόπτει την κυμάτωση και το σφάλμα μορφής με ταυτόχρονη μικρή παραμόρφωση φάσης. Το νεότερο φίλτρο είναι το Gauss (ISO 11562), που είναι βελτιωμένο σχετικά με το παλαιότερο αναλογικό 2RC. Οι σύγχρονες προδιαγραφές ταχύτητας αποπεράτωσης καθορίζουν τον τύπο του φίλτρου. Δεδομένου ότι η εφαρμογή διαφορετικού φίλτρου αλλοιώνει τις τιμές των παραμέτρων επιβάλλεται η διασαφήνιση του θέματος αυτού από τον σχεδιαστή- κατασκευαστή. Βεβαίως, η επιλογή του κατάλληλου φίλτρου έχει ιδιαίτερη σημασία σε ερευνητική αντιμετώπιση θεμάτων, όπως ο έλεγχος της κατεργασίας, τριβολογικές ιδιότητες (τριβή-φθορά-λίπανση), διαγνωστική της κατάστασης της εργαλείομηχανής κλπ.

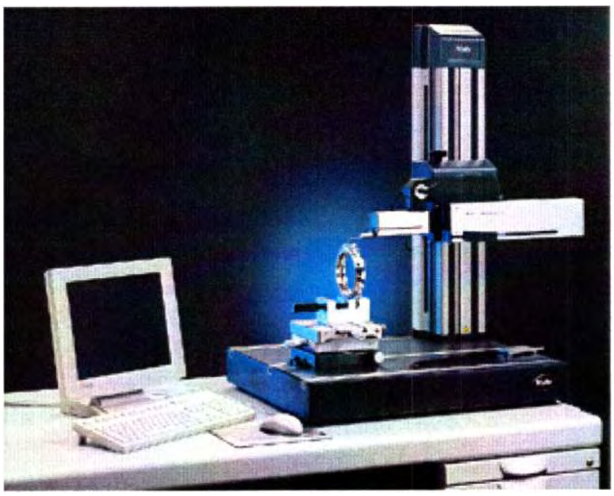
1.6 Μέγεθος Στυλίσκου

Οι ακτίνες καμπυλότητας των στολίσκων του εμπορίου κυμαίνονται από 2 μιτι έως 10 μιτι. Υπάρχει αντιστοιχία ανάμεσα στην καμπυλότητα και στην ιχνηλασία πολύ μικρών ανωμαλιών του περιγράμματος, όπως και στην δυνατότητα χάραξης της επιφάνειας του δοκιμίου. Ο μεγάλης καμπυλότητας στυλίσκος, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.6.1 αδυνατεί να διακρίνει ιδιαίτερες λεπτομέρειες (πολύ μικρά μήκη κύματος). Αντιθέτως, η πίεσή του επί της επιφάνειας αυξάνει και μπορεί να χαράξει μαλακά υλικά, όπως: πλαστικά, ελαστομερή, μόλυβδο κ.ά. Σε τέτοιες περιπτώσεις άλλωστε πρέπει να είναι ελαττωμένο και το φορτίο «ανάγνωσης» του στυλίσκου.



Εικόνα 1.6.1(α): Καμπυλότητα στυλίσκου – φθορά στυλίσκου.

Εικόνα 1.6.1 (β): Καμπυλότητα στυλίσκου - φθορά στυλίσκου.



Εικόνα 1.6.2: Τραχύμετρο τύπου στυλίσκου.

1.7 Χρήση Φθαρμένου Στυλίσκου

Το υλικό κατασκευής του στυλίσκου, φυσικό ή τεχνητό διαμάντι, είναι πολύ σκληρό, αλλά και έχει χαμηλή δυσθραυστότητα. Κατά συνέπεια, εφόσον δεν αποφεύγονται και οι κρούσεις με το δοκίμιο κατά τις μετρήσεις, απολεπίσεις ή θραύση είναι αναμενόμενες μετά από κάποιο χρονικό διάστημα χρήσης. Σε αυτή την περίπτωση ο στυλίσκος δεν διεισδύει επαρκώς και τούτο διαπιστώνεται από τις εσφαλμένες τιμές των παραμέτρων. Αν υπάρχει υποψία φθοράς μπορεί αυτή να διαπιστωθεί με ένα μηχανουργικό μικροσκόπιο (χαμηλής ισχύος) ή με μέτρηση του προτύπου πλακιδίου διακρίβωσης.

1.8 Λανθασμένη Κατεύθυνση ή Θέση Μέτρησης

Σε πολλές κατεργασίες εξ αιτίας της κινηματικής τους το κοπτικό εργαλείο αφήνει το αποτύπωμά του προς καθορισμένες διευθύνσεις, δηλαδή η επιφάνεια αποκτά προσανατολισμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (Σχήμα 1.2.3). Κατά μία διεύθυνση θα εμφανίζεται η μέγιστη τιμή εύρους της τραχύτητας (κάθετη στην ταχύτητα κοπής), ενώ η κάθετη σε αυτήν διεύθυνση εμφανίζει την ελάχιστη τραχύτητα. Επομένως, οι ιδιότητες αυτές δεν πρέπει να αγνοούνται για να μην υποεκτιμάται η τραχύτητα. Ο προσανατολισμός είναι δυνατόν να μεταβληθεί σε περίπτωση έντονων ταλαντώσεων ή φθοράς του εργαλείου.

Εκτός από την κατεύθυνση μερικές φορές έχουν σημασία και οι θέσεις μέτρησης στην επιφάνεια, οι οποίες εξαρτώνται από φθορά του εργαλείου και δυναμικά φαινόμενα. Εια παράδειγμα, η τραχύτητα κατά μήκος ενός τορνευμένου άξονα επιδεινώνεται αν δεν έχει αλλαχθεί το κοπτικό. Ή κατά φρεζάρισμα με μεγάλο βάθος κοπής ή σε χαμηλής ισχύος φρεζομηχανή (άρα και χαμηλής στιβαρότητας) υφίσταται ανομοιογένεια των τιμών τραχύτητας σε διάφορες θέσεις.

1.9 Ύπαρξη Επιφανειακών Ελαττωμάτων

Υπάρχει πιθανότητα να ευρεθούν στην επιφάνεια σχισίματα, πόροι ή και ρωγμές, που δεν οφείλονται στην κατεργασία ή δεν είναι αντιπροσωπευτικά της κατεργασίας π.χ. τραυματισμός της επιφάνειας κατά την απόσυρση του τεμαχίου από την εργαλείομηχανή. Με τα φορητά τραχύμετρα που υπολογίζουν μία ή δύο παραμέτρους ή για παλαιά όργανα χωρίς λογισμικό η μόνη λύση είναι η αποφυγή τέτοιων περιοχών πριν ληφθεί η μέτρηση. Με την υποστήριξη των σύγχρονων λογισμικών μέτρησης της τραχύτητας μπορεί το ελάττωμα να απαλειφθεί κατά την ανάλυση και να μην επηρεάσει την τελική αποτίμηση.

Επίσης, μία άλλη αιτία είναι η διάβρωση, χημική ή φυσική, που οφείλεται στο περιβάλλον π.χ. ταχεία οξείδωση της επιφάνειας αν η μέτρηση διεξαχθεί καθυστερημένα. Σε αυτή την περίπτωση μεταβάλλονται οι κορυφές των ανωμαλιών και επηρεάζονται κατά περίπτωση οι παράμετροι. Η έκταση της οξείδωσης εξαρτάται και από το υλικό π.χ. μεγάλη έκταση σε χάλυβα, σημειακή (spots) σε κράμα αλουμινίου.

1.10 Ταλαντώσεις Κατά την Μέτρηση

Αν το τραχύμετρο, και αυτό είναι σύνηθες, λειτουργεί μέσα σε μηχανουργείο είναι δυνατόν οι μετρήσεις να επηρεάζονται από ταλαντώσεις. Συγκεκριμένα, ταλαντώσεις που προέρχονται από την λειτουργία παρακείμενων εργαλειομηχανών μεταδίδονται μέσω του δαπέδου και διεγείρουν τον στολίσκο με αποτέλεσμα την παραποίηση του σήματος του περιγράφοντας την επιφάνεια και επακόλουθη μείωση της αξιοπιστίας και της επαναληψιμότητας της μέτρησης. Οι πηγές των ταλαντώσεων αναγνωρίζονται μάλλον εύκολα, εκτός αν είναι χρονικά απρόβλεπτες π.χ. διέλευση βαρέων οχημάτων από γειτονικό δρόμο και η λύση μπορεί να είναι η τοποθέτηση του τραχυμέτρου πάνω σε ένα βαρύ τραπέζι ή αν η ταλάντωση είναι εντονότερη, η έδραση με αντικραδασμικά πέλματα. Φυσικά, πρέπει να καταβληθεί προσπάθεια δραστικής μείωσης των ταλαντώσεων σε ένα μηχανουργικό περιβάλλον διότι καταπονούνται και οι ίδιες οι εργαλείομηχανές με κίνδυνο εμφάνισης αστοχιών (πλαστικές παραμορφώσεις μερών, ρωγμές κ.ά.).

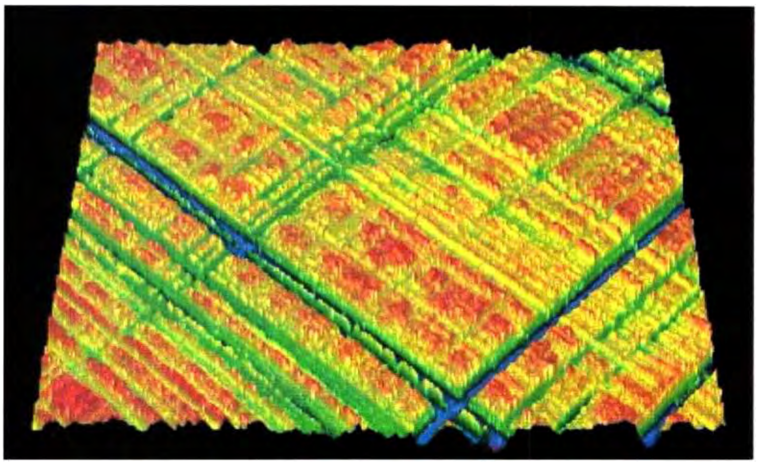
1.11 Ασυμβατότητα Λογισμικών Μέτρησης

Η πληθώρα λογισμικών που διατίθεται για την μέτρηση των παραμέτρων από διάφορους οίκους κατασκευής τραχύμέτρων έχει καταστήσει την ανάλυση της τραχύτητας προσιτή σε βιομηχανικούς χρήστες και ερευνητές. Έχει δημιουργήσει όμως και προβλήματα, καθώς δεν είναι δυνατό για εμπορικούς λόγους να έχει κάποιος πρόσβαση στον πηγαίο κώδικα αυτών των προγραμμάτων και να εξακριβώσει πώς υπολογίζεται η κάθε παράμετρος. Το αποτέλεσμα είναι προφανώς ασυμφωνία μεταξύ ομοειδών μετρήσεων που επηρεάζει περισσότερο τις απαιτήσεις ακρίβειας και επικοινωνίας ανάμεσα σε ομάδες που δραστηριοποιούνται σε αυτό το πεδίο. Καταβάλλεται προσπάθεια θέσπισης ενός κοινού format δεδομένων, το οποίο θα γίνει γενικά αποδεκτό.

1.12 Νέες Εξελίξεις στην Οργανολογία

Τα τραχύμετρα τύπου στυλίσκου είναι καθιερωμένα στην βιομηχανική και εργαστηριακή πρακτική και κατά βάση παρέχουν δυσδιάστατη απεικόνιση της επιφάνειας, η οποία είναι επαρκής για αρκετές κατεργασίες. Οι δυνατότητες των σύγχρονων τραχυμέτρων επιτρέπουν αξιόπιστο γεωμετρικό προσδιορισμό για την πλειονότητα των τεχνολογικών επιφανειών και το κόστος τους, όπως και του συνοδεύοντος λογισμικού, είναι σαφώς προσιτό. Στην πραγματικότητα η επιφανειακή τοπογραφία είναι τριών διαστάσεων και υπάρχουν περιπτώσεις όπου η εξέταση μιας τομής κάθετα προς τον προσανατολισμό του αποτυπώματος του εργαλείου δεν είναι ικανοποιητική. Επομένως, ένας τρισδιάστατος υψομετρικός χάρτης θα περίγραφε καλύτερα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της επιφάνειας και θα προσέφερε νέες δυνατότητες.. Προς την κατεύθυνση αυτή υπάρχουν οπτικά τραχύμετρα (εικόνα 1.12.1) που σαρώνουν την επιφάνεια και εξάγουν τρισδιάστατες τοπογραφικές παραστάσεις. Εια την αποτίμηση της τραχύτητας ορίζονται νέες παράμετροι αντίστοιχες με του δυσδιάστατου χαρακτηρισμού π.χ. S_a αντί R_a, αλλά και παράμετροι που δεν ορίζονται σε δύο διαστάσεις, όπως η Std που περιγράφει την κατευθυντικότητα του περιγράμματος.

Η αντιμετώπιση αυτή επιβάλλεται και από λειτουργικές απαιτήσεις και θα έδινε ώθηση σε νέα αντιμετώπιση φαινόμενων όπως η λίπανση και η φθορά. Ο κύκλος των μετρήσεων διεξάγεται ταχύτερα συγκριτικά με τα μηχανικά όργανα, παρουσιάζουν πάντως και αυτά προβλήματα, όπως συχνά σφάλματα λόγω διάχυσης και συμβολής.



Εικόνα 1.12.1: Τραχυμέτρηση ανισότροπης επιφάνειας με οπτικό τραχύμετρο.

1.13 Συμπεράσματα - Κατευθύνσεις

Όπως παρουσιάστηκαν ανωτέρω, τα προβλήματα που παρουσιάζονται κατά τις τραχυμετρήσεις είναι διττού χαρακτήρα: συνδέονται με μετροτεχνικά χαρακτηριστικά ή και αδυναμίες και από την άλλη πλευρά με επιλογές του χρήστη τεχνικού.

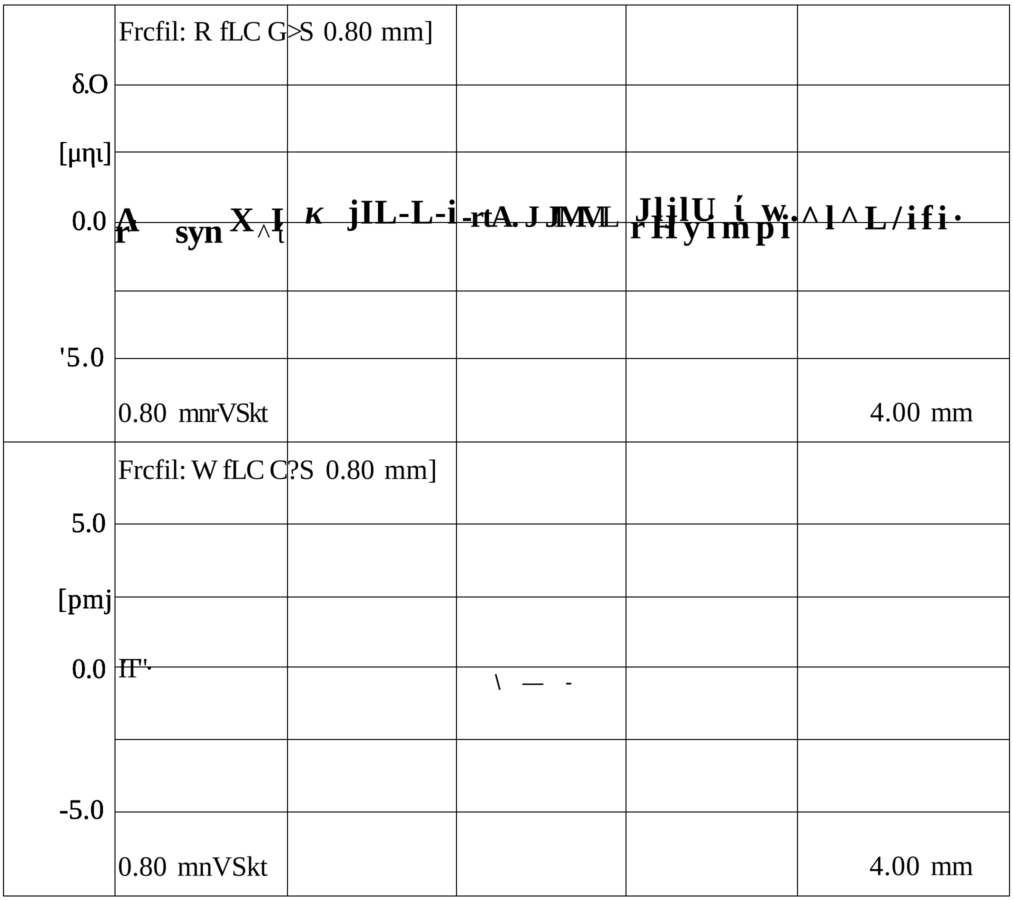
Κατά συνέπεια, είναι αναγκαία η ενημέρωση για τις δυνατότητες των συστημάτων μέτρησης τραχύτητας (συσκευή εργαστηριακή ή φορητή, αισθητήριο, στυλίσκος, λογισμικό) στο στάδιο προμήθειάς τους, διότι αυτές συμπορεύονται με τις απαιτήσεις της βιομηχανίας και της έρευνας. Οποιαδήποτε βελτίωση της επιτυγχανόμενης τραχύτητας, που απαιτεί με την σειρά της καλύτερο και συνεπώς ακριβότερο εξοπλισμό, επιβαρύνει το κόστος των παραγόμενων προϊόντων και επομένως είναι θέμα καθαρά των αιτούμενων προδιαγραφών. Πάντως, δέον να τονιστεί η σημασία των μετρήσεων και της ανάλυσης των κατεργασμένων επιφανειών, ως τομέα της τεχνολογικής επιστήμης της Μετρολογίας, η οποία με μεγάλη καθυστέρηση έχει εκτιμηθεί στη χώρα μας και είναι απαραίτητη για λόγους συντήρησης, παραγωγής και ανάπτυξης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ ΚΥΛΙΝΔΡΩΝ Μ,Ε,Κ
&
ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ FISHER • PEARSON

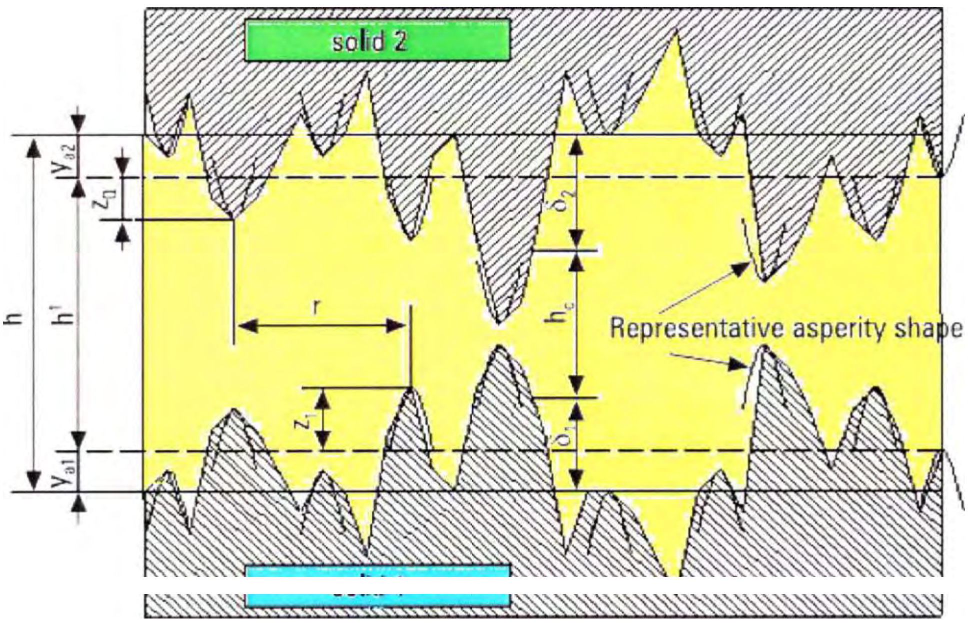
2.1 Τραχύτητα Τεχνολογικών Επιφανειών - Παράμετροι

Βάση για το παρόν κεφαλαίο αποτέλεσε μια σειρά δεδομένων από την βιβλιογραφία που σχετίζονται με το χαρακτηρισμό των τραχειών επιφανειών σε διάφορα στάδια φθοράς τους όπως φαίνεται στα διαγράμματα που ακολουθούν.



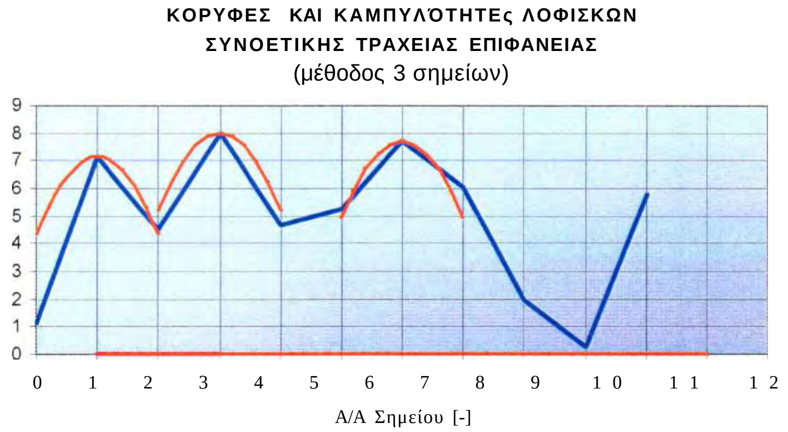
Σχήμα 2.1.1 . Χαρακτηριστικά περιγράμματα τεχνολογικής επιφάνειας, διαχωρισμός τραχύτητας (α-roughness) και κυμάτωσης (β-waviness).

Στο σχήμα 2.1.2 παριστάνεται λεπτομέρεια επαφής μεταξύ δύο λιπαινόμενων τραχειών επιφανειών. Το ανάλογο αυτής της απεικόνισης αναφέρεται σε επαφή μεταξύ λείας επιφάνειας και μιας συνθετικής τραχείας η οποία εμφανίζει τραχύτητα ίση με το άθροισμα των τραχυτήτων των δύο τραχειών επιφανειών σε επαφή. Νέο στοιχείο το οποίο λαμβάνεται υπόψη και εμφανίζεται στο σχήμα 2.1.2 είναι η διάκριση δύο πληθυσμών, **του πληθυσμού όλων των σημείων** της κατατομής που αναφέρεται στο πάχος της λιπαντικής μεμβράνης, άρα στον υδροδυναμικό χαρακτήρα της λίπανσης(εξίσωση Reynolds/Patir-Cheng) και στο πληθυσμό των κορυφών των λόφων που σχετίζεται με τις επαφές(ελαστικές ή πλαστικές παραμορφώσεις) μεταξύ των στερεών (Greengood-Tripp). Ο δεύτερος πληθυσμός αναφέρεται στη μη υδροδυναμική συνιστώσα της τριβής. Παράλληλα ένας τρίτος πληθυσμός που λαμβάνεται υπόψη είναι αυτός των ακτίνων καμπυλότητας των κορυφών των λοφίσκων, ο μέσος όρος των οποίων χρησιμοποιείται ως συμπληρωματικό δεδομένο στο συγκεκριμένο μοντέλο.

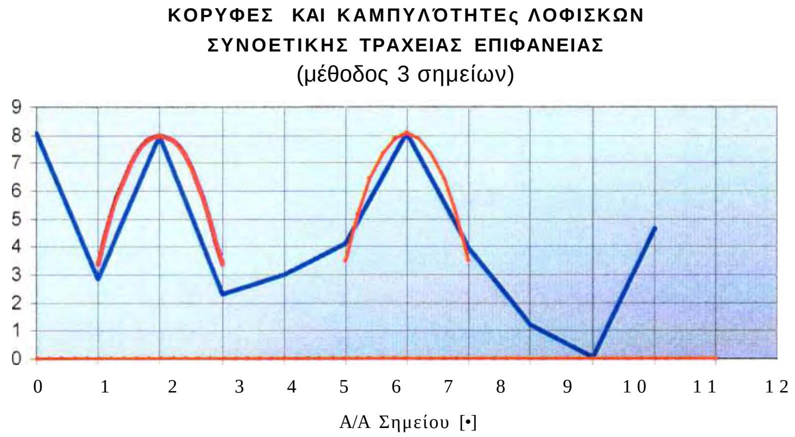


Σχήμα 2.1.2 Χαρακτηριστικά πληθυσμών σημείων κατατομής κορυφών λόφων και ακτίνων καμπυλότητας λόφων (Patir-Cheng/Greengood-Tripp).

Στα παρακάτω σχήματα, φαίνονται οι αντιπροσωπευτικές μορφές λόφων για τις οποίες με τη μέθοδο των τριών σημείων έχει υπολογιστεί και τοποθετηθεί η απόληξη της μορφής του λοφίσκου με χρώμα ερυθρό.



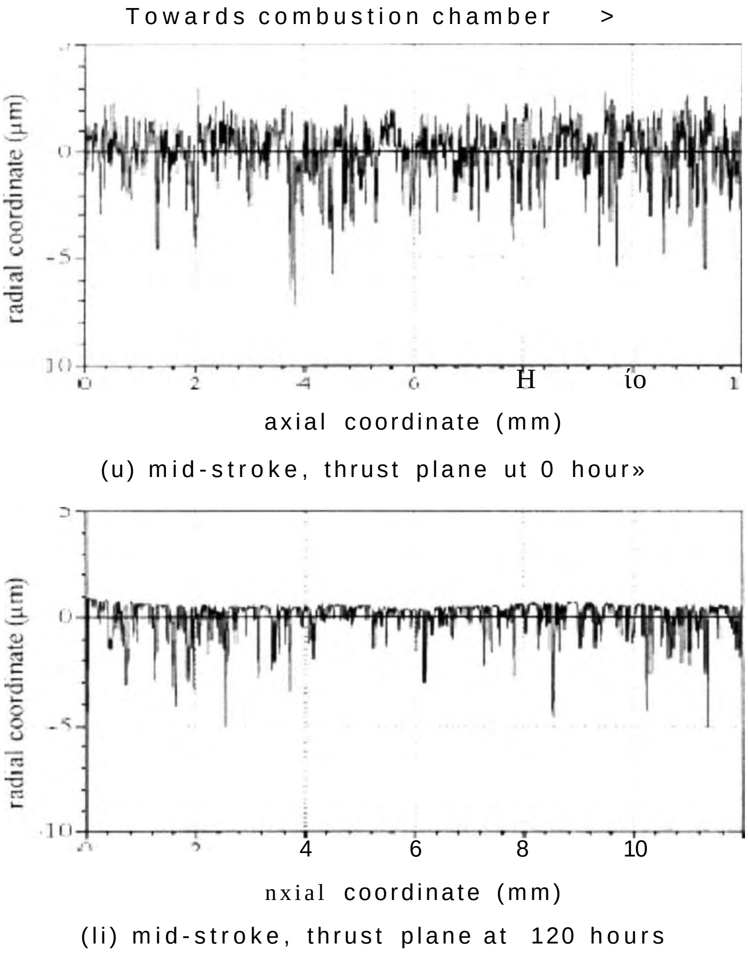
(α)



(β)

(γ)

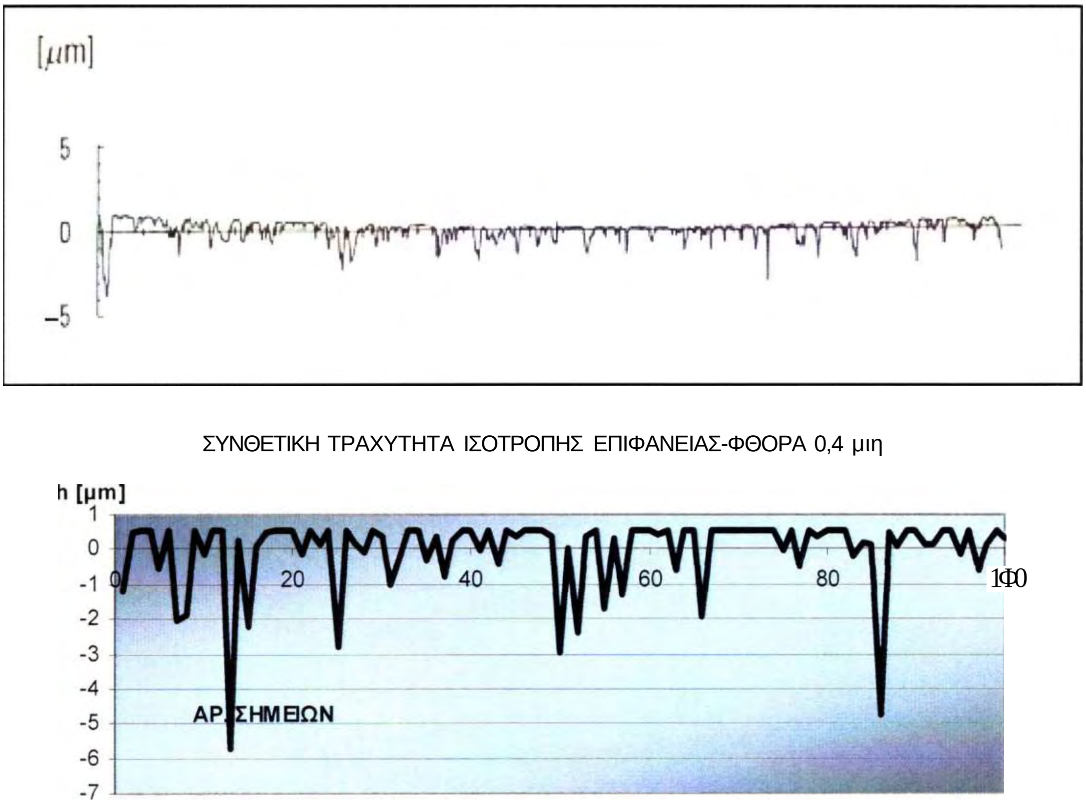
Σχήμα 2.1.3 Λεπτομέρειες τραχείας επιφάνειας κυλίνδρου ΜΕΚ που καταδεικνύουν τη μέθοδο υπολογισμού της μέσης ακτίνας καμπυλότητα (τρία σημεία).



Σχήμα 2.1.4 Χαρακτηριστικά διαγράμματα από επιφάνειες κατεργασμένες με Honing α)σε αρχική κατάσταση και β) μετά από στρώσιμο

Επειδή θεωρήθηκε δόκιμο να πραγματοποιηθεί μεγάλος αριθμός μετρήσεων τραχειών επιφανειών έγινε προσπάθεια που είχε θετικό αποτέλεσμα χρήσης συνθετικών τραχυτήτων με συγγενή χαρακτηριστικά. Οι τραχυμετρήσεις που ταξινομήθηκαν και αρχειοθετήθηκαν στο εργαστήριο κατεργασιών κατά την δεκαετία 2000 - 2010 αποτέλεσαν αφενός λόγω του μεγάλου αριθμού τους αλλά και των διαφορετικών περιοχών κυλίνδρων ΜΕΚ διαφορετικών τύπων μια σημαντικότατη βάση δεδομένων που στηρίζει την διαδικασία που ακολουθήθηκε.

Από τη βιβλιογραφία και προηγούμενες μελέτες αποδείχθηκε η επιτυχής προσέγγιση ιστογραμμάτων πληθυσμών με ασύμμετρα χαρακτηριστικά ,με τη βοήθεια του συστήματος Fisher-Pearson όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί. Στοιχεία από τους πληθυσμούς που αντιπροσωπεύουν οι καμπύλες αυτές δίνονται στο σχήμα που ακολουθεί και σχετίζονται με δεδομένα που απαιτούνται κατά τη θεωρητική προσομοίωση είτε με το μοντέλο Greengood -Tripp (επαφές λοφίσκων) [4-7], είτε για το μοντέλο Patir και Cheng (υδροδυναμική συμπεριφορά παρουσία τραχύτητας) [12,13],



Σχήμα 2.1.5 Χαρακτηριστικό παράδειγμα κατατομών επιφάνειας κυλίνδρου ΜΕΚ σε κατάσταση μετά το στρώσιμο (βιβλιογραφία Renault-Πανταζάρας [8-11]) και συνθετική τραχύτητα - Πρόταση της παρούσας διπλωματικής.

[μπ

5

-5

(a)

|/im]

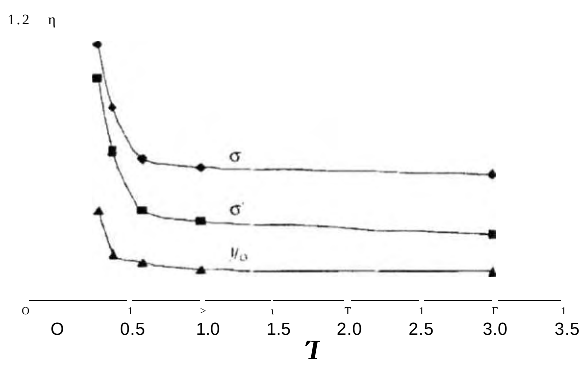
O ·

:

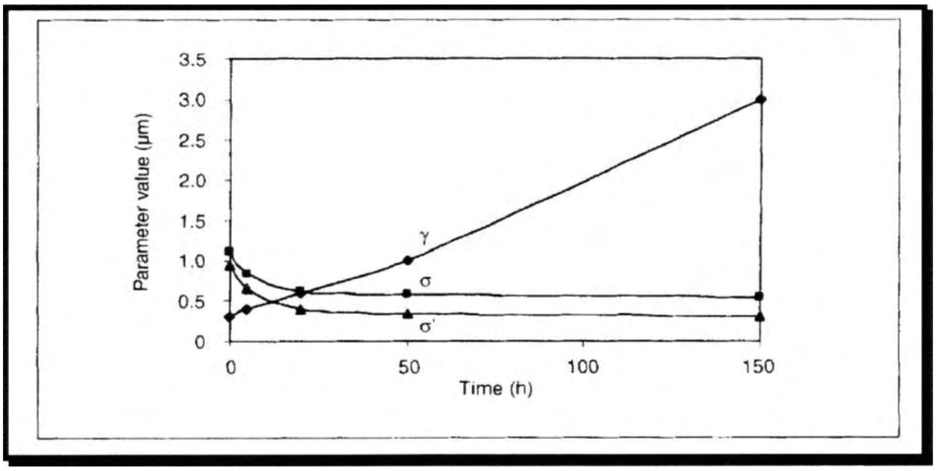
-5

(β)

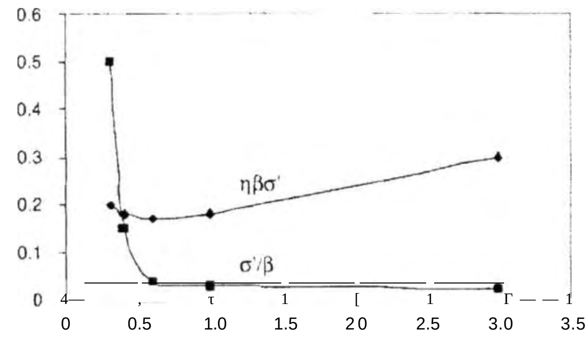
Σχήμα 2.1.6 (α) Κατανομή υψομέτρων σημείων κατατομής προηγουμένου σχήματος και (β) Κατανομή υψομέτρων κορυφών λόφων κατατομής προηγουμένου σχήματος (βιβλιογραφία Renault- Πανταζάρας [8-11])



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 2.1.7 Χαρακτηριστικά διαγράμματα μεταβολής μη τυποποιημένων παραμέτρων τραχύτητας στο πεδίο του χρόνου (βιβλιογραφία tribotest, Πανταζάρας-Πετρόπουλος).

$\sigma=\sigma_{\rho o}$ η τυπική απόκλιση του πληθυσμού όλων των σημείων της κατατομής

$'\sigma=\sigma_{\rho\iota}$ η τυπική απόκλιση του πληθυσμού των κορυφών των λόφων της κατατομής ή η πυκνότητα κορυφών λόφων(αριθμός λόφων ανά μονάδα επιφάνειας)

B : μέσος όρος πληθυσμού ακτίνων καμπυλότητας κορυφών λοφίσκων

yo : απόσταση μεταξύ μέσων τιμών υψομέτρων των δύο προαναφερθέντων πληθυσμών σημείων και κορυφών

Παρατηρήσεις

A) Είναι σαφής η μείωση των τιμών των παραμέτρων κυρίως κατά την πρώτη φάση φθοράς- στρώσιμο, δεν είναι σαφής η φάση φθοράς που θα μπορούσε να θεωρηθεί οριακή και κρίσιμη λόγω σταθερότητας των τιμών μέσα στο πεδίο του χρόνου για μεγάλο χρονικό διάστημα.

B) Καθίσταται σαφής η διαφοροποίηση της ανισοτροπίας της τραχύτητας με τη φθορά.

E) Μη τυποποιημένες παράμετροι σχετικές με πυκνότητα λοφίσκων και καμπυλότητα λοφίσκων. Απαιτούνται για την τροφοδότηση του μοντέλου Greengood και Tripp

2.2 Στατιστικό Σύστημα Περιγραφής Τραχύτητας Fisher - Pearson

Το κριτήριο του **Pearson,** το οποίο μάλιστα εμφανίζει μεγάλη ευαισθησία ως προς την ασυμμετρία της καμπύλης κατανομής, έχει αποδειχθεί ότι είναι δυνατό να συνεισφέρει στην ταξινόμηση των υπό μελέτη πληθυσμών (υψομέτρων σημείων, υψομέτρων κορυφών λόφων και των ακτινών καμπυλότητας κορυφών λόφων).

Σύμφωνα με το κριτήριο αυτό η παράμετρος **k** καταδεικνύει αν η κατανομή είναι φραγμένη ή όχι όπως αυτό φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί

K<0	Καμπύλη κατανομής άνω και κάτω φραγμένη		$\alpha,\ \alpha_2$
0<k<l	Κατανομή χωρίς φράγμα άνω και κάτω		-00 +00
l<k	Καμπύλη κατανομής έχει ένα φράγμα (άνω ή κάτω)	K >0 ϊχ <0	a +co -co α

Όπου γ_χ είναι η παράμετρος <u>«skewness» (ένδειξη συμμετρίας-ασυμμετρίας)</u> σύμφωνα με το κριτήριο του Fisher. **Κατά κανόνα η παράμετρος k είναι αρνητική** και το γεγονός αυτό αποδεικνύεται και στην παρούσα εργασία για τις συγκεκριμένες τεχνολογικές επιφάνειες (κύλινδροι-χιτώνια ΜΕΚ).

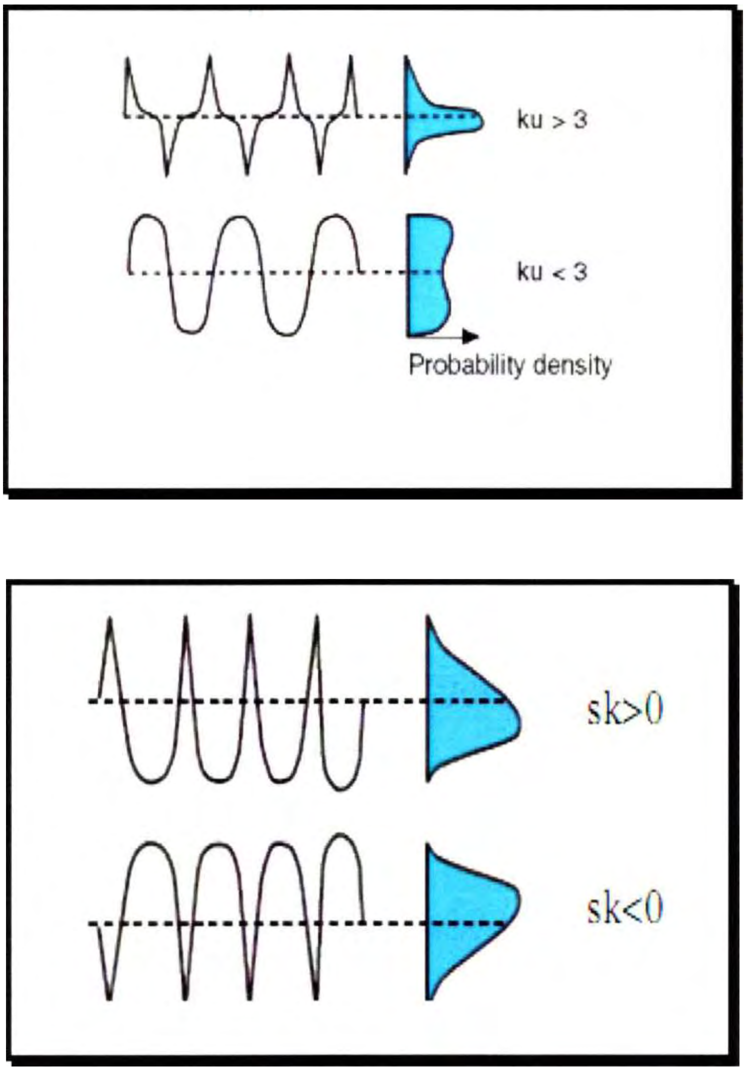
Η παράμετρος **k** δίνεται από την σχέση:

$$k = \frac{\beta_1(\beta_2+3)^2}{4(4\beta_2-3\beta_1)(2\beta_2-3\beta_1-6)}$$

Συντελεστές του Pearson και του Fisher - Αρχή της μεθόδου:

$\beta_1 = \gamma_1^2$ και $\beta_2 = \gamma_2 + 3$ όπου γ_2 είναι η κύρτωση (<u>«kurtosis»</u>) σύμφωνα με το κριτήριο του **Fisher.**

Διάφορες κατατομές τεχνολογικών επιφανειών με συναρτήσεις κατανομών που διαφοροποιούνται ως προς τα χαρακτηριστικά τους (skewness - kurtosis) δίνονται παρακάτω.



Σχήμα 2.2.1 Διάφορες κατανομές τραχύτητας με ασύμμετρο χαρακτήρα διαφορετικών μορφών (τιμές kurtosis - skewness).

2.3 Οικογένειες Καμπυλών

Σύμφωνα με το κριτήριο αυτό, η καμπύλη της κατανομής πιθανότητας στην περίπτωση γ, > 0 δίνεται από τη σχέση:

$$f = f_0 (x - a_J)^q \wedge (a_2 - x Y^{2 \sim J}$$

Όπου ο,, α_2 τα δύο όρια και qi, q2 εκθέτες ως ακολούθως:

$$q_i = \frac{r_{„}}{2}\left(' i \, l \wedge \frac{FT}{} \right). \qquad q = r \, " q \, ' \qquad "" \quad \Gamma = \frac{6(\beta, -\beta, -1)}{3\beta_1" - 2\beta_2 + 6}$$

Τα δύο όρια (κάτω και άνω) δίνονται στη συνέχεια:

$$\alpha, = x \overline{^{W<1]}}-, \qquad a, = w - a_t \qquad \text{και} \quad w = 2\text{-}\wedge/s^2 (1 - k)(l + r)$$

Και fo δίνεται από τη σχέση : $/_0 = \bullet \dfrac{1}{\backslash(\chi-\alpha\wedge-^{J)}(\alpha_2-xy\wedge dx}$

Σε περίπτωση που γ, <0 τότε $\chi = -\chi$ και $\chi = —\chi$ και η καμπύλη κατανομής πιθανότητας δίνεται από την σχέση :

Συνεπώς οι μορφές των αντιστοίχων καμπυλών θα είναι τύπου καμπάνας μορφής («Π» ή «Λ») «L/J» «U».

***Σχήμα* 2.3.1** Χαρακτηριστικές καμπύλες κατατομών τεχνολογικών επιφανειών Fisher-ΡεαΓ8οη(καμπύλη τύπου «Λ», καμπύλη τύπου «L» ή «J», καμπύλη τύπου «U»)

Στις περιπτώσεις που το κ είναι μεγαλύτερο του 0 οι καμπύλες που προκύπτουν όπως προαναφέρθηκε είναι είτε μη φραγμένες (0<κ<1) είτε φραγμένες από τη μια πλευρά (κ>1) όπως θα παρουσιασθεί στη συνεχεία.

Για την αναζήτηση των καμπυλών που αντιπροσωπεύουν τα αντίστοιχα ιστογράμματα απαιτείται ο υπολογισμός των συντελεστών Κ2, Κ3 και $κ_4$.

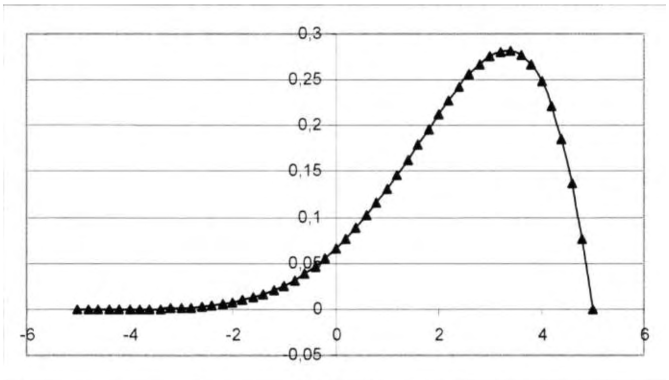
$K_2 = (Σ\ (χ,\ -\ χni)^2 / (η-1) = (ηΣχ,^2 - (Σχί)^2)\ /\ (η(η-1))$

$K_3 = (η/\ ((η-1)\ (η-2))\ Σ(χ,-χ_{ηι})^3 = (η^2\ Σχί^3 - 3ηΣχι^2\ Σχί + 2\ (Σχί)^3 /\ (η(η-1)(η-2))$

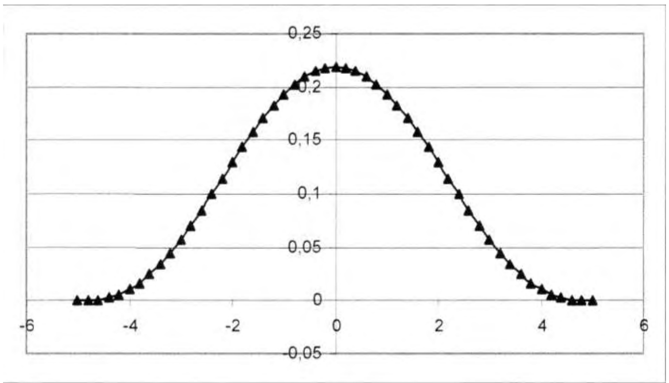
$K4 = η(η+1)\ Σ(χ,-Χη0^4 - 3(η-1)\ [Σ(_{χi}-χ_{ηι})^2]^2\ /\ (η-1)(η-2)(η-3) =$

$= (η^2\ (η+1)\ Σχ;^4 - 4η(η+1)\ Σ*^3\ Σχ,\ -\ 3η(η-1)(Σχί^2)^2 + 12η\ Σχ^2\ (Σχ,)^2 -$

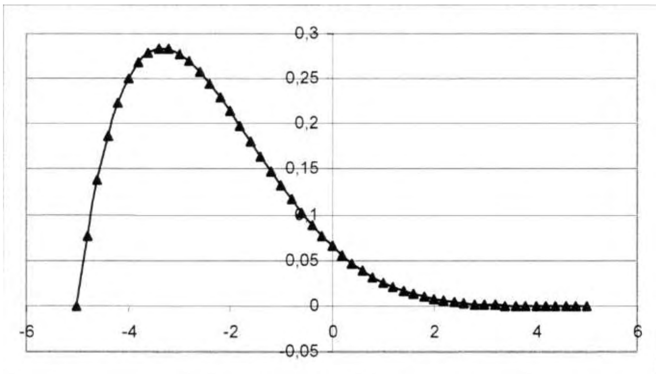
$6(ΣχΟ\ ^4)/((η(η-1)(η-2)(η-3))$



γ1<0



γ1=0



γ1>0

Σχήμα 2.3.2 Ασύμμετρες-συμμετρική κατανομή Fisher-Pearson για k<l

Η εκτίμηση των τιμών των συντελεστών γΐ και γ2 γίνεται χρησιμοποιώντας τους παρακάτω τύπους:

$$g|=k\text{-}3 / Vky \text{ και } g2=K4 / K\iota^2.$$

$\gamma_1, \gamma_2, \beta_1, \beta_2$ θεωρητικές τιμές των κατανομών

gi, g2, b|, b2 υπολογιστικές τιμές των κατανομών

Αντίστοιχα οι συντελεστές του Pearson δίνονται από τους τύπους:

$$b| = gf^{\wedge} \text{ και } b2 = g2+3$$

Σπανιότερη είναι η **περίπτωση συμμετρικών καμπυλών** που διακρίνονται σε 2 κατηγόριες, στην **κατηγορία των φραγμένων καμπυλών** στην περιοχή m-a...m+a, καθώς και την **κατηγορία των μη φραγμένων καμπυλών** (από -co έως +oo). Στις περιπτώσεις αυτές δίνονται: a = V(2b2S~) / (3-b_2) όπου s~ = k_2

και η μορφή της συνάρτησης γίνεται:

$$f = f_0 [l\text{-}(x\text{-}x_m)^2 / a^2]^q \quad \text{όπου} \quad q=(5b_2\text{-}9) / (2(3\text{-}b_2)>.$$

Στις περιπτώσεις που η καμπύλη είναι **μη φραγμένη** η συνάρτηση γίνεται

$$f=f_0/[1+(x\text{-}x_m)^2/a^2]^q$$

όπου α =V($2b_2s^2$) / (b_2-3) και q=($5b_2$-9) / (2(b:-3)).

Σε περιπτώσεις ασύμμετρων **μη φραγμένων καμπυλών** η συνάρτηση γίνεται

$$f=f_o(\cos 0)^{2q} \varepsilon^{\rho\theta}$$

οπού tan0 = (X-c)/a με r = 6(b_2-b]-l)/ (2b2-3b|-6)

q= l+r/2, p=rV(k/(l-k)), a= V(s^2 (r-l)(l-k)), c=x_m-pa/r.

Οι καμπύλες αυτής της μορφής με γι<0 εντοπίζονται συνήθως για αρχική κατάσταση φθοράς. Είναι αδύνατον να συναντηθούν σε φθαρμένες επιφάνειες.

Σε περιπτώσεις καμπυλών **με ένα φράγμα** η συνάρτηση γίνεται

$$f = f_0 (x\text{-}a)^{ql} \sim^1 / (x\text{-}a+c)^{q2+1}$$

με a=x_m-cqi/r με r = 6(b_2-bi-1)/ ($2b_2$-3bi-6)

q,= r/2(V(K/K-l)-l), q_2=q.+r, c= Vs^2 (l-r)(k-l).

Οι καμπύλες αυτής της μορφής με γι<0 και άνω φράγμα εμφανίζονται σπάνια και μόνο σε περιπτώσεις πολύ φθαρμένων επιφανειών που θα μπορούσαν ακόμη και να θεωρηθούν λείες.

Οι συνθετικές τραχύτητες που έχουν επιλεγεί βασίζονται σε σημαντικό ποσοστό στην συνάρτηση rand() του προγράμματος excel της εταιρείας Microsoft. Η δημιουργία των τυχαίων αριθμών πραγματοποιείται αρχικά για ένα πεδίο ορισμού μεταξύ 0 και 1 και στη συνέχεια με χρήση διορθωτικών συντελεστών που ακολουθούν συγκεκριμένες επιλεγμένες συναρτήσεις μεταβολής τους, οδηγούν στην παραγωγή τεχνητών τραχύ-γραφημάτων.

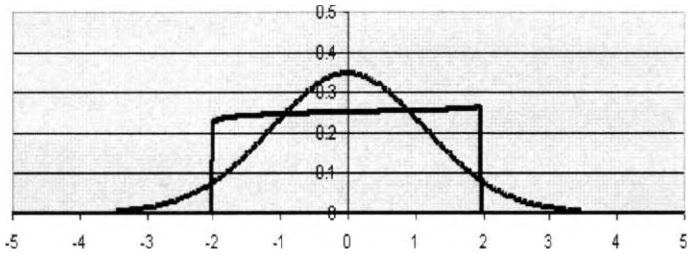
Θεωρώντας ότι το βήμα δειγματοληψίας είναι 2,5 μιτι η επεξεργασία κάθε τεχνητής κατατομής γίνεται μέσα από φύλλα εργασίας excel σε πρώτη προσέγγιση ενώ παράλληλα αναπτύσσεται κώδικας σε γλώσσα Fortran.

Τυπικά παραδείγματα τεχνητών τραχυμετρήσεων εμφανίζονται στη συνέχεια με χαρακτηριστικά που σχετίζονται με κατεργασία honing και αναφέρονται σε εφαρμογή του προγράμματος PPR(points-pics-radii) σε τραχύτητα επιφάνειας κυλίνδρου ΜΕΚ.

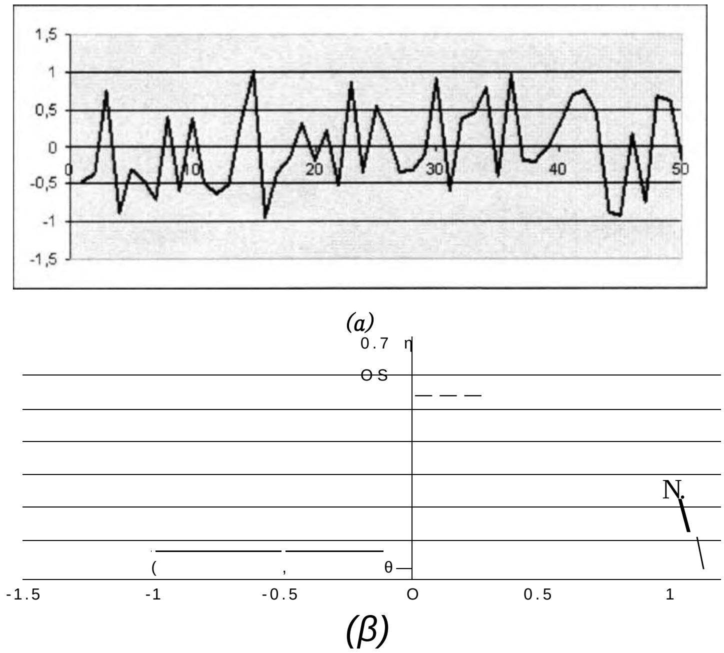
Η προσομοίωση της φθοράς επιτυγχάνεται με αποκοπή-(ψηφιακό φίλτρο) το κατώφλιο του οποίου αναγράφεται σε κάθε τραχυμέτρηση σαν "φθορά Α μιη" που σημαίνει ότι έχουν αποκοπεί-φθαρεί όλα τα σημεία της κατατομής με υψόμετρο μεγαλύτερο η ίσο του Α. Αποτελέσματα και διαγράμματα ποικίλων μορφών ακολουθούν στο κεφάλαιο 3.

Κατά τη φάση της διερεύνησης του προγράμματος υπολογισμού των παραμέτρων της τραχύτητας έγιναν διάφορες δοκιμές με σκοπό την επαλήθευση της εγκυρότητας του υπολογιστικού κώδικα, ο οποίος απλουστευμένος περιγράφηκε μέσω υπολογιστικών φίλων τύπου excel office. Για παράδειγμα η επαλήθευση της εγκυρότητας της γεννήτριας τυχαίων αριθμών του excel εμφανίζεται στα παρακάτω σχήματα:

Σχήμα 2.3.3 Συνθετική τραχύτητα που δημιουργήθηκε με χρήση τυχαίων αριθμών (rand του excel)

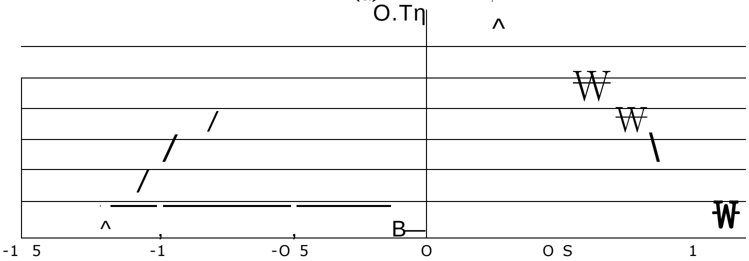


Σχήμα 2.3.4 : Τυπική συνάρτηση κατανομής F-**P** σε σύγκριση με την κανονική κατανομή Gauss, για τραχύτητα με έντονο τυχαίο χαρακτήρα (επαλήθευση μοντέλου).



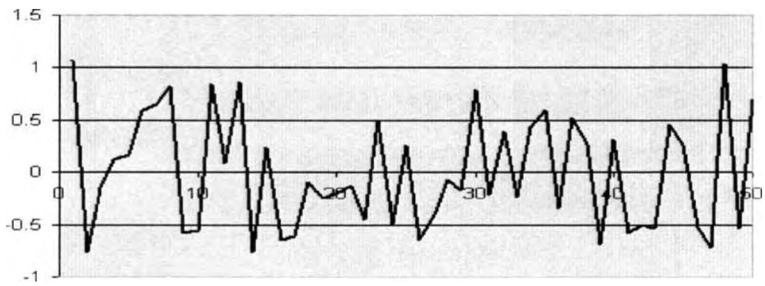
Σχήμα 2.3.5 :Χαρακτηριστικά γραφήματα συνθετικής τραχύτητας και της αντίστοιχης κατανομής F-P για τραχύτητα με χαρακτηριστικά κατανομής τύπου «Λ»-ασύμμετρου κώδωνα

(a)

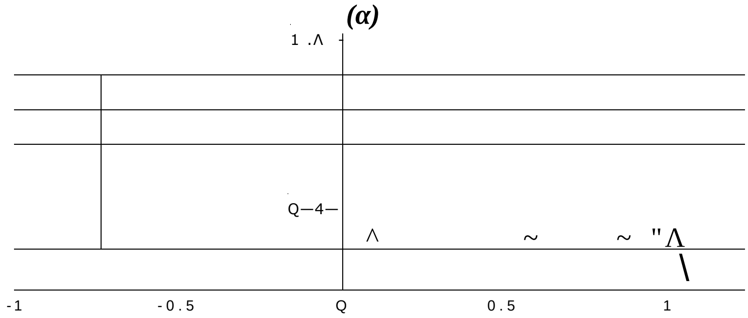


(β)

Σχήμα 2.3.6 : Χαρακτηριστικά γραφήματα συνθετικής τραχύτητας και της αντίστοιχης κατανομής F-P για τραχύτητα με χαρακτηριστικά κατανομής τύπου «Λ»-συμμετρικού κώδωνα



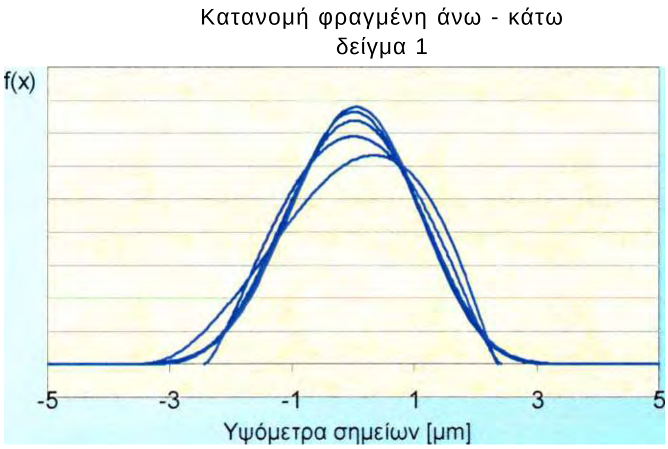
(α)



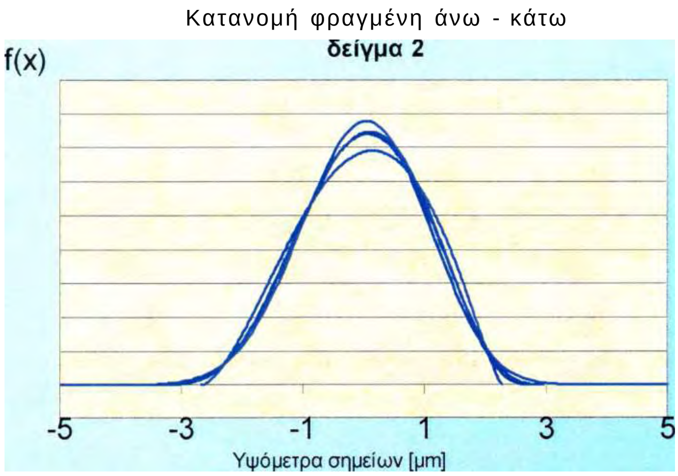
(β)

Σχήμα 2.3.7 : Χαρακτηριστικά γραφήματα συνθετικής τραχύτητας και της αντίστοιχης κατανομής F-P για τραχύτητα με χαρακτηριστικά κατανομής τύπου «L» ή «J» με έντονη συγκέντρωση στο κάτω όριο.

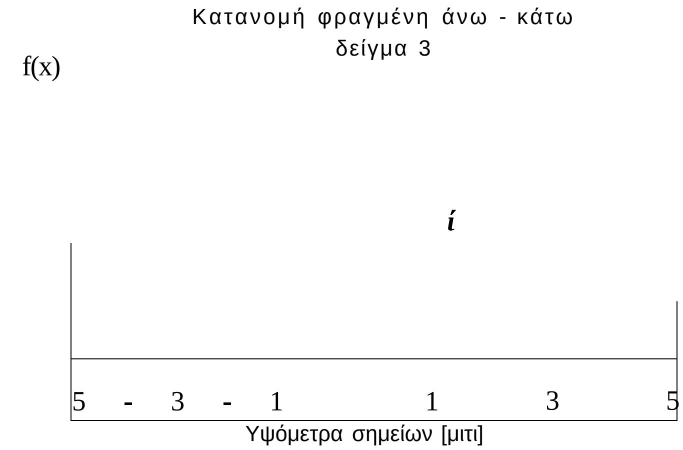
Με την εφαρμογή του συστήματος Fisher- Pearson έχουν ήδη εξαχθεί αποτελέσματα στατιστικής μελέτης της τραχύτητας για κινητήρες τύπου Renault οι οποίοι ήταν εφοδιασμένοι με χιτώνια και αυτό διότι προσφέρονταν ευκολότερα έτσι ώστε μετά την εξαγωγή- αποσυναρμολόγηση του χιτωνίου να είναι εφικτή η μέτρηση της τραχύτητας. Η στατιστική αυτή μελέτη έγινε μετά την επεξεργασία αρχείων υψομέτρων τραχύτητας με τον κώδικα που αναπτύχθηκε στο Εργαστήριο Κατεργασιών. Χαρακτηριστικές καμπύλες κατανομών αρχικής κατάστασης δίνονται στην συνέχεια



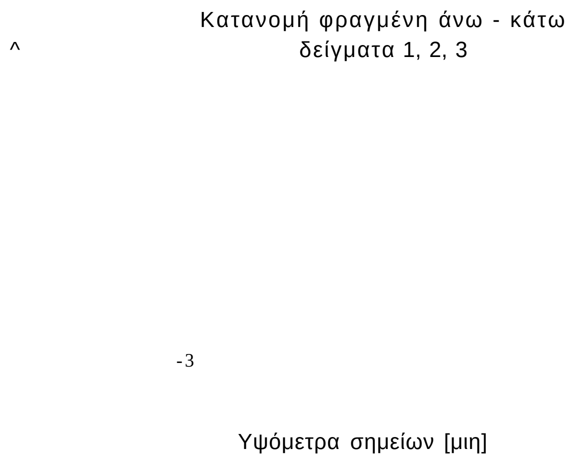
Σχήμα 2.3.8 Μετρηθείς κατανομές σε 5 διαφορετικές περιοχές του κυλίνδρου τύπου Α, κινητήρας Renault 529



Σχήμα 2.3.9 Μετρηθείς κατανομές σε 5 διαφορετικές περιοχές του κυλίνδρου τύπου Β, κινητήρας Renault 561



Σχήμα 2.3.10 Μετρηθείς κατανομές σε 5 διαφορετικές περιοχές του κυλίνδρου τύπου Γ, κινητήρας Renault 688



Σχήμα 2.3.11 Συγκεντρωτικό διάγραμμα των κατανομών των τριών παραπάνω τύπων κινητήρων Renault.

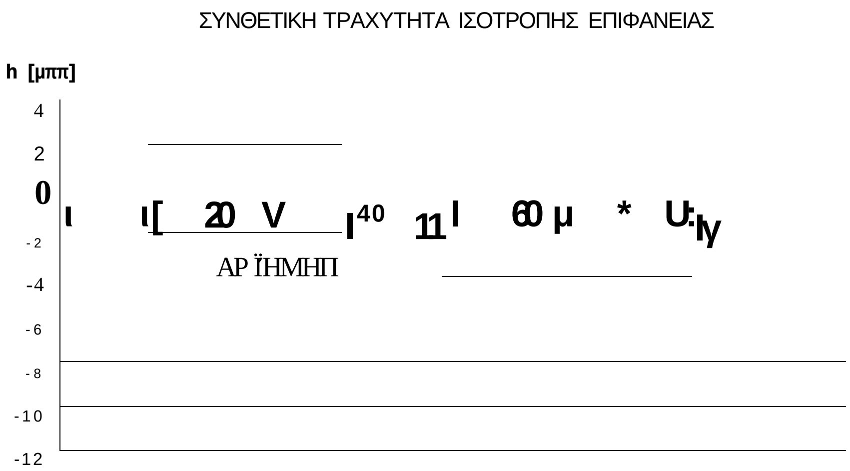
Παρατήρηση Αναδεικνύεται γενικά μια συμμετρία στις κατανομές των υψομέτρων σημείων για μη φθαρμένους κυλίνδρους ΜΕΚ με ελαφρές αποκλίσεις. Στην συγκεκριμένη περίπτωση η υπόθεση ακόμη και μιας κανονικής κατανομής τύπου Gauss θα μπορούσε να ληφθεί υπόψιν όπως γίνεται συνήθως στα θεωρητικά μοντέλα υδροδυναμικής λίπανσης τραχειών επιφανειών ή και στα μοντέλα επαφής τραχειών επιφανειών . Σε περίπτωση όμως φθαρμένων επιφανειών κυλίνδρων ακόμη και στα πρώτα στάδια φθοράς η κατανομή του Gauss δεν μπορεί να αντιπροσωπεύσει τις ασύμμετρες καμπύλες Fisher - Pearson οι οποίες προκύπτουν όπως θα παρουσιαστεί σε ακόλουθες παραγράφους.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται κατατομές συνθετικής τραχείας επιφάνειας οι οποίες εμφανίζουν χαρακτηριστικά που προσεγγίζουν την πραγματική επιφάνεια του κυλίνδρου ΜΕΚ. Οι κατατομές αυτές για την αρχική τους κατάσταση μετά από πλήθος δοκιμών και παρατηρήσεων έχουν δημιουργηθεί με την χρήση της ακόλουθης συνάρτησης για τα υψόμετρα των σημείων:

$$- (SIN ((2 \chi RAND() - 1) x RAND( )^2 \chi 4)) \chi C ,$$

όπου C κατάλληλη τιμή σταθεράς η οποία οδηγεί σε καμπύλη κατανομής με συγκεκριμένη τιμή τυπικής απόκλισης σ.

(α)



(β)

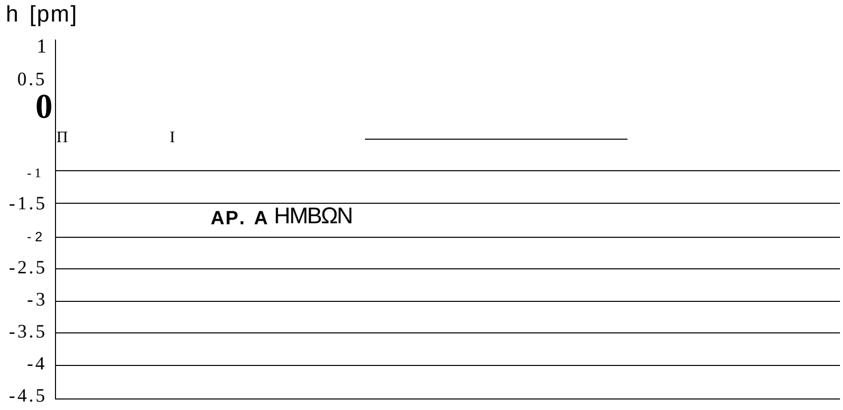
Σχήμα 2.3.12 Συνθετικές κατατομές αρχικής κατάστασης επιφάνειας

Στη συνέχεια παρουσιάζονται κατατομές συνθετικής τραχύτητας σε διαφορετικά στάδια φθοράς ή προσομοίωση της οποίας επιτυγχάνεται με χρήση φίλτρου με κατώφλιο μειούμενης τιμής (1,0,-1,-2μιη)

(α)

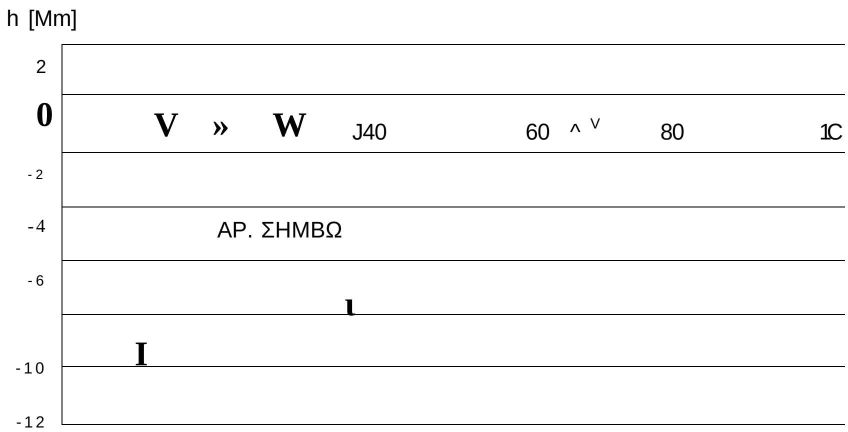
(β)

ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ ΙΣΟΤΡΟΠΗΣ ΕΠΙΦΑΝΒΑΣ-φθορα/φιλτρο 0 μιτι



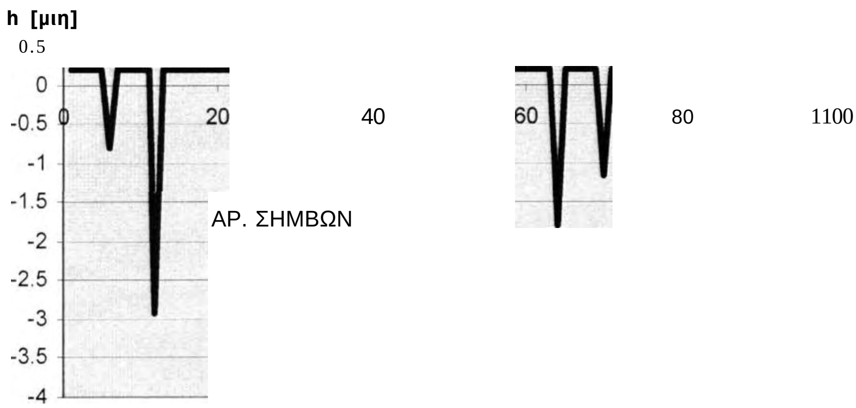
(γ)

ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ ΙΣΟΤΡΟΠΗΣ ΕΠΙΦΑΝΒΑΣ-φθορα/φιλτρο -1 μιτι



(δ)

ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ ΙΣΟΤΡΟΠΗΣ ΕΠΙΦΑΝΒΑΣ-φθορα/φιλτρο -2 μηι



(ε)

Σχήμα 2.3.13 Συνθετικές κατατομές τραχύτητας σε διαφορετικά στάδια φθοράς

Για σύγκριση με τα προηγούμενα γραφήματα, τα οποία προέρχονται από την συνάρτηση - (SIN ((2 x RAND() - 1) χ RAND(**γ** χ 4)) χ C, δίνονται πραγματικές μετρήσεις σε διαφορετικά στάδια φθοράς που ελήφθησαν κατά περιόδους σε τυχαίο δοκίμιο. Παρατηρείται η δημιουργία οροπεδίων (πλατώ) με την πρόοδο της φθοράς.

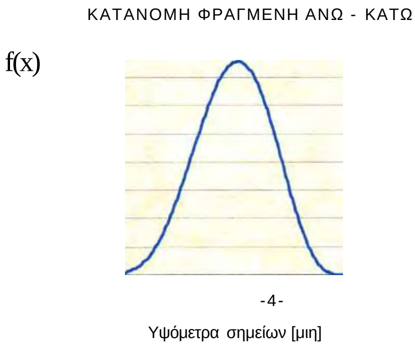
Σχήμα 2.3.14 Τραχυμέτρηση τυχαίου δείγματος σε αρχική κατάσταση, σ = 1.2 μm

Σχήμα 2.3.15 Τραχυμέτρηση τυχαίου δείγματος στο πρώτο στάδιο φθοράς, σ = 1.1 μm

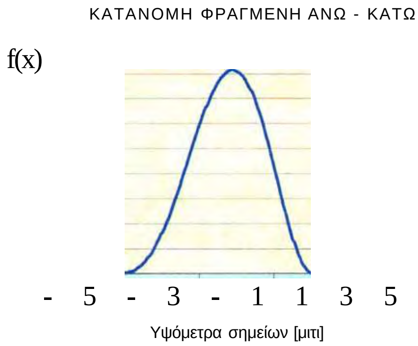
Σχήμα 2.3.16Τραχυμέτρηση τυχαίου δείγματος στο πρώτο στάδιο φθοράς, σ = 0.95μm

Σχήμα 2.3.17 Τραχυμέτρηση τυχαίου δείγματος μετά το στρώσιμο, σ= 0.8 μm

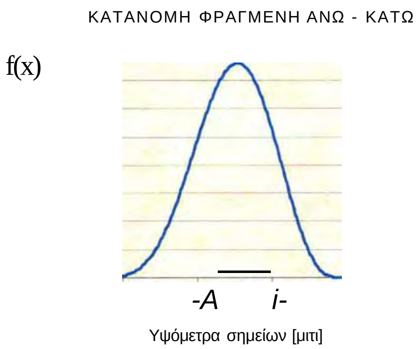
Αντίστοιχες χαρακτηριστικές κατανομές υψομέτρων σημείων φαίνονται στα διαγράμματα που ακολουθούν σε διαφορετικά στάδια φθοράς που αντιστοιχούν σε διαφορετικές τιμές τυπικής απόκλισης σ.



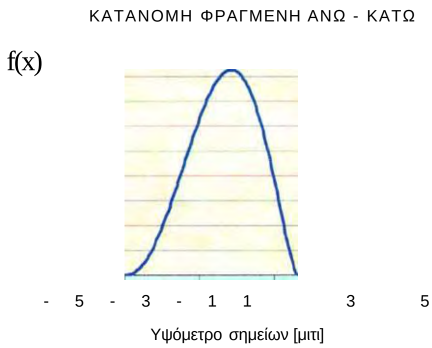
α) σ= 1.1 μιτι



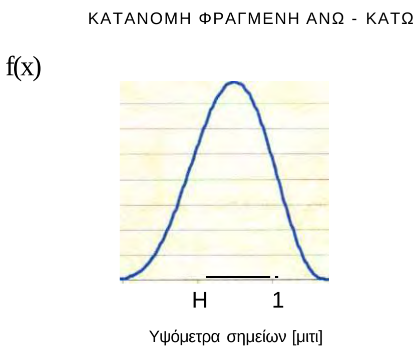
δ) σ= 0.8 μιη



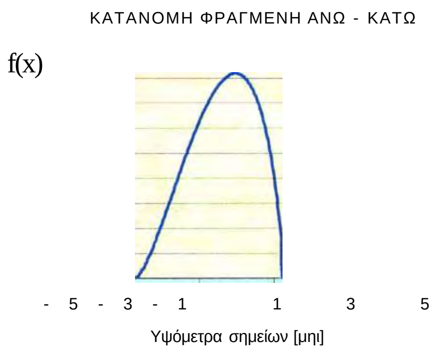
β) σ= 1 μιη



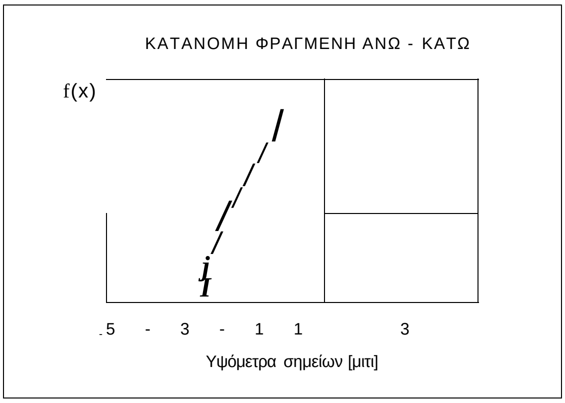
ε) σ= 0.7μιη



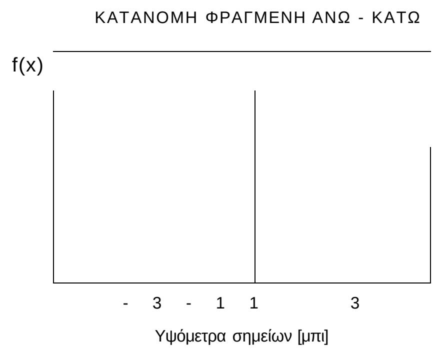
γ) σ= 0.9 μηι



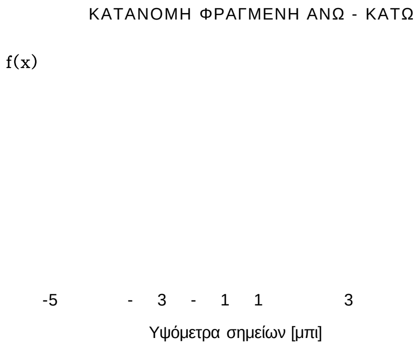
ζ) σ= 0.6 μηι



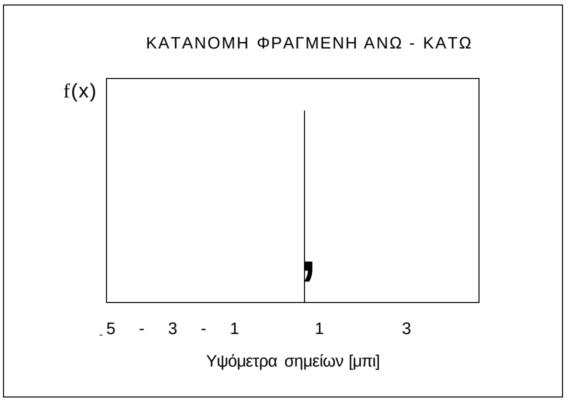
στ) σ= 0.5 μιη



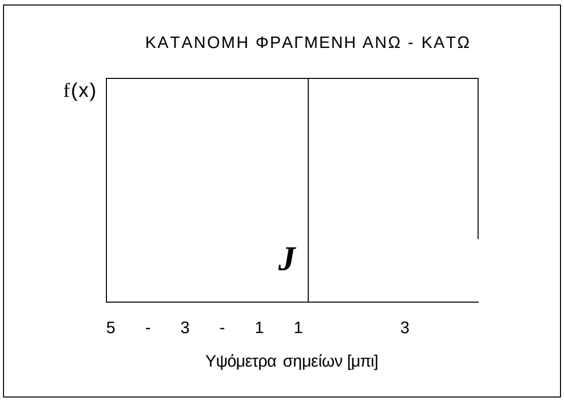
ι) σ= 0.2 μιτι



η) σ= 0.4 μιτι



κ) σ= 0.1 μπι



0) σ=0.3 μιη

Σχήμα 2.3.18 Χαρακτηριστικές κατανομές υψομέτρων σημείων για διαφορετικά στάδια φθοράς του κυλίνδρου ΜΕΚ.

Παρατήρηση Στα παραπάνω διαγράμματα καθίστανται πλέον σαφής η αλλαγή μορφής της καμπύλης κατατομής η οποία σε αρχικό στάδιο εμφανίζει έντονα συμμετρικά χαρακτηριστικά, σε ενδιάμεσο στάδιο φθοράς αρχίζει να εμφανίζει ασυμμετρία με μορφή τύπου «Λ» και στην συνέχεια περνάει στην μορφή τύπου «J-U».

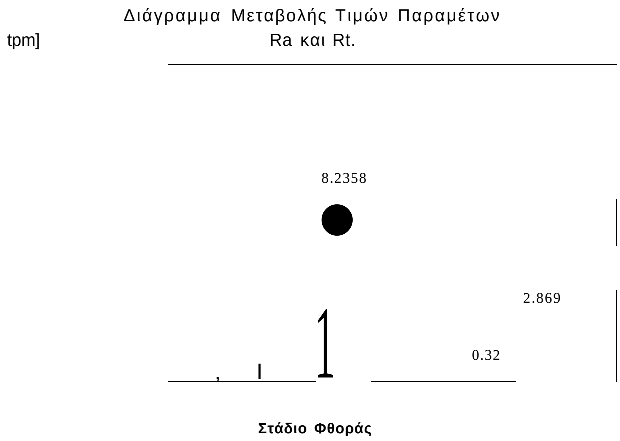
Επειδή η μετάβαση από την μορφή της καμπύλης κατανομής «Λ» σε μορφή «J» είναι συνέπεια δημιουργίας πολύ μεγάλου ποσοστού οροπεδίων (πλατώ) τα οποία μεταβάλλουν πλήρως την φύση της τραχείας επιφάνειας η οποία εμφανίζει πλησιέστερα χαρακτηριστικά προς μια λεία επιφάνεια ένα κριτήριο απόρριψης της τραχύτητας φθαρμένου κυλίνδρου προτείνεται να είναι η τιμή του οριακού σ στο όποιο παρατηρείται αυτή η μετάβαση. Για παράδειγμα με βάση τα προαναφερθέντα διαγράμματα η τιμή απόρριψης που προτείνεται είναι για σ = 0.5 μιτι.

2.4 Σύνδεση Πειραματικών Δεδομένων Εργαστηρίου Κατεργασιών με Μαθηματικό Μοντέλο Δημιουργίας Συνθετικής Τραχύτητας.

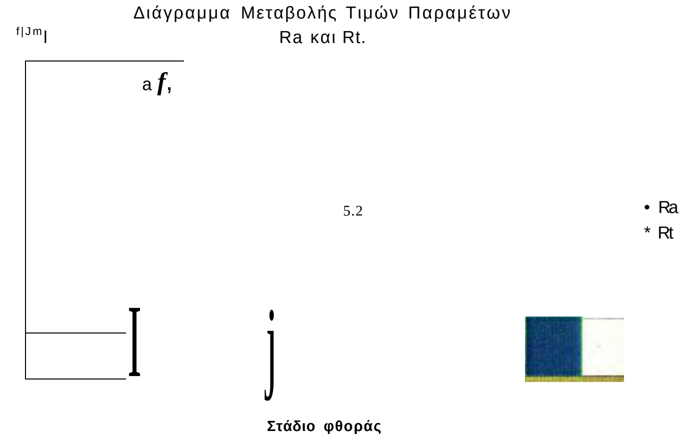
Η μεθοδολογία που έχει ακολουθηθεί κατά την τραχυμέτρηση κυλίνδρων ΜΕΚ βασίστηκε σε στατιστική ανάλυση 50 κατατομών οι οποίες λαμβάνονταν σε κάθε μια από τις τρεις χαρακτηριστικές περιοχές του κάθε κυλίνδρου.

Βασικά χαρακτηριστικά για την σύγκριση των τριών περιοχών που είναι α) η περιοχή του ΑΝΣ β) η περιοχή στο μέσο της διαδρομής και γ) η περιοχή εκτός της περιοχής φθοράς εμβόλου - κυλίνδρου (δηλαδή κάτω από το ΚΝΣ προς την ελαιολεκάνη) είχαν ληφθεί : η παράμετρος $R_{;t}$ (μέσος όρος των απολύτων τιμών των υψομέτρων σημείων) και η παράμετρος R, (μέγιστη υψομετρική διαφορά μεταξύ υψηλότερου λοφίσκου και χαμηλότερης κοιλάδας). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι σε κυλίνδρους διαφορετικών κατασκευαστών ΜΕΚ είχε παρατηρηθεί σημαντική διασπορά των τιμών αυτών. Οι τρεις περιοχές αυτές λόγω των διαφορετικών συνθηκών λίπανσης μπορούν να αντιστοιχηθούν κάθε μια με ένα στάδιο φθοράς. Έτσι η μη φθαρμένη περιοχή (δηλαδή η περιοχή εκτός κυλίνδρου κάτω από το ΚΝΣ) θεωρείται ότι αντιστοιχεί στο στάδιο φθοράς 1, η περιοχή στο μέσο της διαδρομής του εμβόλου αντιστοιχεί στο στάδιο 2 και η περιοχή του ΑΝΣ αντιστοιχεί στο στάδιο 3.

Διαγράμματα που εμφανίζουν ανά κατασκευαστή την διαφοροποίηση των τιμών R_a και R_t στις τρεις περιοχές εμφανίζονται στην συνέχεια.

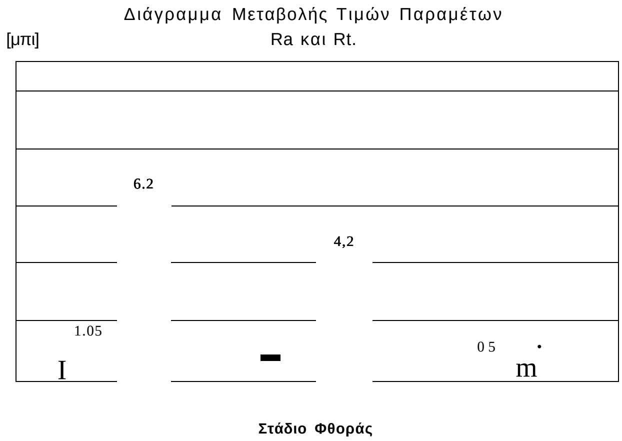


Σχήμα 2.4.1 : Διάγραμμα Μεταβολής Τιμών Παραμέτρων Τραχύτητας $\mathbf{R_a}$ και $\mathbf{R_t}$.
Αποτέλεσμα μετρήσεων σε κύλινδρο Μ.Ε.Κ τύπου FIAT.
Επεξήγηση : Στάδιο φθοράς 1 αντιστοιχεί στην αρχική κατάσταση
Στάδιο φθοράς 2 αντιστοιχεί στο μέσο της διαδρομής
Στάδιο φθοράς 3 αντιστοιχεί στην περιοχή Α.Ν.Σ.



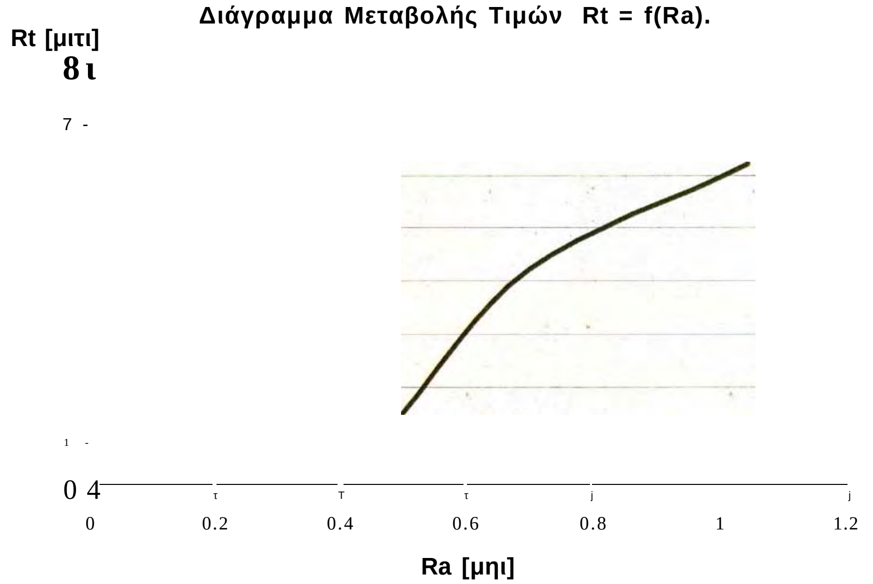
Σχήμα 2.4.2 : Διάγραμμα Μεταβολής Τιμών Παραμέτρων Τραχύτητας $\mathbf{R_a}$ και $\mathbf{R_t}$ Αποτέλεσμα μετρήσεων σε κύλινδρο Μ.Ε.Κ τύπου VOLVO.

Σχήμα 2.4.3 : Διάγραμμα Μεταβολής Τιμών Παραμέτρων Τραχύτητας **R**:1Kai $\mathbf{R_t}$ Αποτέλεσμα μετρήσεων σε κύλινδρο Μ.Ε.Κ τύπου MERCEDES.

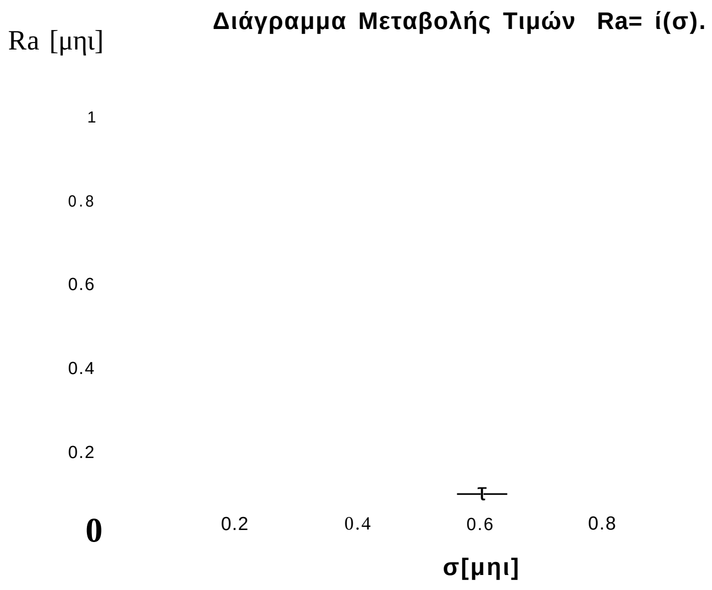


Σχήμα 2.4.4: Διάγραμμα Μεταβολής Τιμών Παραμέτρων Τραχύτητας $\mathbf{R_a}$ και $\mathbf{R_t}$ Αποτέλεσμα μετρήσεων σε κύλινδρο Μ.Ε.Κ τύπου RENAULT.

Από τα δεδομένα του τραχυμέτρου όπου υπήρχαν πολλά επεξεργασμένα στοιχεία για κύλινδρο τύπου Renault, επιλέχθηκε ο συγκεκριμένος τύπος τραχύτητας για την περαιτέρω ανάπτυξη της μεθόδου. Αντιπροσωπευτικά διαγράμματα συσχετισμών μεταξύ των παραμέτρων της τραχύτητας, R_a, R_t και σ δίνονται στην συνέχεια.



Σχήμα 2.4.5: Ενδεικτικό Διάγραμμα Μεταβολής Τιμών $\mathbf{R_t}$ _ $\mathbf{R_a}$. Αποτέλεσμα μετρήσεων σε κύλινδρο Μ.Ε.Κ τύπου RENAULT.

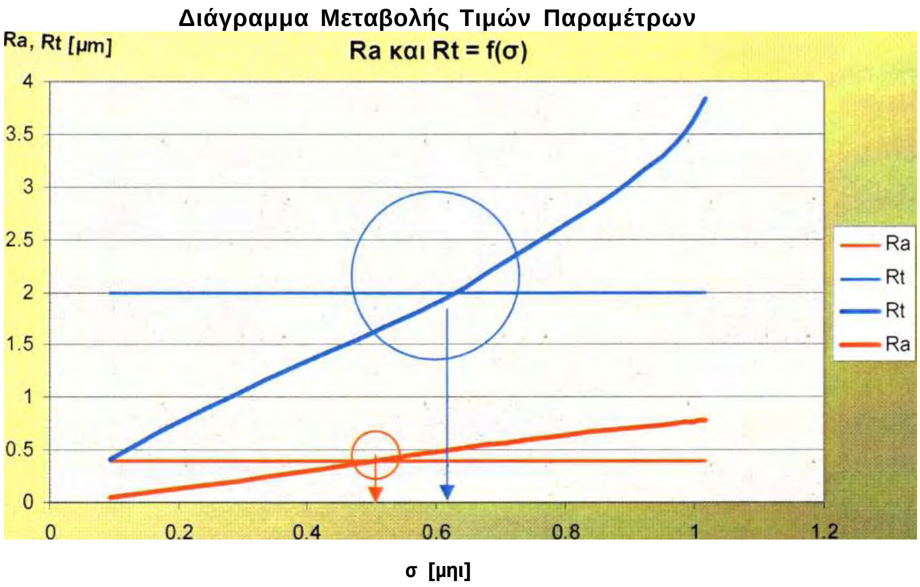


Σχήμα 2.4.6: Ενδεικτικό Διάγραμμα Μεταβολής Τιμών **σ** - $\mathbf{R_a}$.Αποτέλεσμα μετρήσεων σε κύλινδρο Μ.Ε.Κ τύπου RENAULT.

Επειδή στην συνέχεια η βασική παράμετρος που χρησιμοποιείται είναι η τυπική απόκλιση της κατανομής των υψομέτρων των σημείων σ απαιτείται ο προσδιορισμός της με βάση τις δεδομένες τιμές Ra και Rt

Αξιοσημείωτο θεωρείται το γεγονός ότι οι παράμετροι Ra και Rt αν ληφθούν σαν συνάρτηση της τυπικής απόκλισης σ γενικά δίνουν τιμές με όχι αμελητέα απόκλιση από τις αναμενόμενες. Αντιστρόφως ένα ζεύγος τιμών Ra και Rt δίνει τελικά δυο διαφορετικές τιμές για την τυπική απόκλιση σ της κατανομής των υψομέτρων σημείων που στην συγκεκριμένη περίπτωση λαμβάνονται ως όρια του πεδίου ορισμού της τυπικής απόκλισης σ.

Ένα παράδειγμα εμφανίζεται στο παρακάτω διάγραμμα όπου για τις δύο μετρηθείσες τιμές των παραμέτρων Ra και Rt (Ra=0.4 μιη και Rt=2 μπι). Οι αντίστοιχες τιμές της τυπικής απόκλισης διαφέρουν κατά 0.1 pm, τιμή η οποία δεν θεωρείται σημαντική για την αμφισβήτηση της μεθόδου.

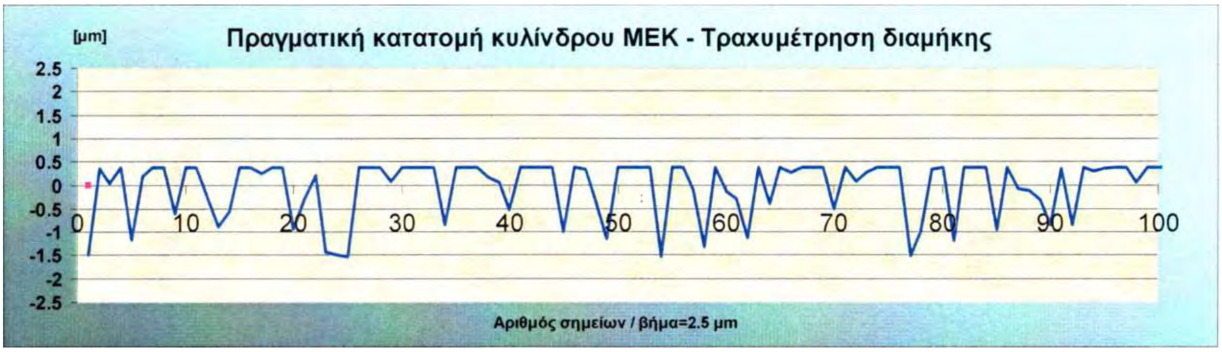


Σχήμα 2.4.7 : Διάγραμμα εκτίμησης της τυπικής απόκλισης σ της κατανομής υψομέτρων σημείων κατατομής κυλίνδρου ΜΕΚ με βάση τις τιμές Ra και Rt αντίστοιχα του δείγματος.

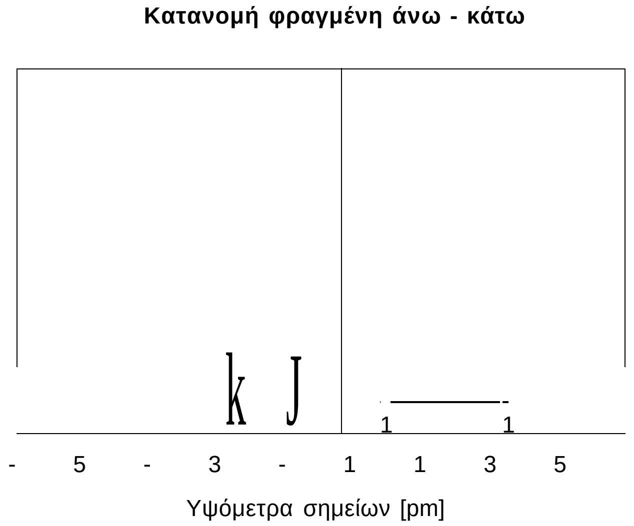
Εφαρμογή :<u>Περιοχή ΑΝΣ (μέγιστης φθοράς)</u> : Ra=0.4 pm ->σ= 0.55 μπι και Rt=2 μιη σ= 0.65 μπι, άρα σ= [0.55, 0.65] pm., o_m=0.60 μηι.

2.5 Εφαρμογή Υπολογισμού Παραμέτρων Fisher- Pearson

Αποδεικνύεται ότι υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των παραμέτρων της φραγμένης συνάρτησης Fisher - Pearson. Χαρακτηριστικά διαγράμματα της συσχέτισης των παραμέτρων εμφανίζονται στην συνέχεια.



Σχήμα 2.5.1 Πραγματική κατατομή στην περιοχή μέγιστης φθοράς (ΑΝΣ) για τυπική απόκλιση σ = 0.6μηι

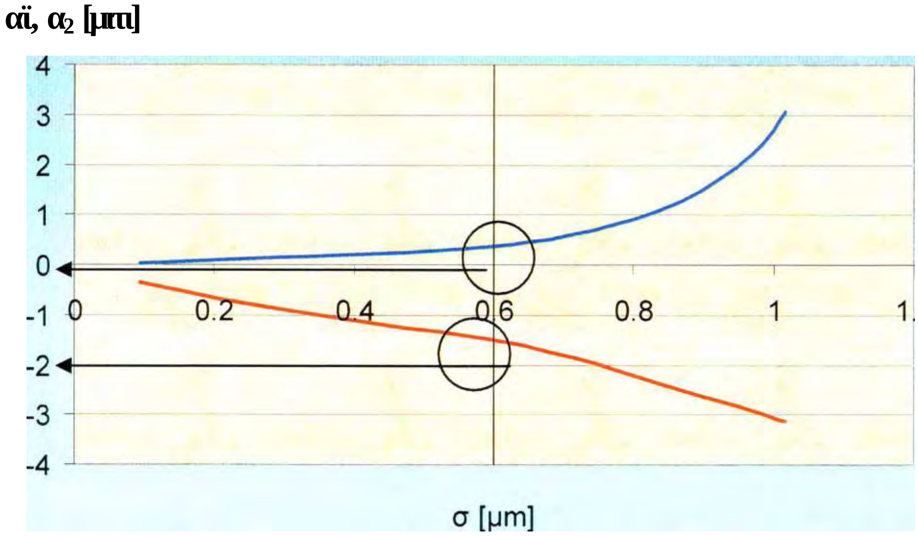


Σχήμα 2.5.2 Πραγματική κατανομή υψομέτρων σημείων προηγουμένου γραφήματος

Η παραπάνω τραχύτητα αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο στάδιο φθοράς κυλίνδρου ΜΕΚ. Η μελέτη της μεταβολής των παραμέτρων της κατανομής Fisher - Pearson αϊ, α2, qι, q: που έχει προηγηθεί οδηγεί στα διαγράμματα που ακολουθούν όπου φαίνεται η μονοσήμαντη σχέση μεταξύ σ-αι σ-α2. σ-qi σ-q:

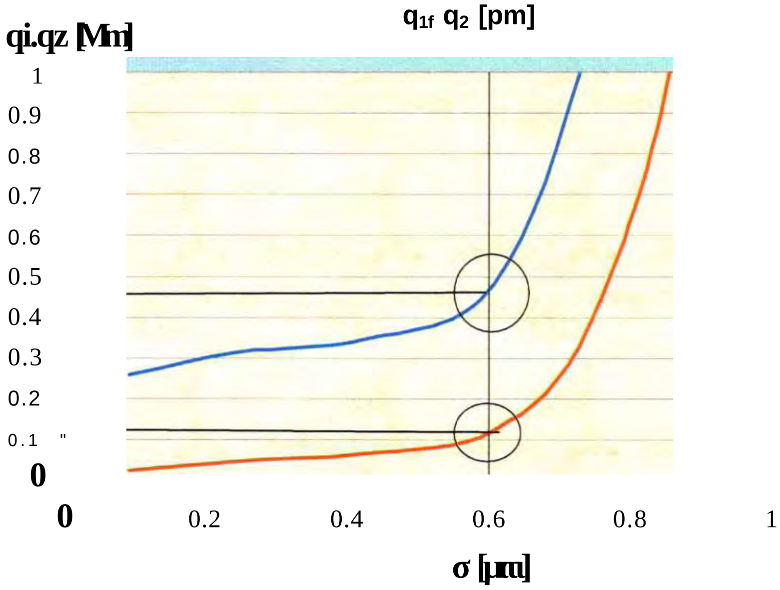
Καμπύλες αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται στην συνέχεια για την εκτίμηση των παραμέτρων αυτών με γνωστή μόνο της τιμή της τυπικής απόκλισης της κατατομής.

Διάγραμμα μεταβολής ορίων κατανομής
«κ α_2 [μπι]

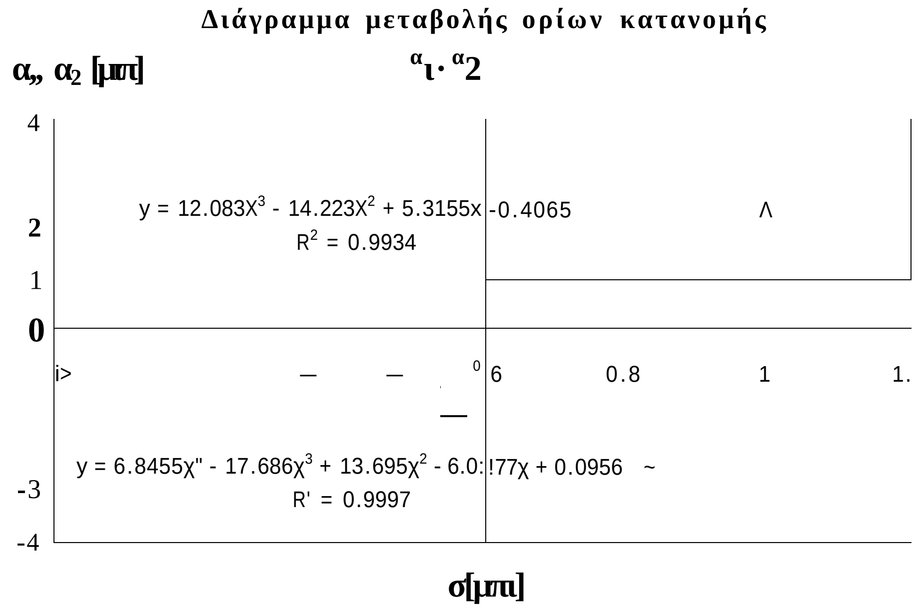


Σχήμα 2.5.3 Διάγραμμα εκτίμησης των ορίων αϊ, α2 της κατανομής υψομέτρων σημείων κατατομής κυλίνδρου ΜΕΚ με βάση την τιμή της τυπικής απόκλισης σ του δείγματος.
Εφαρμογή : Περιοχή ΑΝΣ (μέγιστης φθοράς) $\sigma_{\eta 1}$= 0.6 pm, αι= -1.52 μιη και α2= 0.39 μιτι

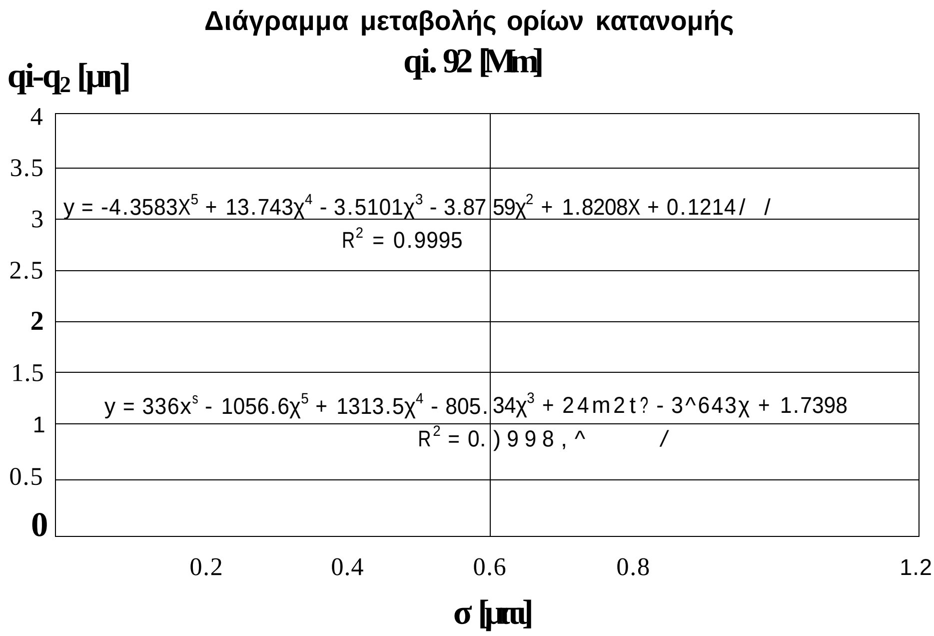
Διάγραμμα μεταβολής ορίων κατανομής
q_{1f} q_2 [pm]



Σχήμα 2.5.4 Διάγραμμα εκτίμησης των ορίων qι, q_2 της κατανομής υψομέτρων σημείων κατατομής κυλίνδρου ΜΕΚ με βάση την τιμή της τυπικής απόκλισης σ του δείγματος.
Εφαρμογή : Περιοχή ΑΝΣ (μέγιστης φθοράς) σ„,= 0.6 μηι, qi= 0.12 μιη και q_2= 0.48 μηι.



Σχήμα 2.5.5 Διάγραμμα εκτίμησης των ορίων αϊ, αϊ της κατανομής υψομέτρων σημείων κατατομής κυλίνδρου ΜΕΚ με βάση την τιμή της τυπικής απόκλισης σ του δείγματος, χρήση γραμμών τάσης πολυωνυμικής μορφής.



Σχήμα 2.5.6 Διάγραμμα εκτίμησης των ορίων qi, q^ της κατανομής υψομέτρων σημείων κατατομής κυλίνδρου ΜΕΚ με βάση την τιμή της τυπικής απόκλισης σ του δείγματος, χρήση γραμμών τάσης πολυωνυμικής μορφής.

Επομένως οι πολύ ικανοποιητικές εκτιμήσεις με βάση τις πολυωνυμικές συναρτήσεις αποδεικνύουν την χρησιμότητα στην συνέχεια των συναρτήσεων αυτών για την πρόβλεψη των τιμών αϊ, α^. qi, q2 με βάση το σ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗΣ *k* ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ! ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΚΥΛΙΝΔΡΩΝ Μ.Ε.Κ.

3.1 Αποτελέσματα Στατιστικής Ανάλυσης Πραγματικής Τραχύτητας Κυλίνδρων Μ.Ε.Κ.

Στο προηγούμενο κεφάλαιο παρουσιάστηκε με λεπτομέρεια η στενή σχέση της τραχύτητας ενός κυλίνδρου ΜΕΚ με φραγμένες συναρτήσεις κατανομής των υψομέτρων σημείων της κατατομής σύμφωνα με το σύστημα Fisher - Pearson. Ενωρίζοντας τα χαρακτηριστικά των κατανομών αυτών, που σχετίζονται μεταξύ τους είναι δυνατόν μόνο με την γνώση της τιμής της τυπικής απόκλισης της κατανομής αυτής σ να προσδιοριστούν και τα υπόλοιπα στοιχεία της.

Επεξεργασμένες, σύμφωνα με το σύστημα Fisher - Pearson, αντιπροσωπευτικές μετρήσεις τραχύτητας σε πέντε περιοχές κατά μήκος της γενέτειρας για κάθε ένα από τους τρεις κυλίνδρους (συνολικά εξήντα περιοχές) που μετρήθηκαν σε κατάσταση μη φθοράς, δηλαδή αρχική κατάσταση, δίνονται στα παρακάτω διαγράμματα στα οποία εμφανίζονται με την σειρά :

α) τραχυγράφημα αρχικής κατάστασης κυλίνδρου

β)καμπύλη κατανομής υψομέτρων σημείων

γ)διαγράμματα μεταβολής αϊ, α2 συναρτήσει της τυπικής απόκλισης σ

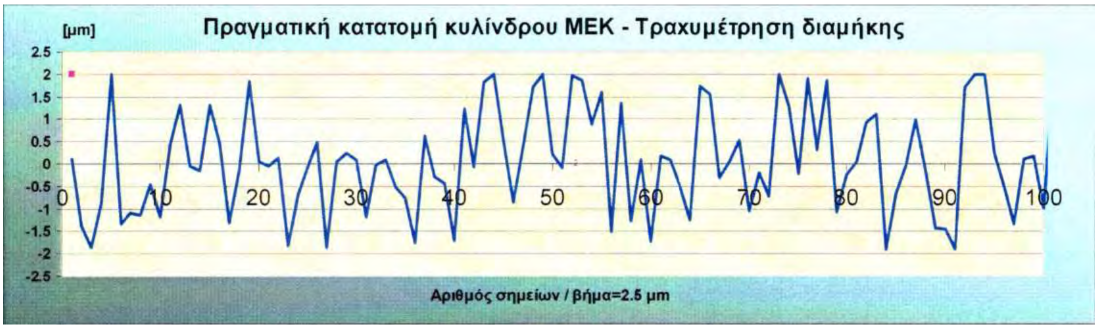
δ) διαγράμματα μεταβολής ql, q2 συναρτήσει της τυπικής απόκλισης σ καθώς και ε)πίνακας με τις χαρακτηριστικές τιμές σ , ql, q2, αϊ, α2 σε διαφορετικά στάδια φθοράς (επεξεργασμένα αποτελέσματα αρχείου Εργαστηρίου Κατεργασιών, Πανταζάρας- Πετρόπουλος).

Το πρώτο δείγμα κυλίνδρου αναφέρεται σε κινητήρα τύπου Renault 529- 2000cc , το δεύτερο δείγμα σε κινητήρα τύπου Renault 561-1600cc και το τρίτο δείγμα σε κινητήρα τύπου Renault 688 - 1200cc.

Σημειώνεται ότι για κάθε δείγμα είχε πραγματοποιηθεί φθορά σε ειδική συσκευή των κεντρικών εργαστηρίων της Renault στο Παρίσι. Με την πρόοδο της φθοράς δίνεται η συσχέτιση της τυπικής απόκλισης σ με τις παραμέτρους της κατανομής κατά Fisher - Pearson qi, q:, αϊ, α2. Η συσχέτιση αυτή φαίνεται στους πίνακες που συνοδεύουν τα ακόλουθα γραφήματα (για λόγους οικονομίας χώρου δεν δίνονται τα διαγράμματα τραχύτητας για τις φθαρμένες επιφάνειες).

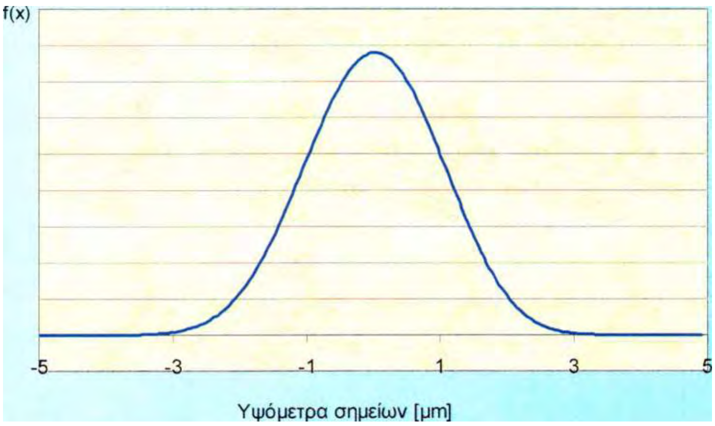
3.1.1 Δείγμα Κυλίνδρου 1 - Κινητήρας Τύπου Renault 529-2000cc

- Δείγμα Ια



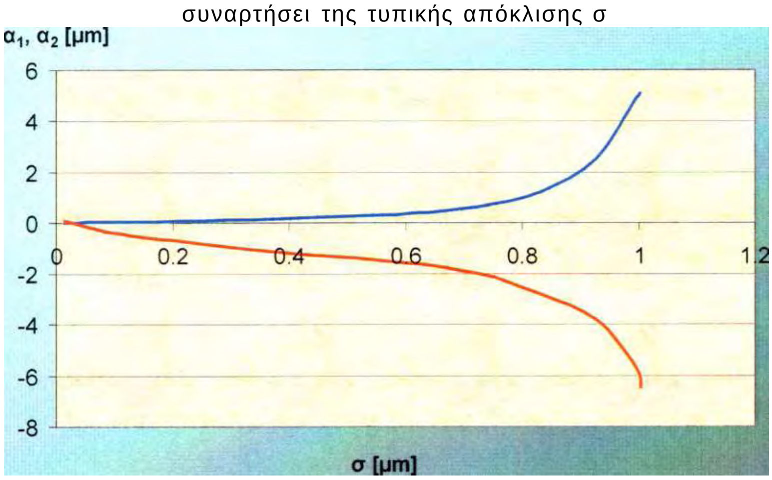
Σχήμα 3.1.1.1Κατατομή κατά μήκος της γενέτειρας του κυλίνδρου, μήκος μέτρησης 5000 μιη, εμφάνιση 100 πρώτων σημείων από 2000.

Κατανομή φραγμένη άνω - κάτω

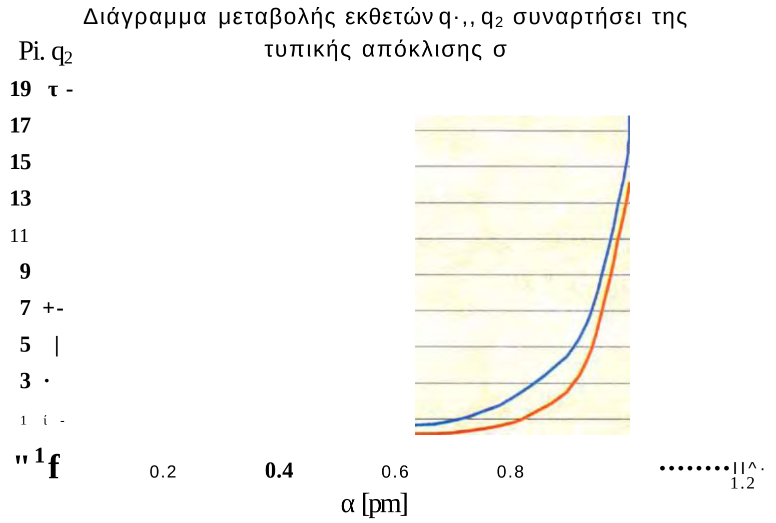


Σχήμα 3.1.1.2 Συνάρτηση κατανομής υψομέτρων σημείων του παραπάνω διαγράμματος

Συγκεντρωτικό Διάγραμμα μεταβολής ορίων συναρτήσει της τυπικής απόκλισης σ



Σχήμα 3.1.1.3 Διάγραμμα μεταβολής ορίων κατανομής επεξεργασμένης κατατομής.



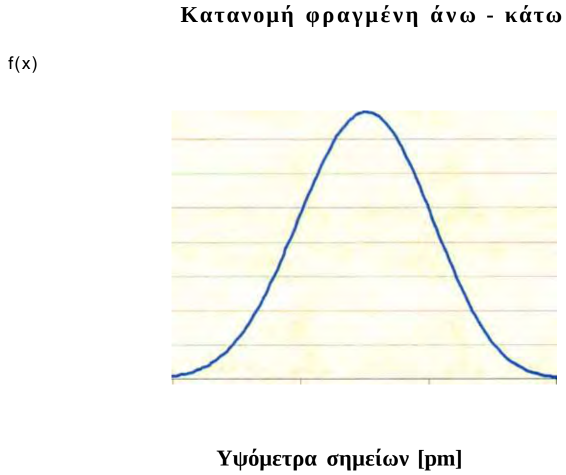
Σχήμα 3.1.1.4 Διάγραμμα μεταβολής εκθετών συνάρτησης κατανομής επεξεργασμένης κατατομής

σ	qi	q2	αϊ	α2
1.002082	14.076247	17.89422404	6.487523979	5.103322108
0.996247	12.648976	14.74655015	-5.732046574	4.916710584
0.927898	4.0715808	6.181156508	-3.835151789	2.526247386
0.833003	1.2247522	2.800745501	-2.823895399	1.234875561
0.725797	0.3491637	1.10388837	-2.021234739	0.639323556
0.602014	0.1254885	0.526496975	-1.584913312	0.377757962
0.420533	0.0672468	0.385723826	-1.214033135	0.211653679
0.248781	0.0342461	0.275774164	-0.808029563	0.100342596
0.097999	0.0189529	0.230302744	-0.381821945	0.031422253
0.014352	0.007469	0.242350064	0.091396373	0.002816731

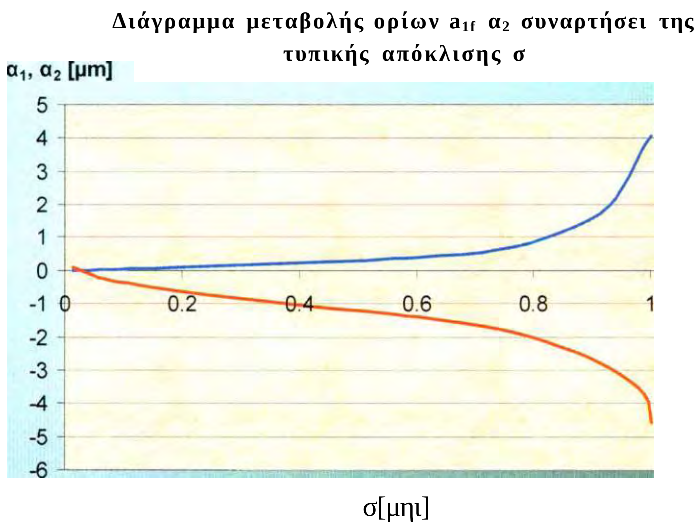
Πίνακας 3.1.1.α Χαρακτηριστικές τιμές σ , ql, q2, αϊ, α2 σε διαφορετικά στάδια φθοράς

- Δείγμα 1β

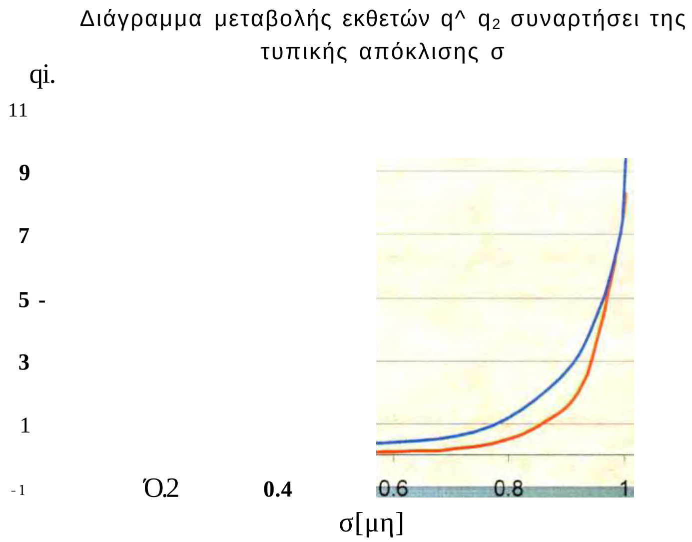
Σχήμα 3.1.1.5 Κατατομή κατά μήκος της γενέτειρας του κυλίνδρου, μήκος μέτρησης 5000 pm, εμφάνιση 100 πρώτων σημείων από 2000.



Σχήμα 3.1.1.6 Συνάρτηση κατανομής υψομέτρων σημείων του παραπάνω διαγράμματος



Σχήμα 3.1.1.7Διάγραμμα μεταβολής ορίων κατανομής επεξεργασμένης κατατομής



Σχήμα 3.1.1.8 Διάγραμμα μεταβολής εκθετών συνάρτησης κατανομής επεξεργασμένης κατατομής

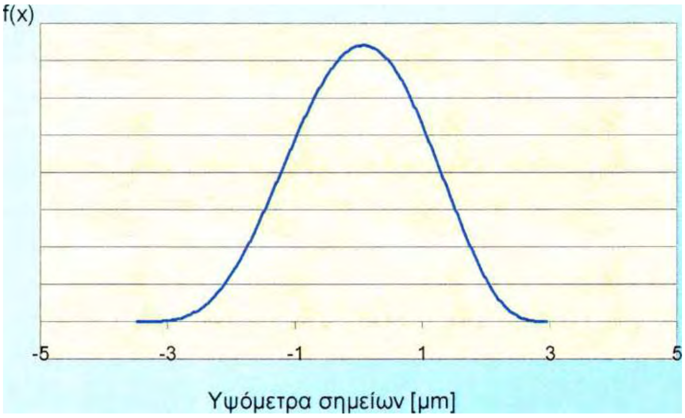
α	qi	q2	αϊ	α_2
1.001695	**8.2905993**	**9.382053691**	**-4.60463**	**4.06895296**
0.990046	**6.7115981**	**6.723621021**	**-3.76492**	**3.75818727**
0.931005	**2.3694949**	**3.4879212**	**-2.95793**	**2.00944822**
0.846435	**0.8624794**	**1.769101648**	**-2.31017**	**1.12626209**
0.741048	**0.2701524**	**0.753541189**	**-1.76063**	**0.63120418**
0.605074	**0.1174327**	**0.423479108**	**-1.42633**	**0.39552679**
0.414452	**0.0717621**	**0.346192817**	**-1.08397**	**0.22469513**
0.233532	**0.0464925**	**0.318921507**	**-0.71471**	**0.10419064**
0.076025	**0.023125**	**0.292292141**	**-0.30999**	**0.0245256**
0.014352	**0.007469**	**0.242350064**	**0.091396**	**0.00281673**

Πίνακας 3.1.1.β Χαρακτηριστικές τιμές σ , ql, q2. αϊ, α2 σε διαφορετικά στάδια φθοράς

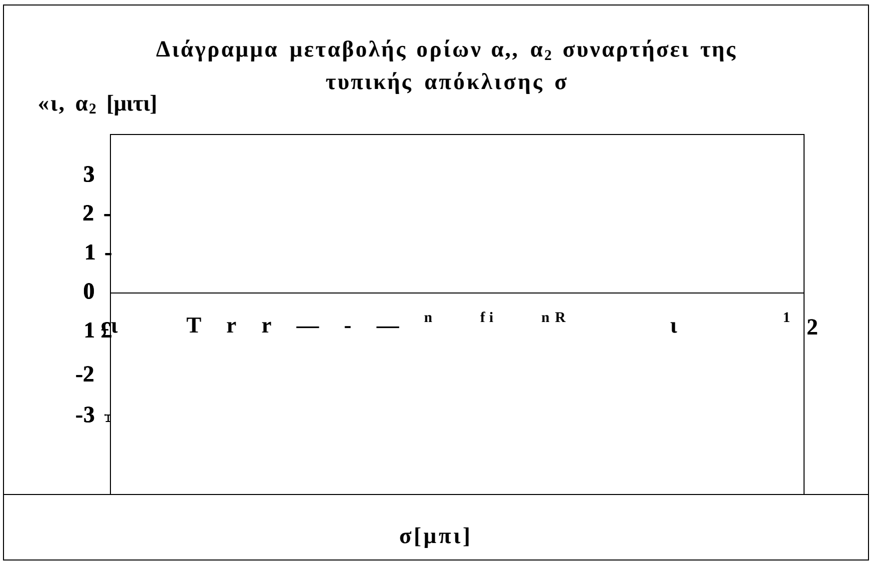
• Δείγμα 1γ

Σχήμα 3.1.1.9 Κατατομή κατά μήκος της γενέτειρας του κυλίνδρου, μήκος μέτρησης 5000 μιη, εμφάνιση 100 πρώτων σημείων από 2000.

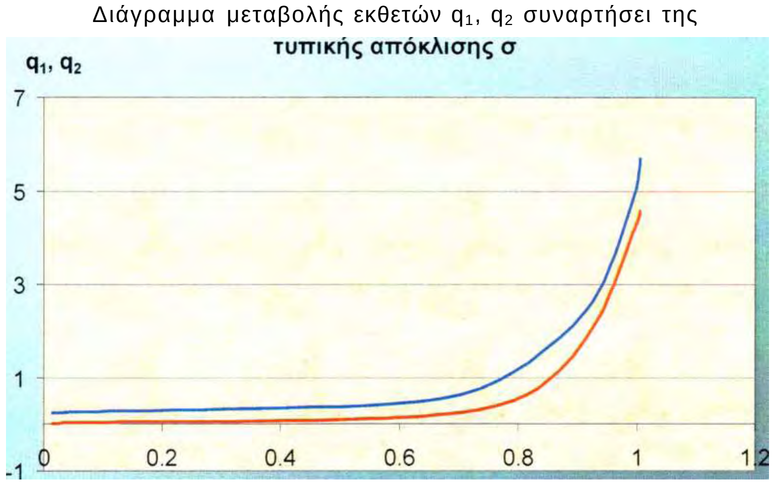
Κατανομή φραγμένη άνω - κάτω



Σχήμα 3.1.1.10 Συνάρτηση κατανομής υψομέτρων σημείων του παραπάνω διαγράμματος



Σχήμα 3.1.3.15 Διάγραμμα μεταβολής ορίων κατανομής επεξεργασμένης κατατομής.



σ [pm]

Σχήμα 3.1.1.12 Διάγραμμα μεταβολής εκθετών συνάρτησης κατανομής της επεξεργασμένης κατατομής

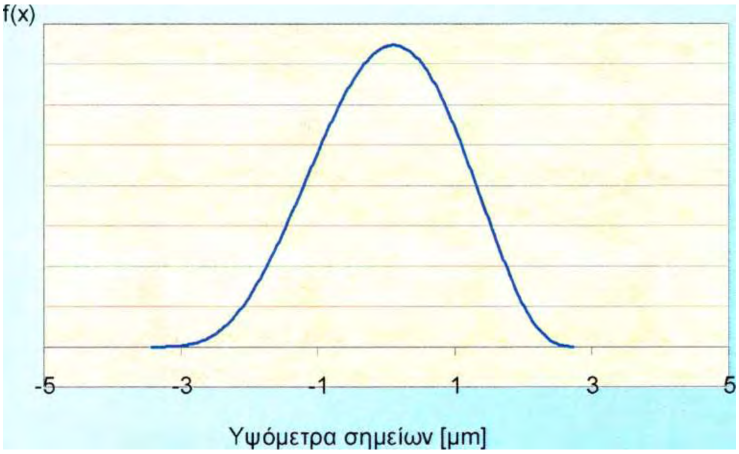
α	qi	q2	αϊ	α2
1.005696	4.5651817	5.684694271	-3.76414	3.0228473
0.999026	4.2859754	5.034360973	-3.47833	2.9612583
0.93487	2.2421603	2.828853935	-2.58734	2.0507359
0.843422	0.865756	1.580792237	-2.11581	1.15877119
0.734687	0.2988083	0.751848714	-1.66885	0.66325437
0.590718	0.1297459	0.432602999	-1.34824	0.40436279
0.399036	0.0753781	0.342780724	-1.01335	0.22283801
0.215949	0.0451946	0.299370751	-0.64447	0.09729293
0.058138	0.0208477	0.261096537	-0.23295	0.01860054
0.014352	0.007469	0.242350064	0.091396	0.00281673

Πίνακας 3.1.1.γ Χαρακτηριστικές τιμές σ , ql, q2, αϊ, α2 σε διαφορετικά στάδια φθοράς

• <u>Δείγμα 1δ</u>

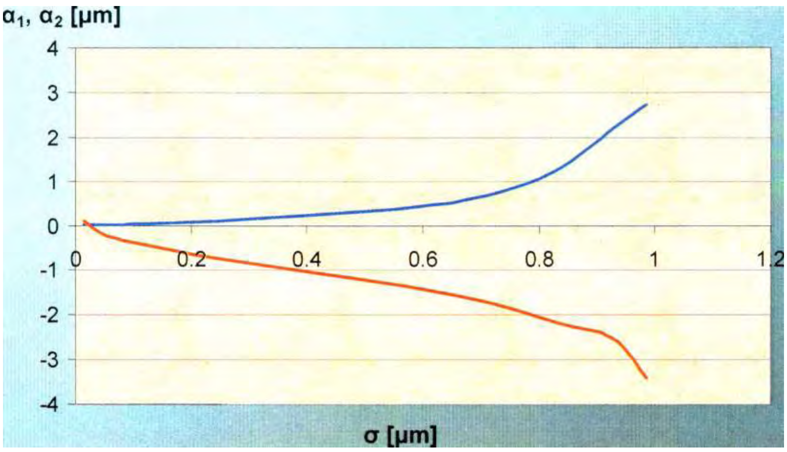
Σχήμα 3.1.1.13 Κατατομή κατά μήκος της γενέτειρας του κυλίνδρου, μήκος μέτρησης 5000 μιπ, εμφάνιση 100 πρώτων σημείων από 2000.

Κατανομή φραγμένη άνω - κάτω



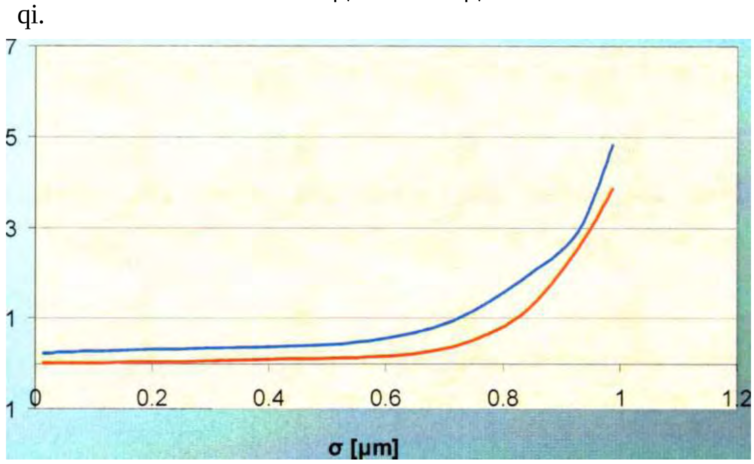
Σχήμα 3.1.1.14 Συνάρτηση κατανομής υψομέτρων σημείων του παραπάνω διαγράμματος

Διάγραμμα μεταβολής ορίων α^ α2 συναρτήσει της τυπικής απόκλισης σ



Σχήμα 3.1.3.15 Διάγραμμα μεταβολής ορίων κατανομής επεξεργασμένης κατατομής.

Διάγραμμα μεταβολής εκθετών q_{1f} q_2 συναρτήσει της τυπικής απόκλισης σ



Σχήμα 3.1.1.16 Διάγραμμα μεταβολής εκθετών συνάρτησης κατανομής της επεξεργασμένης κατατομής

σ	qi	q2	αϊ	α2
0.985829	3.8524878	4.822674469	-3.43087	2.74067385
0.985675	3.8478067	4.810680015	-3.42519	2.73962975
0.927113	2.5306988	2.903633266	-2.51904	2.19550148
0.8303	1.0650487	1.847279073	-2.16289	1.24701275
0.713421	0.3758894	0.942934032	-1.72064	0.68591287
0.571736	0.143436	0.497369584	-1.36375	0.39329069
0.385223	0.0771931	0.374410664	-1.02216	0.2107419
0.205583	0.0440795	0.321597346	-0.64893	0.0889455
0.053763	0.0172237	0.247000585	-0.22892	0.01596271
0.014352	0.007469	0.242350064	0.091396	0.00281673

Πίνακας 3.1.1.6 Χαρακτηριστικές τιμές σ , ql, q2, αϊ, α2 σε διαφορετικά στάδια φθοράς

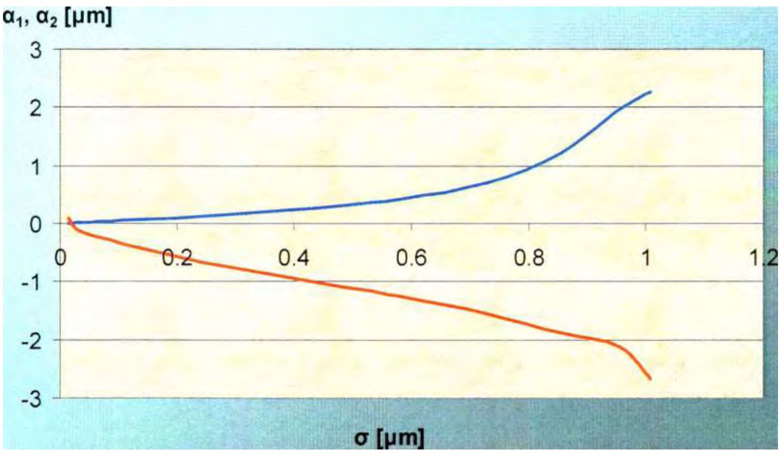
- Δείγμα 1ε

Σχήμα 3.1.1.17 Κατατομή κατά μήκος της γενέτειρας του κυλίνδρου, μήκος μέτρησης 5000 μm, εμφάνιση 100 πρώτων σημείων από 2000.

Υψόμετρα σημείων [μm]

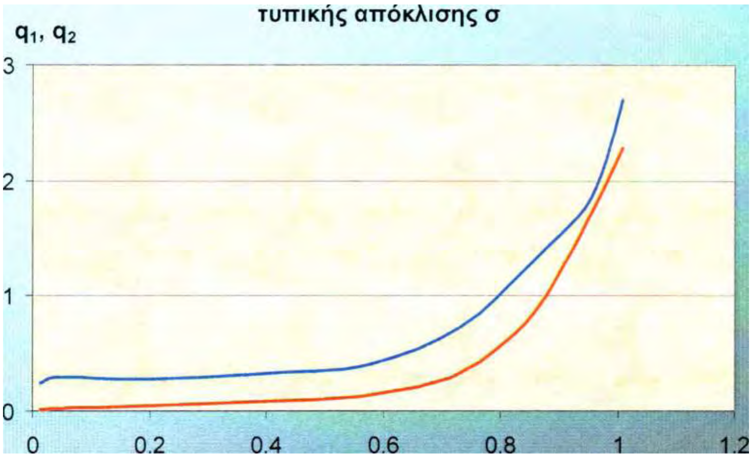
Σχήμα 3.1.1.18 Συνάρτηση κατανομής υψομέτρων σημείων του παραπάνω διαγράμματος

Διάγραμμα μεταβολής ορίων α_1, α_2 συναρτήσει της τυπικής απόκλισης σ



Σχήμα 3.1.3.15 Διάγραμμα μεταβολής ορίων κατανομής επεξεργασμένης κατατομής.

Διάγραμμα μεταβολής εκθετών q^ q_2 συναρτήσει της



σ [pm]

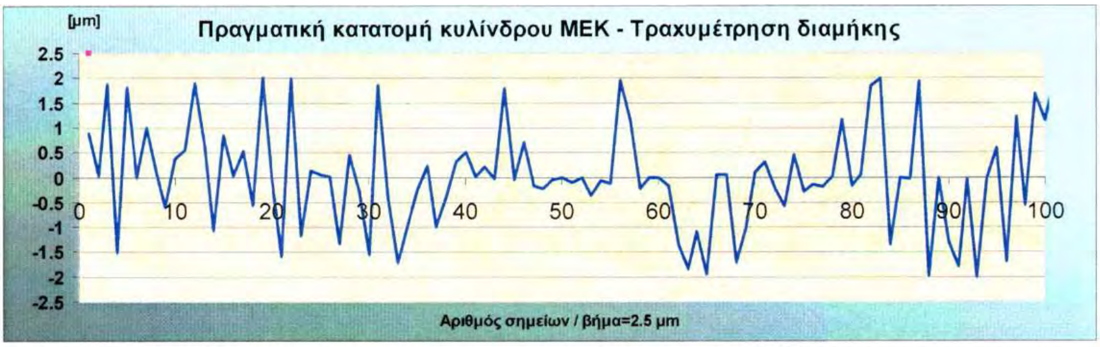
Σχήμα 3.1.1.20 Διάγραμμα μεταβολής εκθετών συνάρτησης κατανομής επεξεργασμένης κατατομής

σ	qi	q_2	α!	$α_2$
1.00782	**2.2835315**	**2.700585014**	**-2.68107**	**2.26703197**
1.00782	**2.2835315**	**2.700585014**	**-2.68107**	**2.26703197**
0.95573	**1.716245**	**1.858208858**	**-2.12698**	**1.96447912**
0.8551	**0.8362272**	**1.298168696**	**-1.88624**	**1.21503995**
0.729956	**0.3276919**	**0.723673057**	**-1.55366**	**0.70352546**
0.578044	**0.1361025**	**0.408379082**	**-1.24437**	**0.41471841**
0.384702	**0.0790059**	**0.323253846**	**-0.92147**	**0.22521448**
0.196683	**0.0447497**	**0.273601209**	**-0.5584**	**0.09133082**
0.036747	**0.021497**	**0.295300386**	**-0.15629**	**0.0113772**
0.014352	**0.007469**	**0.242350064**	**0.091396**	**0.00281673**

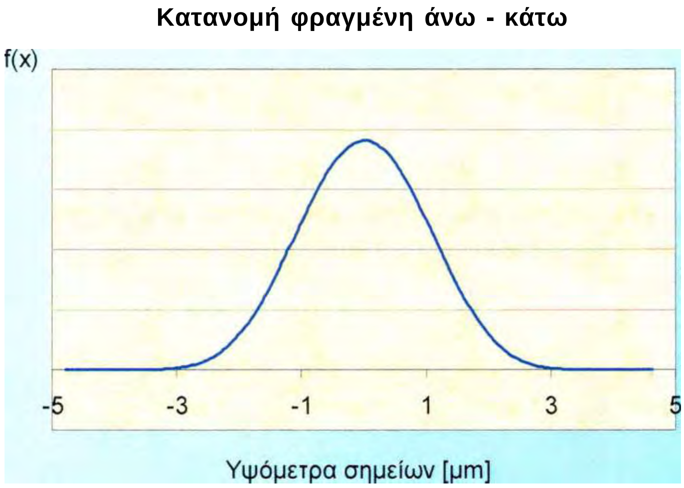
Πίνακας 3.1.1.ε Χαρακτηριστικές τιμές σ , ql, q2, αϊ, α2 σε διαφορετικά στάδια φθοράς

3.1.2 Δείγμα Κυλίνδρου 2 - Κινητήρας Τύπου Renault 561-1600cc

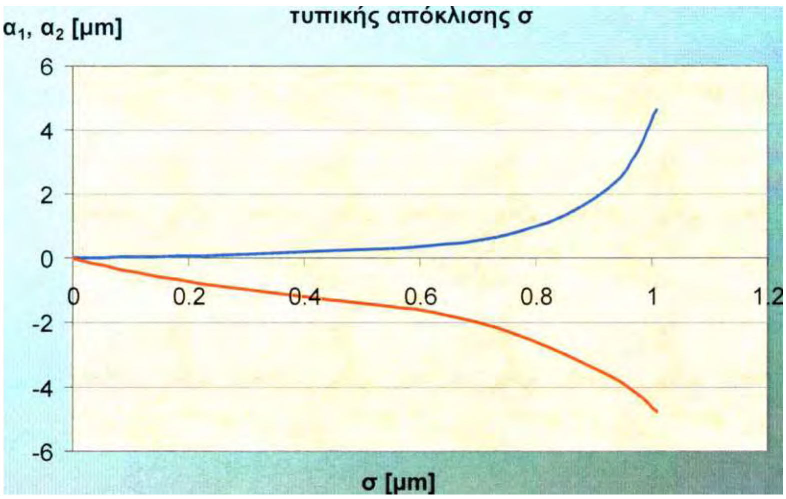
- Δείγμα 2α



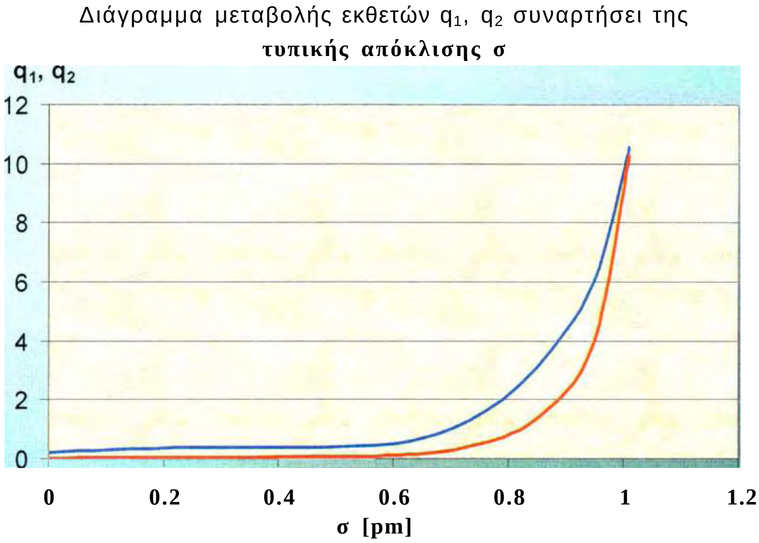
Σχήμα 3.1.2.1 Κατατομή κατά μήκος της γενέτειρας του κυλίνδρου, μήκος μέτρησης 5000 μηι, εμφάνιση 100 πρώτων σημείων από 2000.



Σχήμα 3.1.2.2 Συνάρτηση κατανομής υψομέτρων σημείων του παραπάνω διαγράμματος



Σχήμα 3.1.3.15 Διάγραμμα μεταβολής ορίων κατανομής επεξεργασμένης κατατομής.



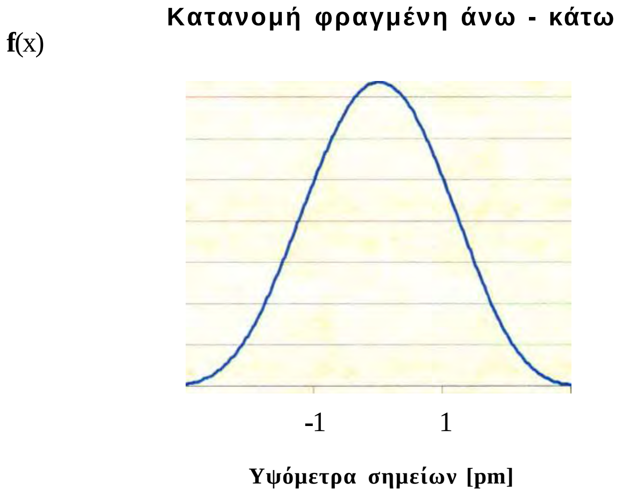
Σχήμα 3.1.2.4 Διάγραμμα μεταβολής εκθετών συνάρτησης κατανομής της επεξεργασμένης κατατομής

σ	qi		CH	α_2
1.008454	10.248876	10.55319127	-4.77814	4.64035286
1.008299	10.224517	10.51048083	-4.76606	4.63638402
0.946616	3.9314623	5.999015305	-3.86595	2.53355569
0.84796	1.3194309	3.06439658	-2.99847	1.29104649
0.732986	0.3938593	1.289525725	-2.17261	0.66357876
0.609204	0.1192023	0.528253794	-1.64607	0.37144173
0.432549	0.0658472	0.391714293	-1.27369	0.21410809
0.261218	0.0434491	0.361187767	-0.89261	0.10737629
0.111703	0.0220638	0.300189599	-0.47378	0.03482275
0.00248	0.0026837	0.217841047	-0.02468	0.00030409

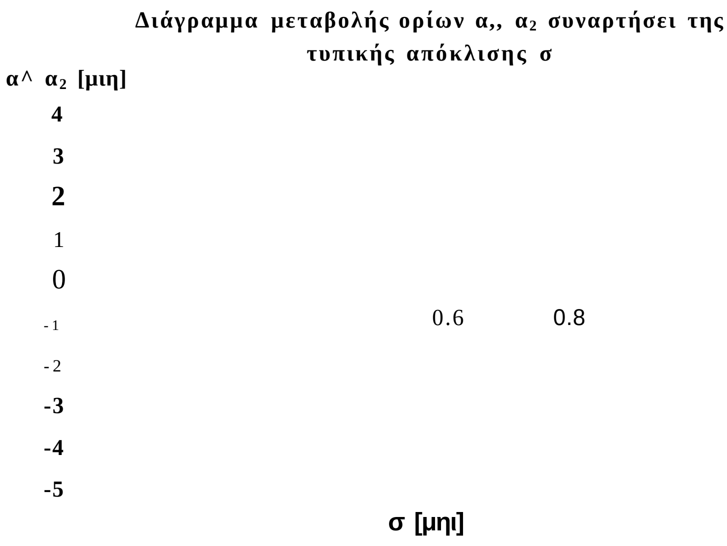
Πίνακας 3.1.2.α Χαρακτηριστικές τιμές σ , ql, q2, αϊ, α2 σε διαφορετικά στάδια φθοράς

- **Αείγμα 2β**

Σχήμα 3.1.2.5 Κατατομή κατά μήκος της γενέτειρας του κυλίνδρου, μήκος μέτρησης 5000 μπι, εμφάνιση 100 πρώτων σημείων από 2000.

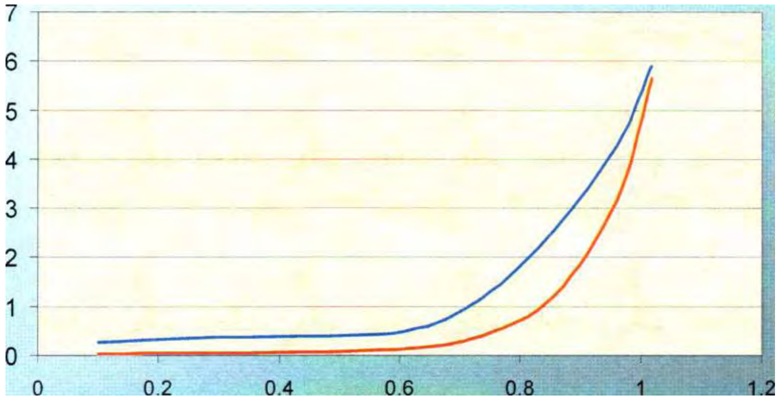


Σχήμα 3.1.2.6 Συνάρτηση κατανομής υψομέτρων σημείων του παραπάνω διαγράμματος



Σχήμα 3.1.3.15 Διάγραμμα μεταβολής ορίων κατανομής επεξεργασμένης κατατομής.

Διάγραμμα μεταβολής εκθετών q·,, q_2 συναρτήσει της
τυπικής απόκλισης σ



o [μm]

Σχήμα 3.1.2.8 Διάγραμμα μεταβολής εκθετών συνάρτησης κατανομής επεξεργασμένης κατατομής

σ	qi	Q2	α_1	α_2
1.016351	**5.6368169**	**5.908177698**	**-3.68543**	**3.51616355**
1.016351	**5.6368169**	**5.908177698**	**-3.68543**	**3.51616355**
0.959391	**3.1625095**	**4.273519401**	**-3.23923**	**2.39710992**
0.855221	**1.2210399**	**2.556046088**	**-2.70445**	**1.29193438**
0.735717	**0.3818826**	**1.150751064**	**-2.03246**	**0.67448314**
0.609289	**0.1210183**	**0.493215091**	**-1.56278**	**0.38345443**
0.427564	**0.0700799**	**0.383873126**	**-1.20663**	**0.22028203**
0.25268	**0.0447222**	**0.345717947**	**-0.82841**	**0.10716385**
0.100136	**0.0203406**	**0.262728413**	**-0.40765**	**0.03156051**
1.016351	**5.6368169**	**5.908177698**	**-3.68543**	**3.51616355**

Πίνακας 3.1.1.α Χαρακτηριστικές τιμές σ , ql, q2, αϊ, α2 σε διαφορετικά στάδια φθοράς

- **Δείγμα 2γ**

Σχήμα 3.1.2.9 Κατατομή κατά μήκος της γενέτειρας του κυλίνδρου, μήκος μέτρησης 5000 μηι, εμφάνιση 100 πρώτων σημείων από 2000.

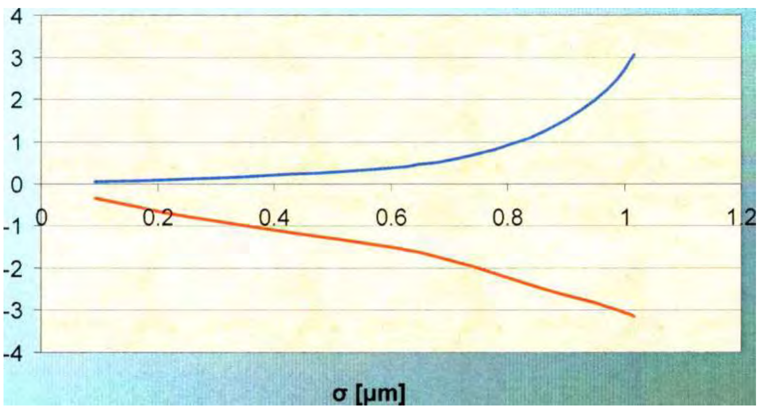
Κατανομή φραγμένη άνω - κάτω

Υψόμετρα σημείων [pm]

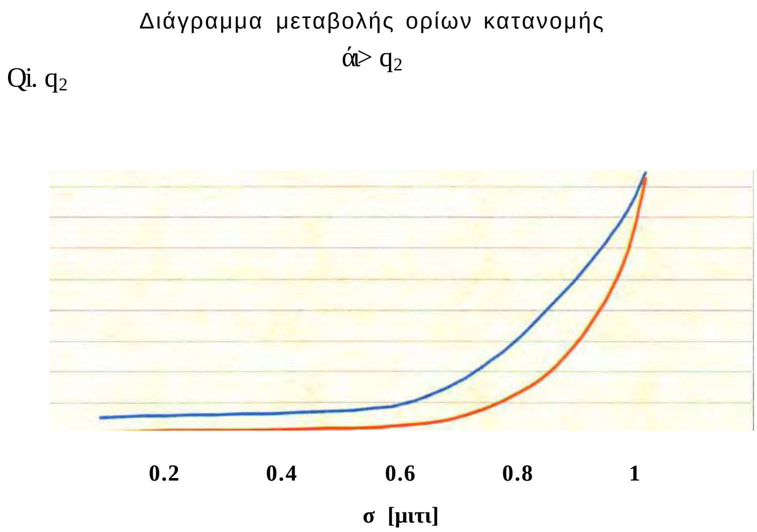
Σχήμα 3.1.2.10 Συνάρτηση κατανομής υψομέτρων σημείων του παραπάνω διαγράμματος

Διάγραρρα μεταβολής ορίων α,, $α_2$ συναρτήσει της τυπικής απόκλισης σ

a_u $α_2$ [pm]



Σχήμα 3.1.3.15 Διάγραμμα μεταβολής ορίων κατανομής επεξεργασμένης κατατομής.



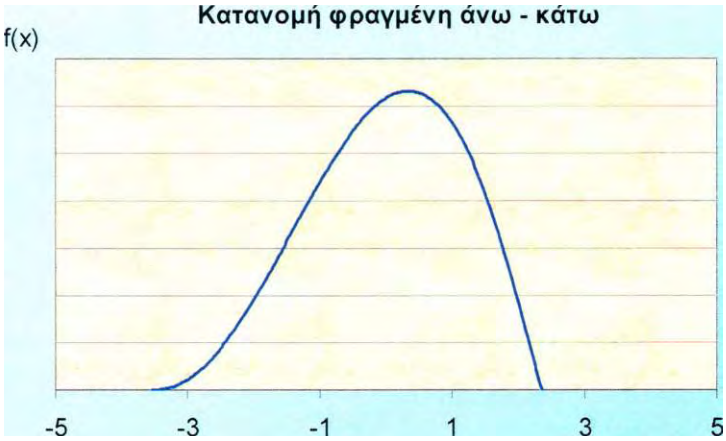
Σχήμα 3.1.2.12 Διάγραμμα μεταβολής εκθετών συνάρτησης κατανομής επεξεργασμένης κατατομής

σ	qi	q2	αϊ	α_2
1.015666	**4.118231**	**4.227804689**	**-3.14606**	**3.06452105**
1.015666	**4.118231**	**4.227804689**	**-3.14606**	**3.06452105**
0.968386	**2.5385065**	**3.359500085**	**-2.92589**	**2.21086509**
0.866885	**1.1063021**	**2.181388964**	**-2.52059**	**1.27833145**
0.742101	**0.3825682**	**1.094495738**	**-1.97553**	**0.6905246**
0.608553	**0.1238521**	**0.484780049**	**-1.52703**	**0.39012745**
0.427011	**0.0658913**	**0.346041672**	**-1.16278**	**0.2214092**
0.249904	**0.0432972**	**0.314760997**	**-0.78522**	**0.1080121**
0.094162	**0.0215674**	**0.25948587**	**-0.36967**	**0.03072579**
1.015666	**4.118231**	**4.227804689**	**-3.14606**	**3.06452105**

Πίνακας 3.1.2.γ Χαρακτηριστικές τιμές σ , ql, q2, αϊ, α2 σε διαφορετικά στάδια φθοράς

- <u>Δείγμα 2δ</u>

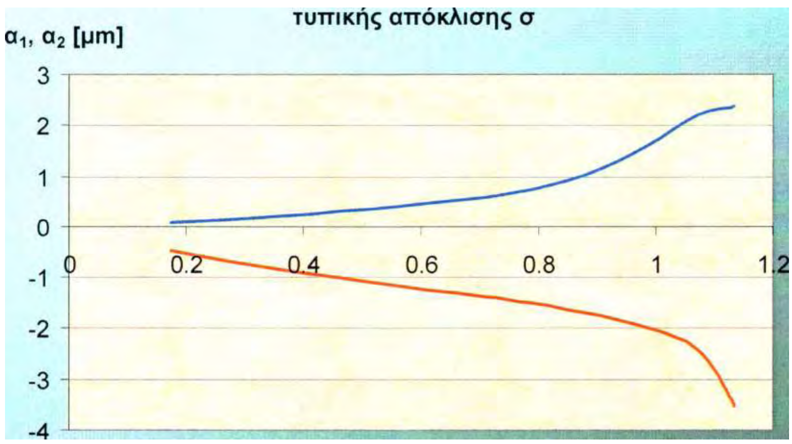
Σχήμα 3.1.2.13 Κατατομή κατά μήκος της γενέτειρας του κυλίνδρου, μήκος μέτρησης 5000 pm, εμφάνιση 100 πρώτων σημείων από 2000.



Υψόμετρα σημείων [μιτι]

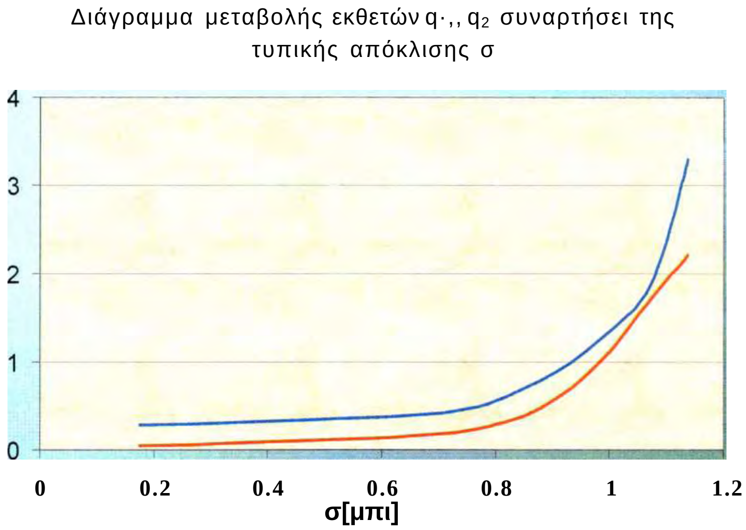
Σχήμα 3.1.2.14 Συνάρτηση κατανομής υψομέτρων σηρείων του παραπάνω διαγράμματος

Διάγραρρα ρεταβολής ορίων α^ α$_2$ συναρτήσει της



<u>**σ [pm]**</u>

Σχήμα 3.1.3.15 Διάγραμμα μεταβολής ορίων κατανομής επεξεργασμένης κατατομής.



Σχήμα 3.1.2.16 Διάγραμμα μεταβολής εκθετών συνάρτησης κατανομής επεξεργασμένης κατατομής με την μέθοδο φίλτρου αποκοπής

σ	qi	q2	αϊ	α2
1.134682	2.2063524	3.295627093	-3.53613	2.3673652
1.13007	2.1533501	3.126011565	-3.41194	2.35030985
1.072054	1.7267775	1.894533251	-2.41397	2.20022129
0.984348	1.0070037	1.257086893	-1.987	1.59170589
0.876491	0.4665873	0.78698629	-1.70884	1.01313276
0.749913	0.2140259	0.469559892	-1.44126	0.65692597
0.562667	0.1258738	0.364119716	-1.16815	0.40382115
0.363269	0.0800347	0.316574731	-0.85382	0.21585738
0.174108	0.0467841	0.286016063	-0.49699	0.08129353
1.134682	2.2063524	3.295627093	-3.53613	2.3673652

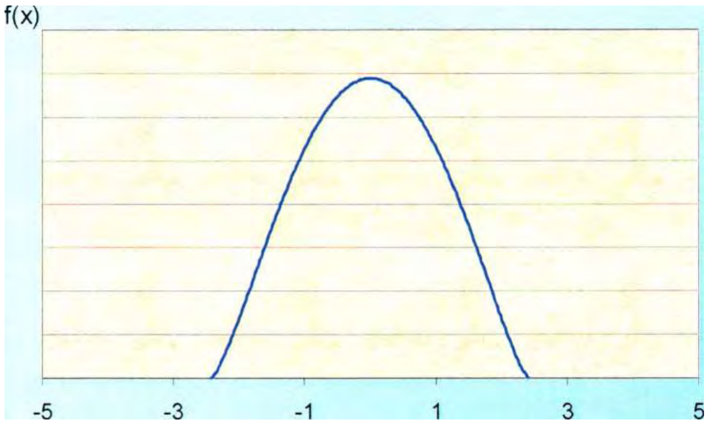
Πίνακας 3.1.1.α Χαρακτηριστικές τιμές σ , q1, q2, αϊ, α2 σε διαφορετικά στάδια φθοράς

- <u>Δείγμα 2ε</u>

Πραγματική κατατομή κυλίνδρου ΜΕΚ - Τραχυμέτρηση διαμήκης

Σχήμα 3.1.2.17 Κατατομή κατά μήκος της γενέτειρας του κυλίνδρου, μήκος μέτρησης 5000 μιη, εμφάνιση 100 πρώτων σημείων από 2000.

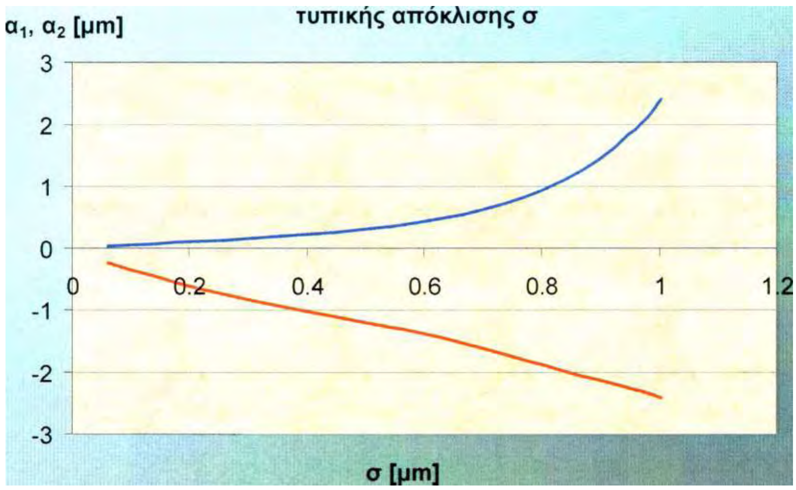
Κατανομή φραγμένη άνω - κάτω



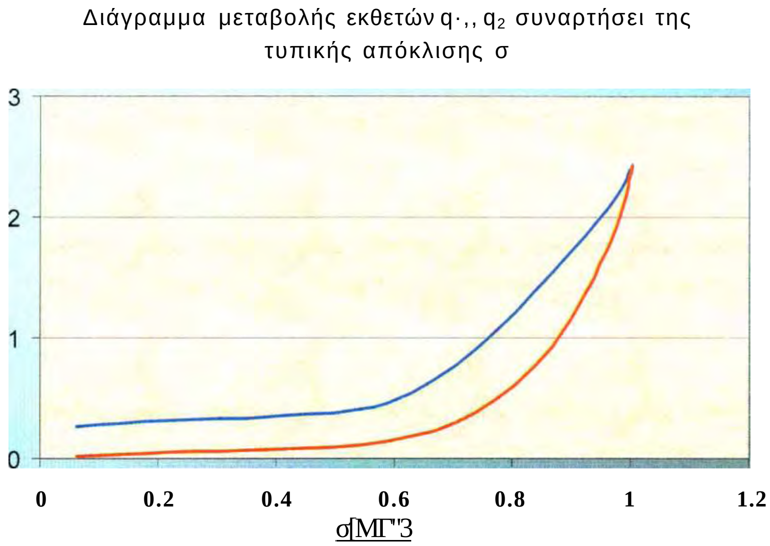
Υψόμετρα σημείων [μιτι]

Σχήμα 3.1.2.18 Συνάρτηση κατανομής υψομέτρων σημείων του παραπάνω διαγράμματος

Διάγραρρα μεταβολής ορίων $α_1$; $α_2$ συναρτήσει της



Σχήμα 3.1.3.15 Διάγραμμα μεταβολής ορίων κατανομής επεξεργασμένης κατατομής.



Σχήμα 3.1.2.20 Διάγραμμα μεταβολής εκθετών συνάρτησης κατανομής επεξεργασμένης κατατομής

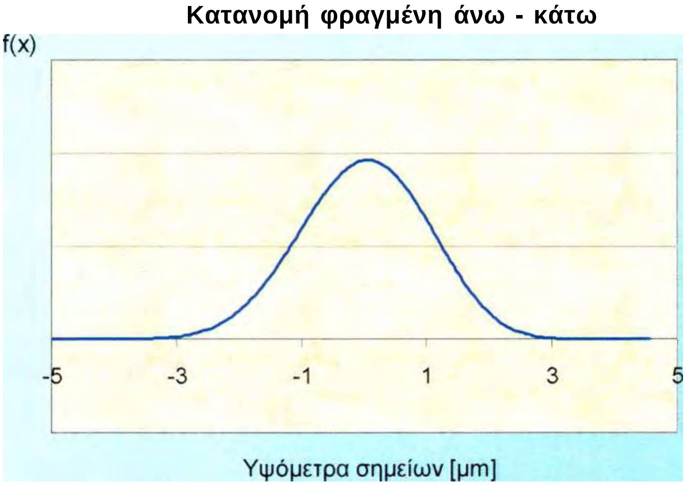
α	qi	q2	αϊ	$α_2$
1.001727	2.4170038	2.431059338	-2.42949	2.41543983
1.001727	2.4170038	2.431059338	-2.42949	2.41543983
0.967592	1.824343	2.116537761	-2.31662	1.99680075
0.86649	0.9249684	1.537828881	-2.07906	1.25050831
0.735911	0.3746745	0.903712219	-1.72515	0.71523841
0.588272	0.1375545	0.46176415	-1.36307	0.40604391
0.400716	0.0762996	0.350312251	-1.02555	0.22336925
0.21751	0.047414	0.320298479	-0.66115	0.09787051
0.060974	0.0206646	0.269840804	-0.2503	0.01916827
1.001727	2.4170038	2.431059338	-2.42949	2.41543983

Πίνακας 3.1.1.α Χαρακτηριστικές τιμές σ , ql, q2, αϊ, α2 σε διαφορετικά στάδια φθοράς

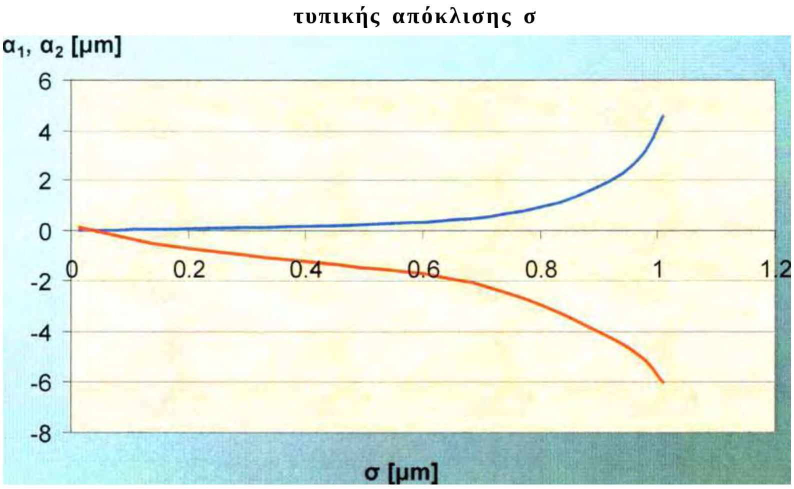
3.1.3 Δείγμα Κυλίνδρου 3 - Κινητήρας Τύπου Renault 688-1200cc

- **Δείγμα 3α**

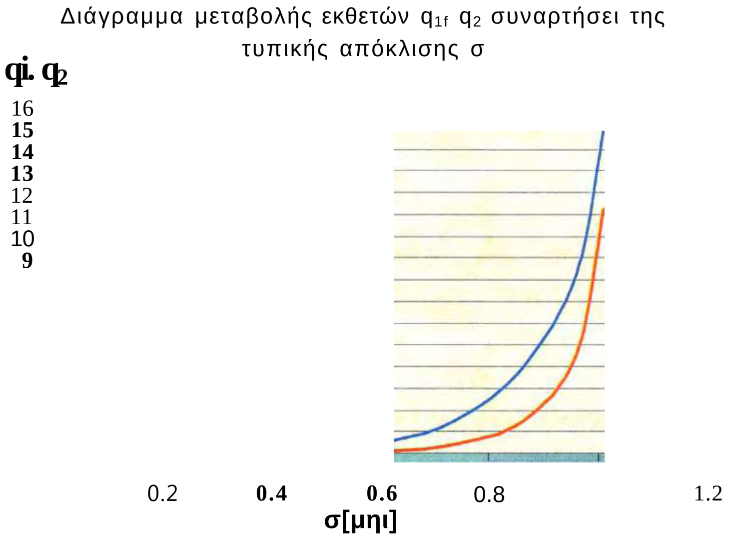
Σχήμα 3.1.3.1 Κατατομή κατά μήκος της γενέτειρας του κυλίνδρου, ρήκος ρέτρησης 5000 pm, εμφάνιση 100 πρώτων σηρείων από 2000.



Σχήμα 3.1.3.2 Συνάρτηση κατανομής υψομέτρων σημείων του παραπάνω διαγράμματος



Σχήμα 3.1.3.15 Διάγραμμα μεταβολής ορίων κατανομής επεξεργασμένης κατατομής.

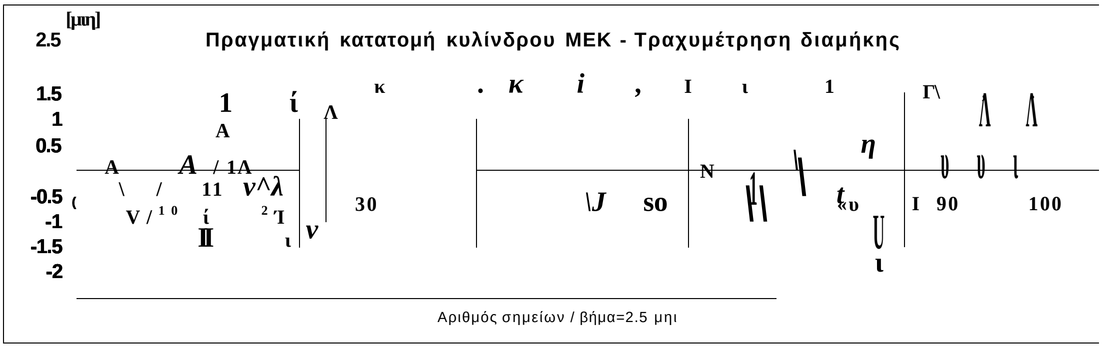


Σχήμα 3.1.3.4 Διάγραμμα μεταβολής εκθετών συνάρτησης κατανομής της επεξεργασμένης κατατομής

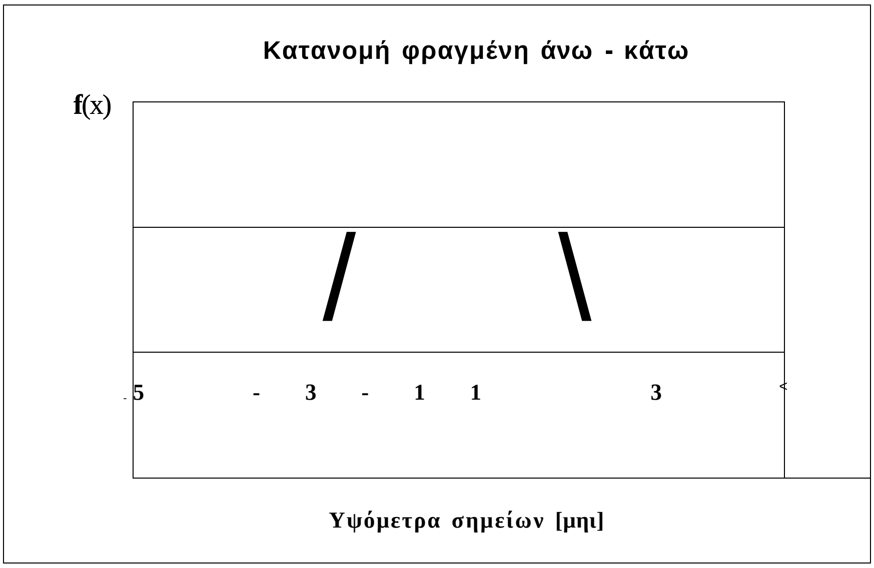
σ	qi	q2	αϊ	α2
1.008625	11.218164	14.84475086	-6.03591	4.56132828
1.008625	11.218164	14.84475086	-6.03591	4.56132828
0.960149	4.6098368	8.33710939	-4.82218	2.66632542
0.860692	1.4778363	3.95906744	-3.57412	1.33414507
0.740332	0.4168309	1.557867349	-2.4685	0.66048502
0.617944	0.1055683	0.535852523	-1.78367	0.35140124
0.452323	0.0498549	0.332053052	-1.37227	0.20603404
0.28817	0.0263155	0.225910119	-0.94483	0.1100596
0.138306	0.0198393	0.227006866	-0.5224	0.04565541
0.014352	0.007469	0.242350064	0.091396	0.00281673

Πίνακας 3.1.3.α Χαρακτηριστικές τιμές σ , ql, q2, αϊ, α2 σε διαφορετικά στάδια φθοράς

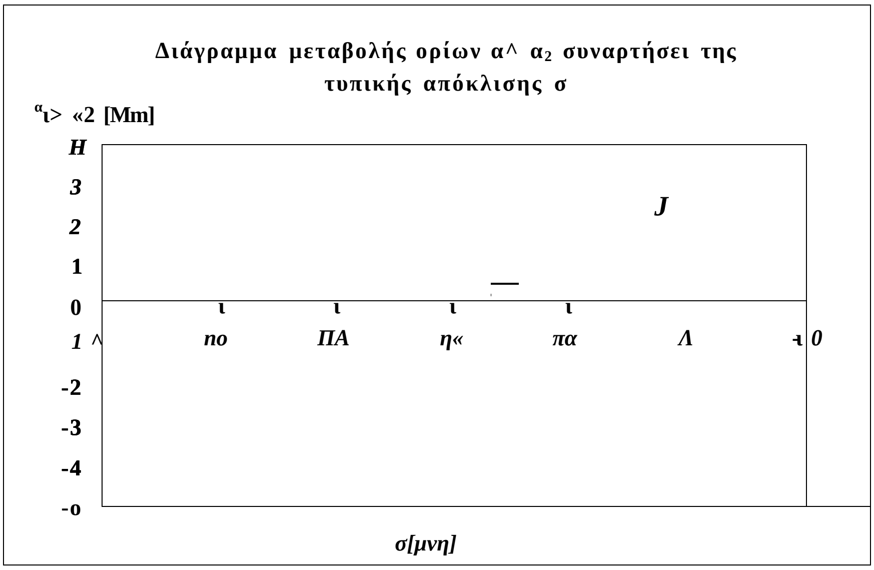
- **Δείγμα 3β**



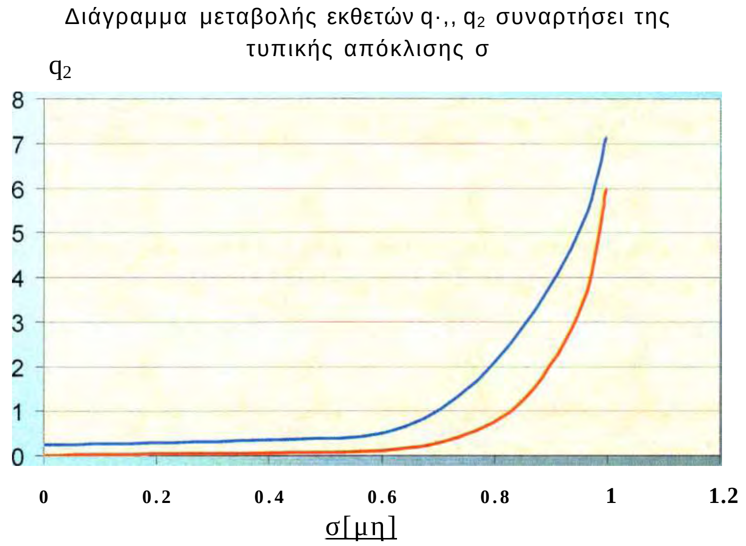
Σχήμα 3.1.3.5 Κατατομή κατά μήκος της γενέτειρας του κυλίνδρου, μήκος μέτρησης 5000 μιη, εμφάνιση 100 πρώτων σημείων από 2000.



Σχήμα 3.1.3.6 Συνάρτηση κατανομής υψομέτρων σημείων του παραπάνω διαγράμματος



Σχήμα 3.1.3.15 Διάγραμμα μεταβολής ορίων κατανομής επεξεργασμένης κατατομής.



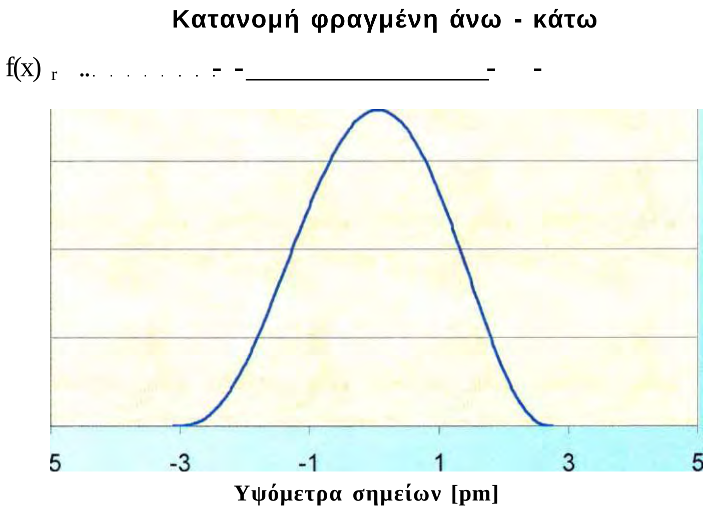
Σχήμα 3.1.3.8 Διάγραμμα μεταβολής εκθετών συνάρτησης κατανομής επεξεργασμένης κατατομής

σ	qi	q2	αϊ	α2
0.996427	5.9553341	7.121932113	-4.08837	3.41868124
0.996427	5.9553341	7.121932113	-4.08837	3.41868124
0.95635	3.4295266	5.222601872	-3.66653	2.4076981
0.857878	1.3122617	3.003277017	-2.99217	1.30740956
0.736124	0.4099712	1.349548242	-2.21863	0.6739853
0.606772	0.1135416	0.515655804	-1.6505	0.36342081
0.434679	0.060428	0.36387293	-1.27299	0.21140423
0.264482	0.0382919	0.313483805	-0.87984	0.10747155
0.113345	0.0201426	0.260836976	-0.46164	0.03564898
0.00115	0.0024203	0.243411676	-0.01287	0.00012798

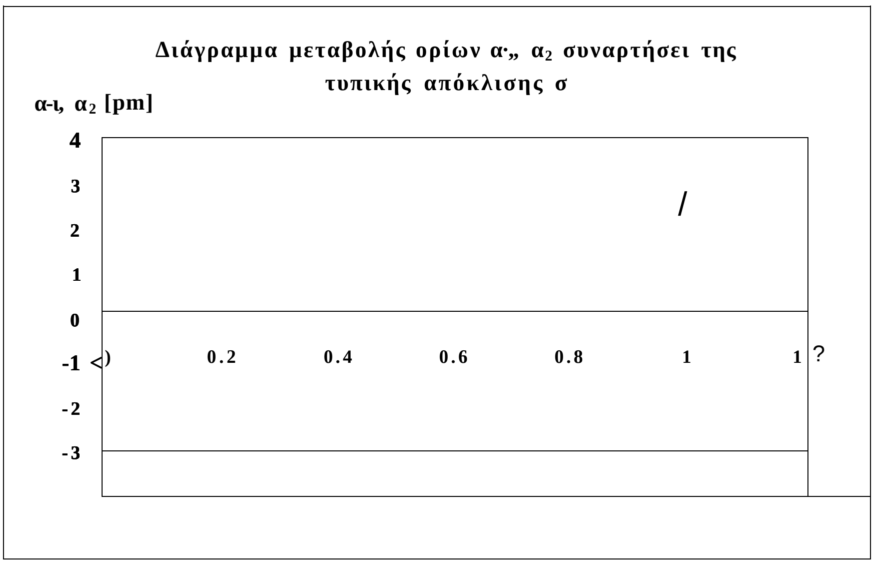
Πίνακας 3.1.1.α Χαρακτηριστικές τιμές σ , ql, q2, αϊ, α2 σε διαφορετικά στάδια φθοράς

- **Δείγμα 3γ**

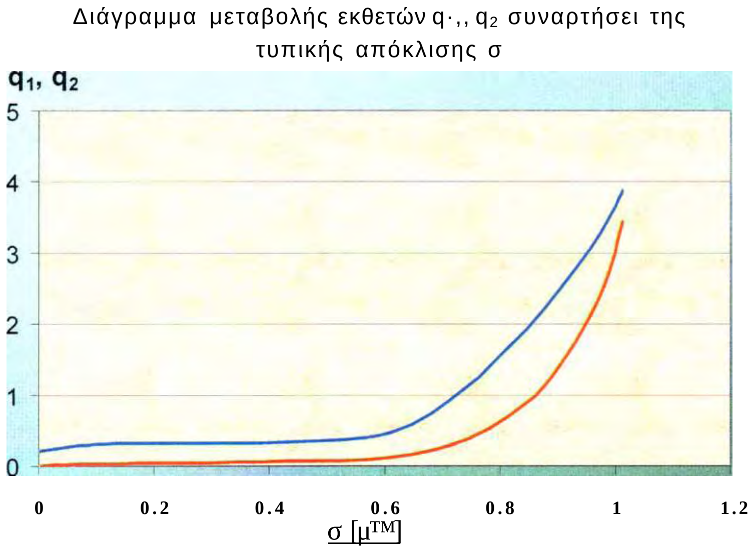
Σχήμα 3.1.3.9 Κατατομή κατά μήκος της γενέτειρας του κυλίνδρου, μήκος μέτρησης 5000 μιη, εμφάνιση 100 πρώτων σημείων από 2000.



Σχήμα 3.1.3.10 Συνάρτηση κατανομής υψομέτρων σημείων του παραπάνω διαγράμματος



Σχήμα 3.1.3.15 Διάγραμμα μεταβολής ορίων κατανομής επεξεργασμένης κατατομής.



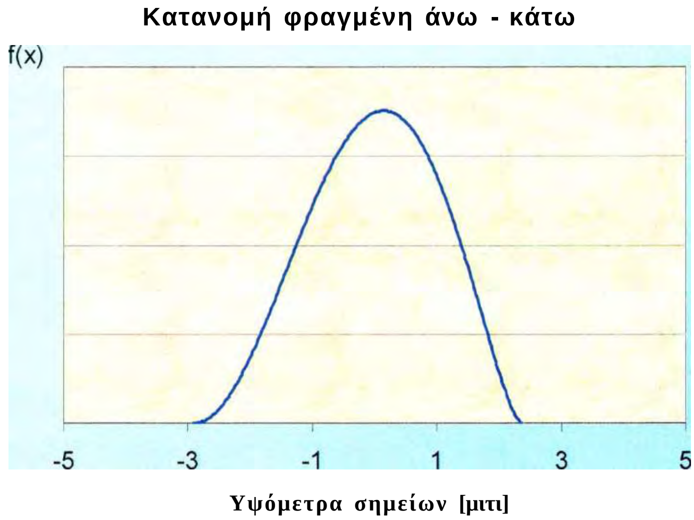
Σχήμα 3.1.3.12 Διάγραμμα μεταβολής εκθετών συνάρτησης κατανομής επεξεργασμένης κατατομής

σ	qi	q2	αϊ	$α_2$
1.012921	3.4382286	3.882105508	-3.10465	2.74966352
1.012921	3.4382286	3.882105508	-3.10465	2.74966352
0.976463	2.4327751	3.292891202	-2.94619	2.17663503
0.87505	1.1045591	2.202578268	-2.56447	1.28604404
0.746768	0.3891855	1.132034272	-2.02228	0.69524735
0.610092	0.1163252	0.468419768	-1.54119	0.38273161
0.432726	0.0655318	0.347372534	-1.18424	0.22340738
0.255577	0.0450264	0.329713464	-0.8109	0.11073803
0.099787	0.0247125	0.305915425	-0.40499	0.03271582
0.00248	0.0026837	0.217841047	-0.02468	0.00030409

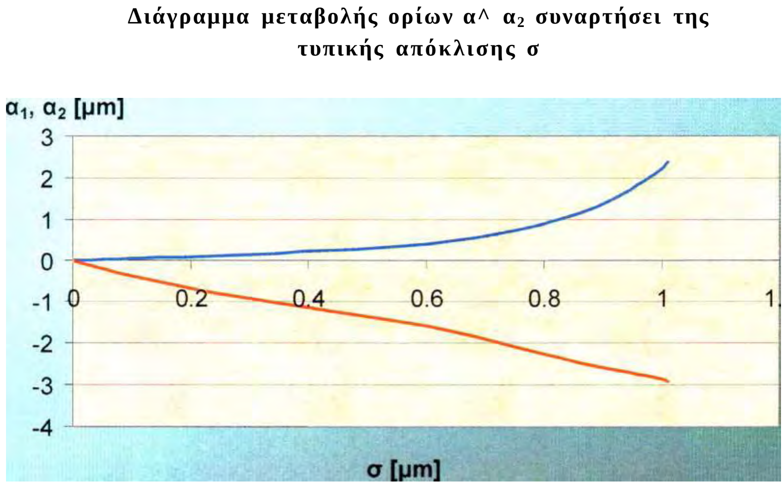
Πίνακας 3.1.1.α Χαρακτηριστικές τιμές σ , ql, q2, αϊ, α2 σε διαφορετικά στάδια φθοράς

• <u>Δείγμα 3δ</u>

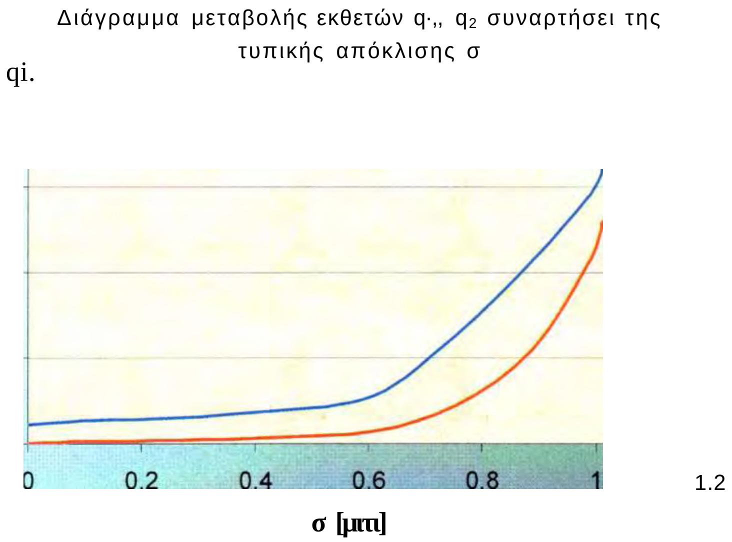
Σχήμα 3.1.3.13 Κατατομή κατά μήκος της γενέτειρας του κυλίνδρου, μήκος μέτρησης 5000 μιη, εμφάνιση 100 πρώτων σημείων από 2000.



Σχήμα 3.1.3.14 Συνάρτηση κατανομής υψομέτρων σημείων του παραπάνω διαγράμματος



Σχήμα 3.1.3.15 Διάγραμμα μεταβολής ορίων κατανομής επεξεργασμένης κατατομής.

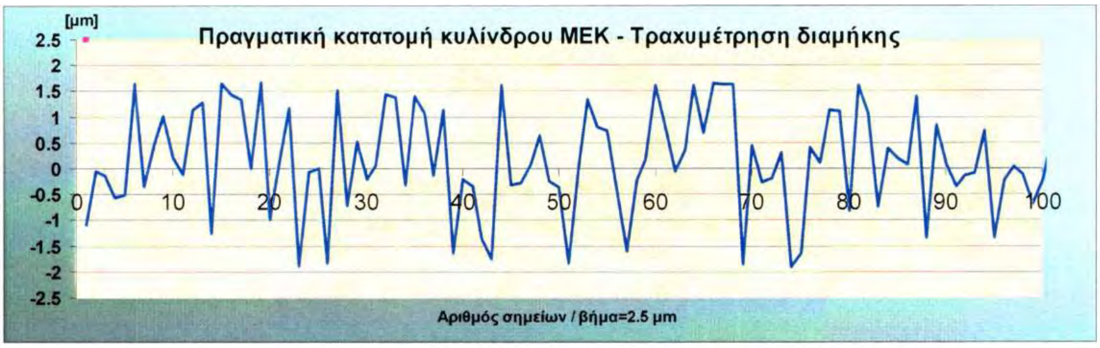


Σχήμα 3.1.3.16 Διάγραμμα μεταβολής εκθετών συνάρτησης κατανορής επεξεργασρένης κατατομής

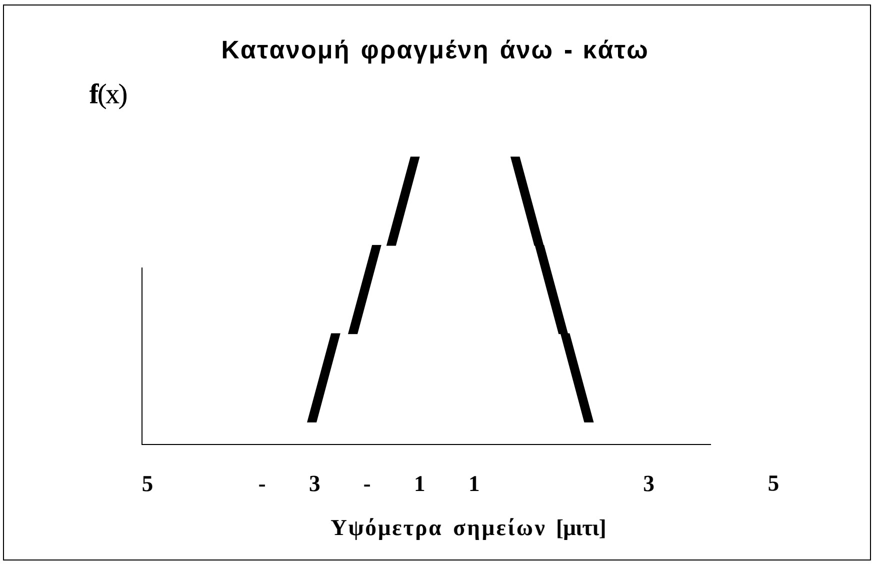
σ	qi	q2	αϊ	α_2
1.011008	2.5957192	3.204647611	-2.92942	2.37279024
1.011008	2.5957192	3.204647611	-2.92942	2.37279024
0.989725	2.148578	2.91774242	-2.8407	2.0918449
0.888649	1.0928322	2.13622459	-2.55505	1.30708944
0.753705	0.4368454	1.261651524	-2.10411	0.72854482
0.608005	0.1355107	0.558728033	-1.60697	0.38974575
0.435154	0.0688872	0.383704054	-1.23778	0.22222103
0.261564	0.0390626	0.30272082	-0.84345	0.10883761
0.108277	0.0223531	0.269330972	-0.42716	0.03545191
0.00248	0.0026837	0.217841047	-0.02468	0.00030409

Πίνακας 3.1.1.α Χαρακτηριστικές τιμές σ , ql, q2, αϊ, α2 σε διαφορετικά στάδια φθοράς

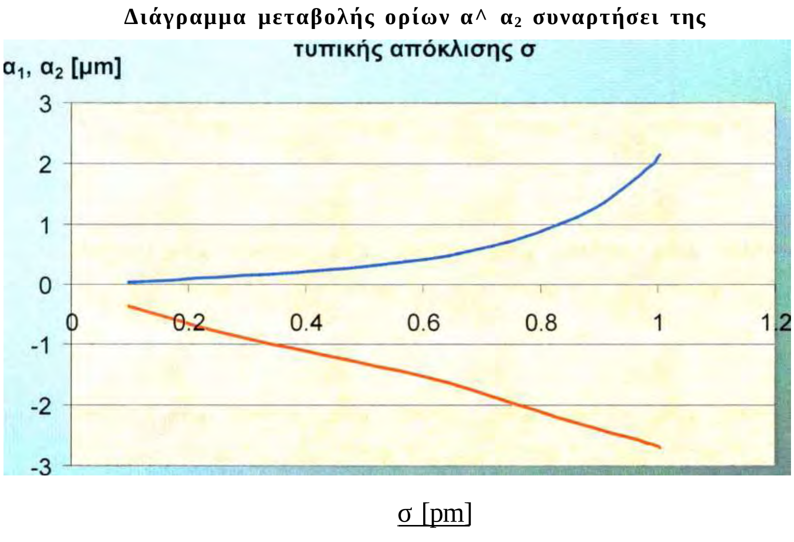
- **Δείγμα 3ε**



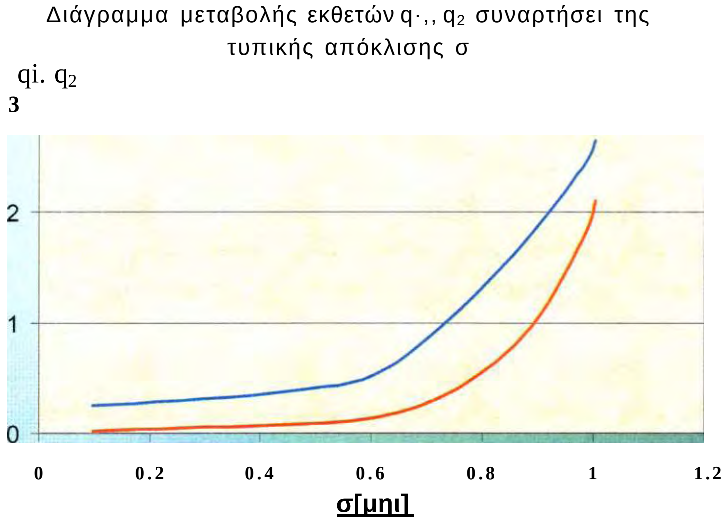
Σχήμα 3.1.3.17 Κατατομή κατά μήκος της γενέτειρας του κυλίνδρου, μήκος μέτρησης 5000 μπι, εμφάνιση 100 πρώτων σημείων από 2000.



Σχήμα 3.1.3.18 Συνάρτηση κατανομής υψομέτρων σημείων του παραπάνω διαγράμματος



Σχήμα 3.1.3.15 Διάγραμμα μεταβολής ορίων κατανομής επεξεργασμένης κατατομής.



Σχήμα 3.1.3.20 Διάγραμμα μεταβολής εκθετών συνάρτησης κατανομής επεξεργασμένης κατατομής

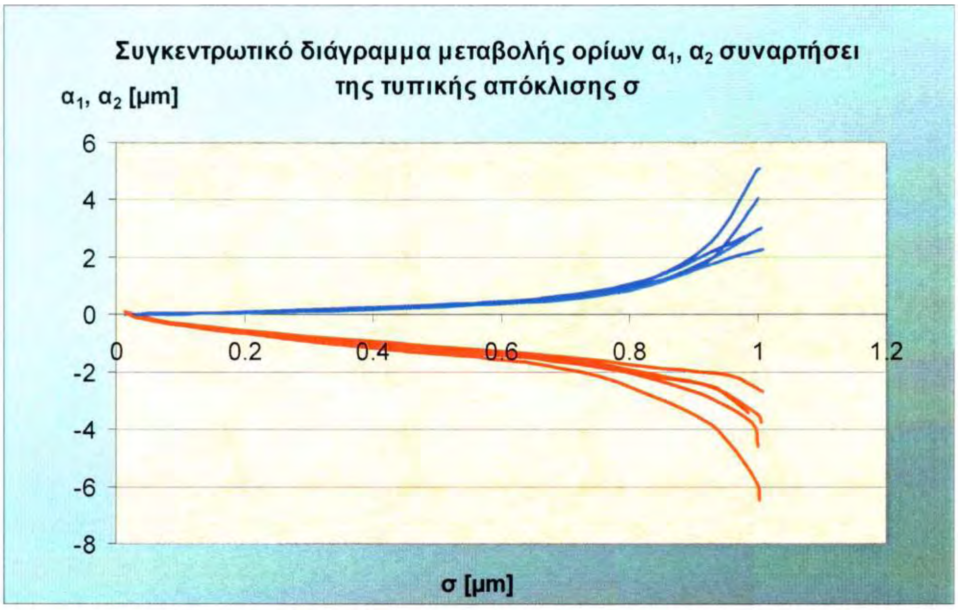
σ	qi	q2	αϊ	α2
1.002885	2.0997115	2.647198778	-2.69949	2.14118779
1.002885	2.0997115	2.647198778	-2.69949	2.14118779
0.988295	1.8455223	2.474066142	-2.6392	1.96869998
0.890733	0.9663216	1.810431702	-2.36939	1 26466806
0.755808	0.4052094	1.104752498	-1.97714	0.72519065
0.605385	0.1376985	0.533513999	-1.54048	0.39759317
0.428397	0.0695928	0.365703721	-1.17652	0.22388996
0.252042	0.0408078	0.299193341	-0.79001	0.10775117
0.096474	0.0213141	0.250925553	-0.37337	0.03171445
1.002885	2.0997115	2.647198778	-2.69949	2.14118779

Πίνακας 3.1.1.α Χαρακτηριστικές τιμές σ , ql, q2, αϊ, α2 σε διαφορετικά στάδια φθοράς

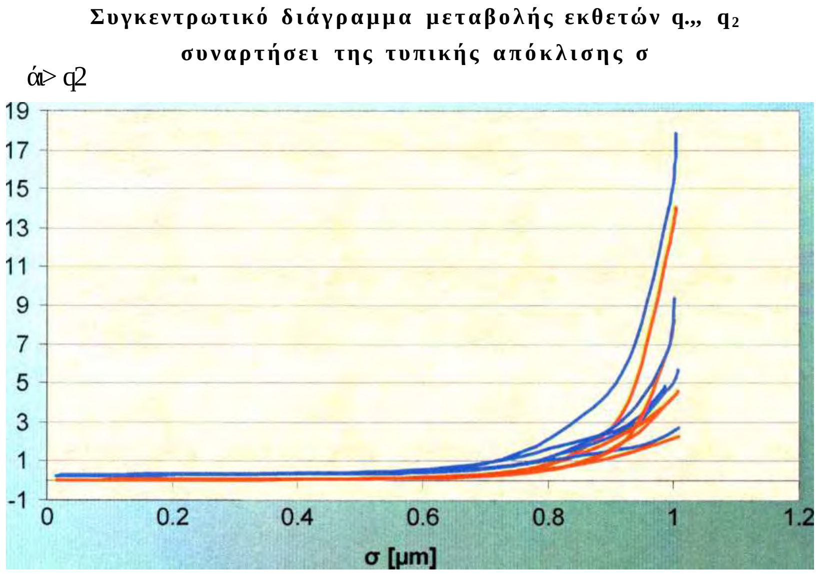
3.2 Συγκεντρωτικά Διαγράμματα Μεταβολής Ορίων και Εκθετών Κατανομής Πραγματικών Μετρήσεων

Στην συνέχεια για κάθε ένα από τους τρεις κυλίνδρους που μετρήθηκαν δίνονται τα συγκεντρωτικά διαγράρρατα των ορίων αϊ, α2 καθώς και των εκθετών ql, q2 των κατανομών συναρτήσει της τυπικής απόκλισης σ.

> **Αείγμα Κυλίνδρου 1 - Κινητήρας Τύπου Renault 529-2000cc**



Σχήμα 3.2.1 Συγκεντρωτικό διάγραμμα μεταβολής των ορίων α_1, α_2 σε συνάρτηση με την τυπική απόκλιση σ για τις πέντε μετρηθείς περιοχές κατά μήκος της γενέτειρας



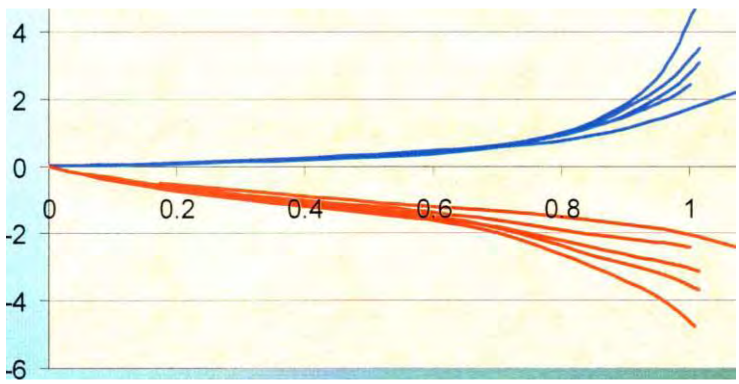
Σχήμα 3.2.2 Συγκεντρωτικό διάγραμμα μεταβολής των εκθετών qi, q2 σε συνάρτηση με την τυπική απόκλιση σ για τις πέντε μετρηθείς περιοχές κατά μήκος της γενέτειρας

> **Λείγμα Κυλίνδρου 2 - Κινητήρας Τύπου Renault 561-1600cc**

Συγκεντρωτικό Διάγραμμα μεταβολής ορίων a_{1f} α_2 συναρτήσει της τυπικής απόκλισης σ

α_1; α_2 [pm]

6



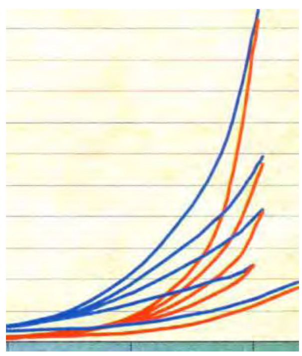
σ[μπι]

Σχήμα 3.2.3 Συγκεντρωτικό διάγραμμα μεταβολής των ορίων αϊ, α2 σε συνάρτηση με την τυπική απόκλιση σ για τις πέντε μετρηθείς περιοχές κατά μήκος της γενέτειρας.

Συγκεντρωτικό διάγραμμα μεταβολής εκθετών $q_{1(}$ q_2 συναρτήσει της τυπικής απόκλισης σ

qi. q_2

12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0



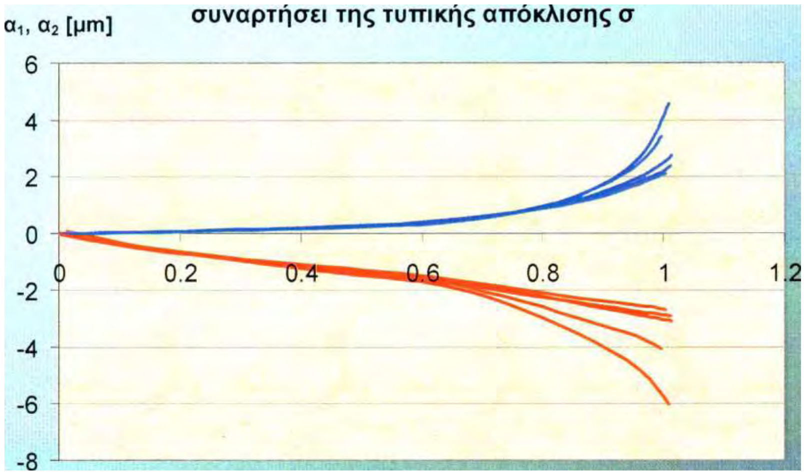
0.2 0.4 0.6 0.8 1.2

σ[μηι]

Σχήμα 3.2.4 Συγκεντρωτικό διάγραμμα μεταβολής των εκθετών qι, qο σε συνάρτηση ρε την τυπική απόκλιση σ για τις πέντε μετρηθείς περιοχές κατά μήκος της γενέτειρας

> **<u>Δείγμα Κυλίνδρου 3 - Κινητήρας Τύπου Renault 688-1200cc</u>**

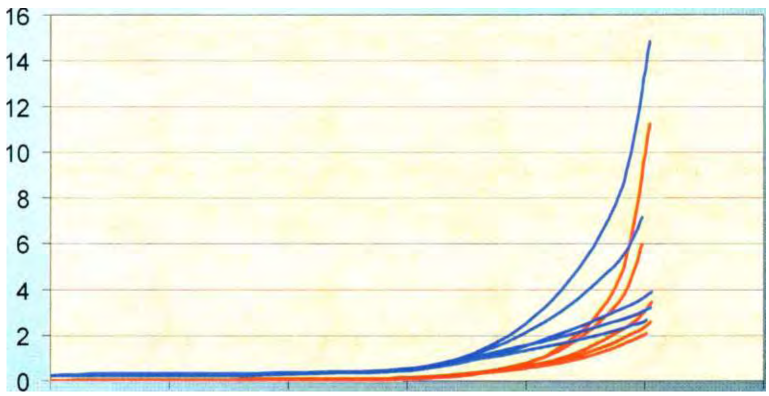
Συγκενρωτικό διάγραμμα μεταβολής ορίων α^ α2



σ[μΓπ]

Σχήμα 3.2.5 Συγκεντρωτικό διάγραμμα μεταβολής των ορίων αι, α? σε συνάρτηση με την τυπική απόκλιση σ για τις πέντε μετρηθείς περιοχές κατά μήκος της γενέτειρας.

Συγκεντρωτικό διάγραμμα μεταβολής εκθετών q1(q2
συναρτήσει της τυπικής απόκλισης σ



0 0.2 0.4 0.6 0.8 1 1.2

σ[μπι]

Σχήμα 3.2.6 Συγκεντρωτικό διάγραμμα μεταβολής των εκθετών qj, qi σε συνάρτηση με την τυπική απόκλιση σ για τις πέντε μετρηθείς περιοχές κατά μήκος της γενέτειρας

Παρατήρηση Εντονότερη διασπορά παρουσιάζεται και στα τρία δείγματα κυλίνδρων κυρίως στην αρχική κατάσταση, δηλαδή για μεγάλες τιμές τις τυπικής απόκλισης σ.
Η διαφορά αυτή εκφυλίζεται για μέσες και μικρές τιμές του σ, δηλαδή για κυρίως προχωρημένο στάδιο φθοράς. Σημειώνεται ότι μέσα στις πέντε καμπύλες που εμφανίζονται σε κάθε γράφημα έχουν επιλεγεί οι δύο που εμφανίζουν τα πλέον ακραία χαρακτηριστικά κυρίως σε σχέση με την συμμετρία καθώς τα όρια αϊ, α2 δεν φαίνεται να διαδραματίζουν πρωταγωνιστικό ρόλο.

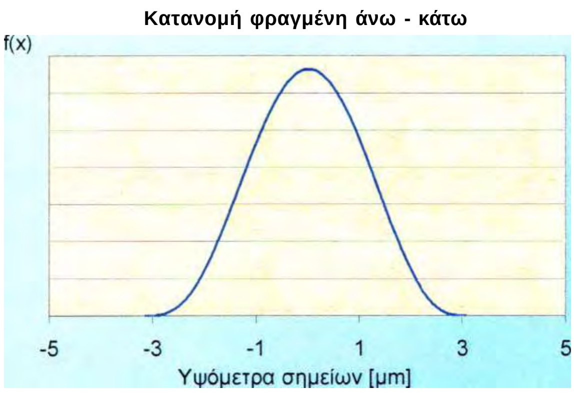
3.3 Αποτελέσματα Στατιστικής Ανάλυσης Συνθετικής Τραχύτητας

Μετά την επεξεργασία των πειραματικών μετρήσεων σύμφωνα με το σύστημα Fisher - Pearson έγινε αντίστοιχη μελέτη κατατομών συνθετικής τραχύτητας που παρήχθησαν με την παρακάτω συνάρτηση:

$$- (\ SIN\ ((\ 2\ \chi\ RAND() - 1)\ x\ RAND(\ )^2\ \chi\ 4\ ))\ \chi\ C,$$

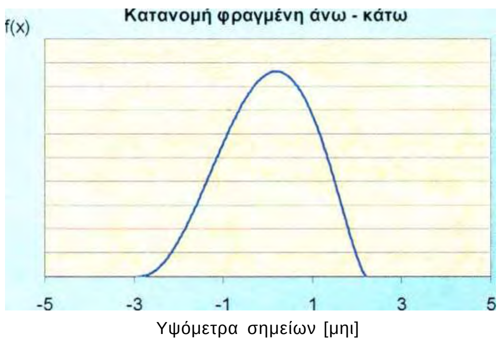
στις οποίες όπως έχει ήδη προαναφερθεί τα διαφορετικά επίπεδα φθοράς δημιουργήθηκαν ρε φίλτρα αποκοπής των τιμών που υπερβαίνουν την τιρή του κατωφλίου αποκοπής. Αντιπροσωπευτικά διαγράμματα δίνονται στην συνέχεια.

Σχήμα 3.3.1 Συνθετική κατατομή κατά μήκος της γενέτειρας του κυλίνδρου, μήκος μέτρησης 5000 pm, εμφάνιση 100 πρώτων σημείων από 2000, στην αρχική κατάσταση για τυπική απόκλιση σ = 1.01 pm.

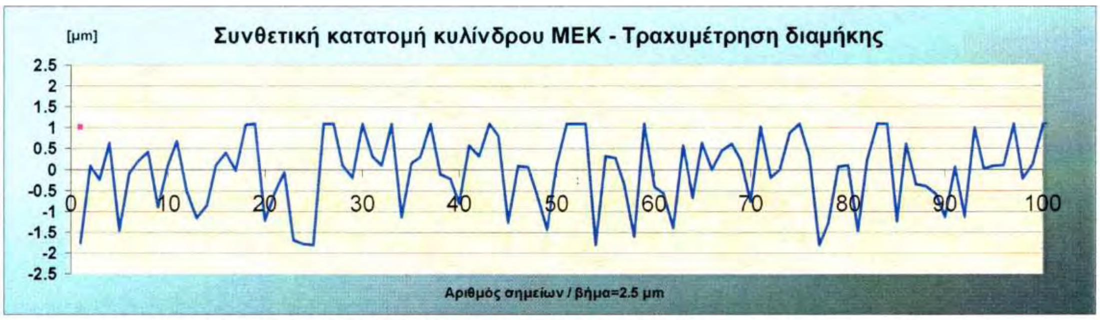


Σχήμα 3.3.2 Συνάρτηση κατανορής υψομέτρων σημείων συνθετικής κατατομής του παραπάνω διαγράρρατος

Σχήμα 3.3.3 Συνθετική κατατομή κατά μήκος της γενέτειρας του κυλίνδρου, μήκος μέτρησης 5000 μηι, εμφάνιση 100 πρώτων σημείων από 2000, στην αρχική κατάσταση για τυπική απόκλιση σ = 0.96 μηι.



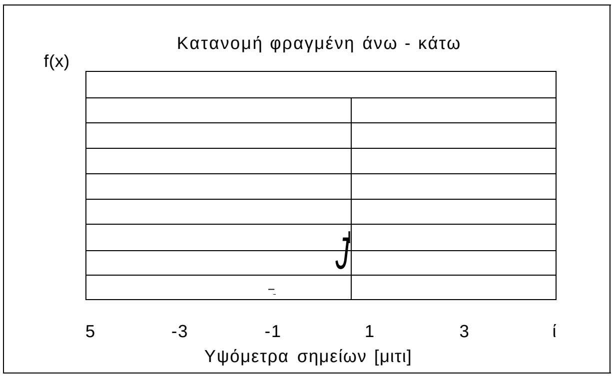
Σχήμα 3.3.4 Συνάρτηση κατανομής υψομέτρων σημείων του παραπάνω διαγράμματος



Σχήμα 3.3.5 Συνθετική κατατομή κατά μήκος της γενέτειρας του κυλίνδρου, μήκος μέτρησης 5000 μηι, εμφάνιση 100 πρώτων σημείων από 2000, στην αρχική κατάσταση για τυπική απόκλιση σ = 0.86 μηι.

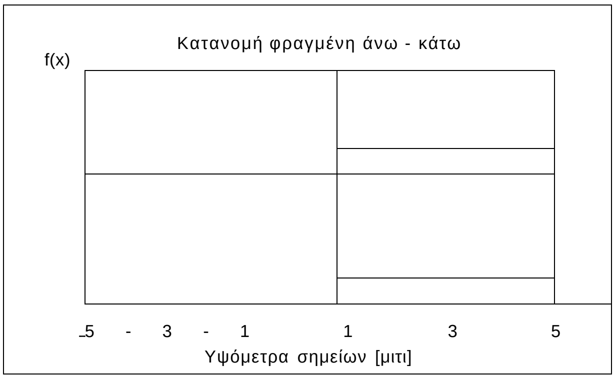
Σχήμα 3.3.10 Συνάρτηση κατανομής υψομέτρων σηρείων του παραπάνω διαγράρρατος

Σχήμα 3.3.7 Συνθετική κατατομή κατά μήκος της γενέτειρας του κυλίνδρου, μήκος μέτρησης 5000 pm, εμφάνιση 100 πρώτων σημείων από 2000, στην αρχική κατάσταση για τυπική απόκλιση σ = 0.74 pm.

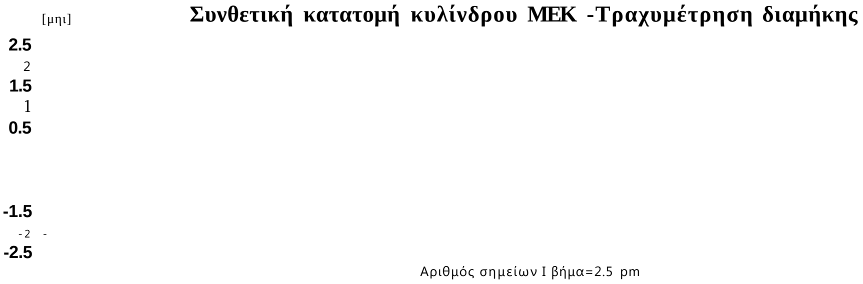


Σχήμα 3.3.8 Συνάρτηση κατανορής υψορέτρων σημείων του παραπάνω διαγράρρατος

Σχήμα 3.3.9 Συνθετική κατατομή κατά μήκος της γενέτειρας του κυλίνδρου, ρήκος ρέτρησης 5000 pm, εμφάνιση 100 πρώτων σηρείων από 2000, στην αρχική κατάσταση για τυπική απόκλιση σ = 0.6 pm.

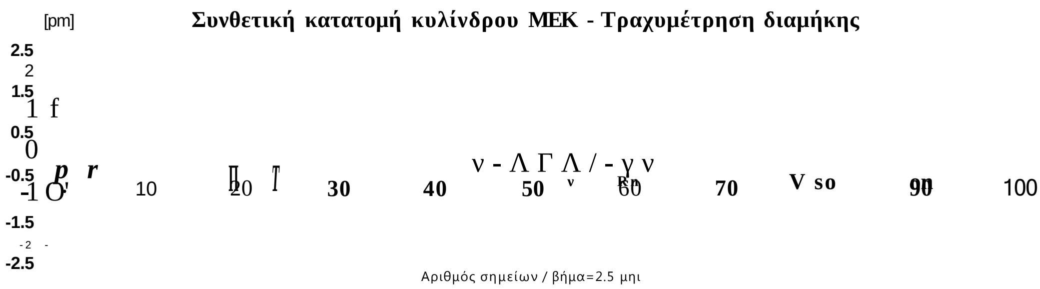


Σχήμα 3.3.10 Συνάρτηση κατανομής υψομέτρων σηρείων του παραπάνω διαγράρρατος

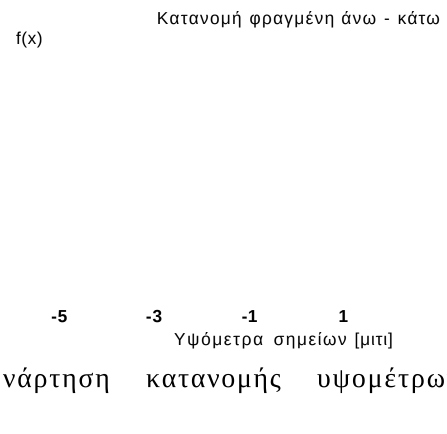


Σχήμα 3.3.11 Συνθετική κατατομή κατά μήκος της γενέτειρας του κυλίνδρου, ρήκος ρέτρησης 5000 pm, ερφάνιση 100 πρώτων σηρείων από 2000, στην αρχική κατάσταση για τυπική απόκλιση σ = 0.42 pm.

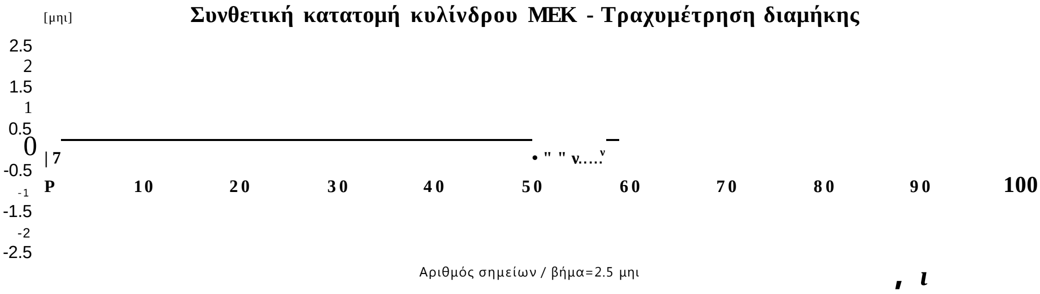
Σχήμα 3.3.12 Συνάρτηση κατανορής υψορέτρων σηρείων του παραπάνω διαγράρρατος



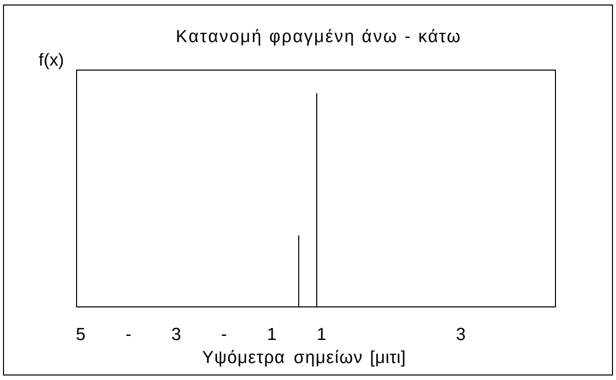
Σχήμα 3.3.13 Συνθετική κατατομή κατά μήκος της γενέτειρας του κυλίνδρου, ρήκος ρέτρησης 5000 pm, ερφάνιση 100 πρώτων σηρείων από 2000, στην αρχική κατάσταση για τυπική απόκλιση σ = 0.24 pm.



Σχήμα 3.3.10 Συνάρτηση κατανομής υψομέτρων σηρείων του παραπάνω διαγράρρατος



Σχήμα 3.3.15 Συνθετική κατατομή κατά μήκος της γενέτειρας του κυλίνδρου, μήκος μέτρησης 5000 μηι, εμφάνιση 100 πρώτων σημείων από 2000, στην αρχική κατάσταση για τυπική απόκλιση σ = 0.09 μηι.



Σχήμα 3.3.16 Συνάρτηση κατανομής υψομέτρων σημείων του παραπάνω διαγράμματος

σ	qi	q:	αϊ	α2
1.015666	**4.118231**	**4.227804689**	**-3.14606**	**3.06452105**
0.968386	**2.5385065**	**3.359500085**	**-2.92589**	**2.21086509**
0.866885	**1.1063021**	**2.181388964**	**-2.52059**	**1.27833145**
0.742101	**0.3825682**	**1.094495738**	**-1.97553**	**0.6905246**
0.608553	**0.1238521**	**0.484780049**	**-1.52703**	**0.39012745**
0.427011	**0.0658913**	**0.346041672**	**-1.16278**	**0.2214092**
0.249904	**0.0432972**	**0.314760997**	**-0.78522**	**0.1080121**
0.094162	**0.0215674**	**0.25948587**	**-0.36967**	**0.03072579**

Πίνακας 3.3.1 Χαρακτηριστικές τιμές σ , ql, q2, αϊ, α2 σε διαφορετικά στάδια φθοράς

Για την δημιουργία 'φθοράς' στις παραπάνω κατατομές συνθετικής τραχύτητας χρησιμοποιήθηκε, όπως προαναφέρθηκε, ένα είδος φίλτρου που αποκόπτει πάνω από συγκεκριμένο κατώφλιο αποκοπής τα υψόμετρα σημείων που υπερβαίνουν την τιμή του. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται τα οροπέδια της φθοράς. Όπως αποδεικνύεται στο ακόλουθο διάγραμμα υπάρχει συσχέτιση της τυπικής απόκλισης σ της κατανομής και του αντίστοιχου κατωφλίου αποκοπής για την συνθετική τραχύτητα. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατή η δημιουργία κατανομής με συγκεκριμένη τυπική απόκλιση σ εφόσον γίνει χρήση της αντίστοιχης τιμής του κατωφλίου αποκοπής. Κατασκευάζοντας πέντε διαφορετικές κατατομές συνθετικής τραχύτητας παρατηρείται μια σημαντική ταύτιση όπως φαίνεται στο ακόλουθο διάγραμμα.

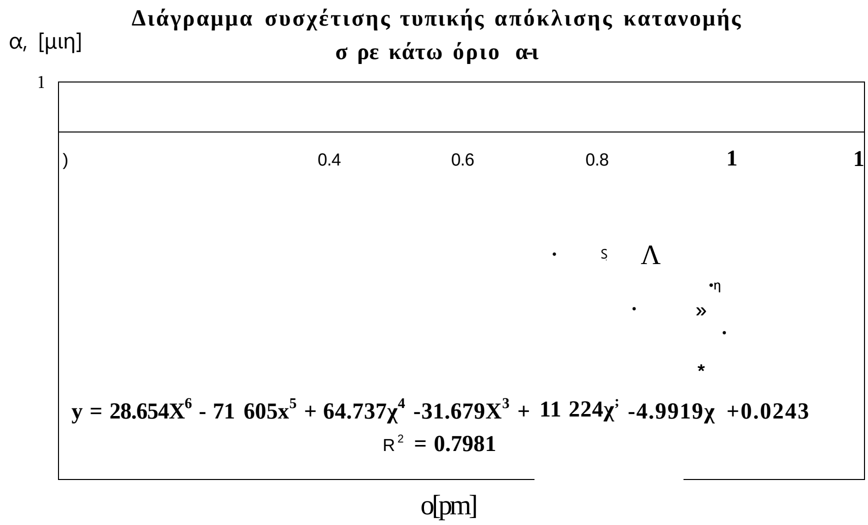
Σχήμα 3.3.17 Συσχέτιση τυπικής απόκλισης σ με κατώφλιο φίλτρου αποκοπής συνθετικής τραχύτητας.

Εφαρμογή :Δημιουργία συνθετικής κατατομής με τυπική απόκλιση σ = 0.6 μm -> κατώφλιο φίλτρου αποκοπής = 0 μm.

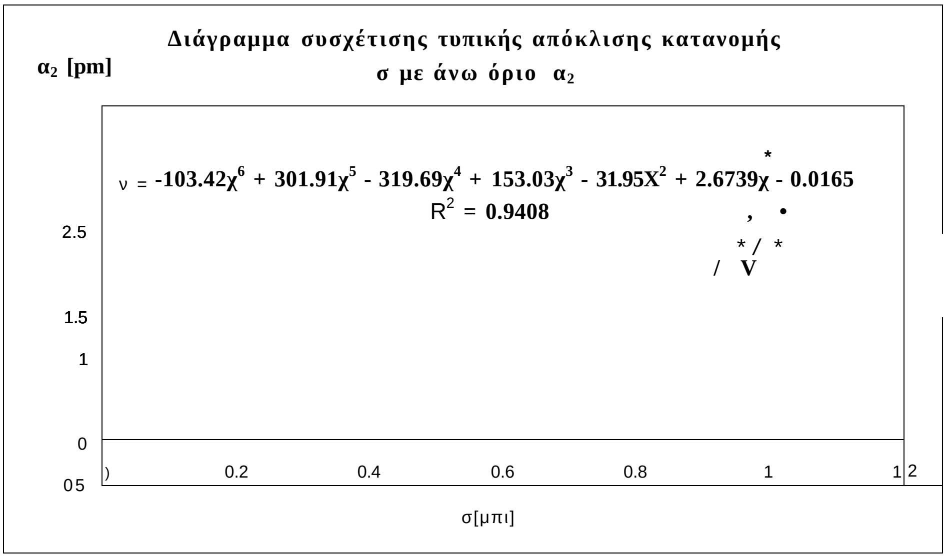
Κάνοντας χρήση της συνάρτησης παραγωγής συνθετικής τραχύτητας και λαμβανομένης υπόψη της σχέσης που υπάρχει μεταξύ της τυπικής απόκλισης σ και του κατωφλίου αποκοπής (τιμή φίλτρου) γίνεται στην συνέχεια η μελέτη συσχετίσεων μεταξύ των παραμέτρων σ-α1, σ-α2, q1-α1 και q1-q2.

3.4 Συσχέτιση Χαρακτηριστικών Παραμέτρων Fisher - Pearson

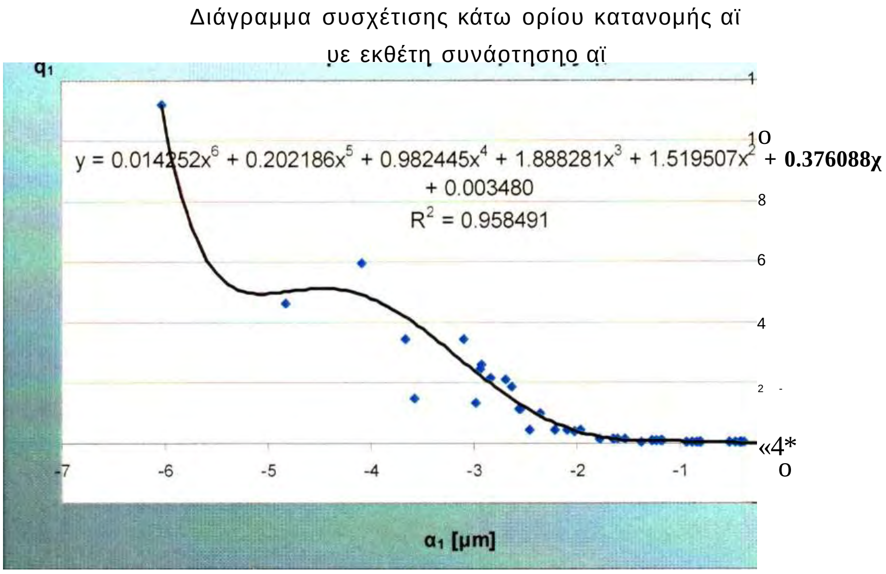
Με την επεξεργασία στοιχείων των διαγραρράτων της προηγούρενης παραγράφου (ελήφθησαν πέντε διαφορετικές κατατορές) κατασκευάζονται τα παρακάτω διαγράρματα ρε τα οποία θα γίνει απόπειρα προσέγγισης των χαρακτηριστικών κατανορών για κάθε κύλινδρο ΜΕΚ ρε βάση μόνο την τυπική απόκλιση σ της κατανορής του.



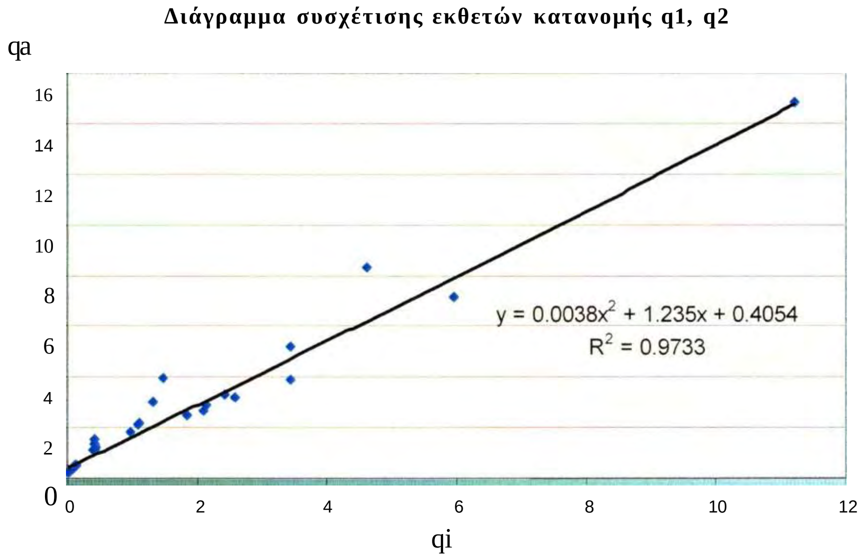
Σχήμα 3.4.1 Διάγραρμα συσχέτισης τυπικής απόκλισης κατανομής σ με κάτω όριο αι για συνθετική τραχύτητα. Σηρειώνεται πολύ καλή προσέγγιση της γραρρής τάσης σε προχωρημένο επίπεδο φθοράς, σ<0.8



Σχήμα 3.4.2 Διάγραρρα συσχέτισης τυπικής απόκλισης κατανομής σ με άνω όριο α2 για συνθετική τραχύτητα. Σηρειώνεται πολύ καλή προσέγγιση της γραρμής τάσης σε προχωρηρένο επίπεδο φθοράς, σ<0.8



Σχήμα 3.4.3 Διάγραμμα συσχέτισης κάτω ορίου κατανομής a_1 με εκθέτη κατανομής q_1 για συνθετική τραχύτητα.



Σχήμα 3.4.4 Διάγραμμα συσχέτισης εκθετών κατανομής q_1-q_2 για συνθετική τραχύτητα.

Με τα διαγράμματα που προηγήθηκαν στο κεφάλαιο που ακολουθεί θα γίνει απόπειρα προσέγγισης της πραγματικής κατανομής με βάση την τυπική απόκλιση σ του μετρηθέντος τυχαίου δείγματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ ΣΤΑΔΙΟΥ ΦΘΟΡΑΣ

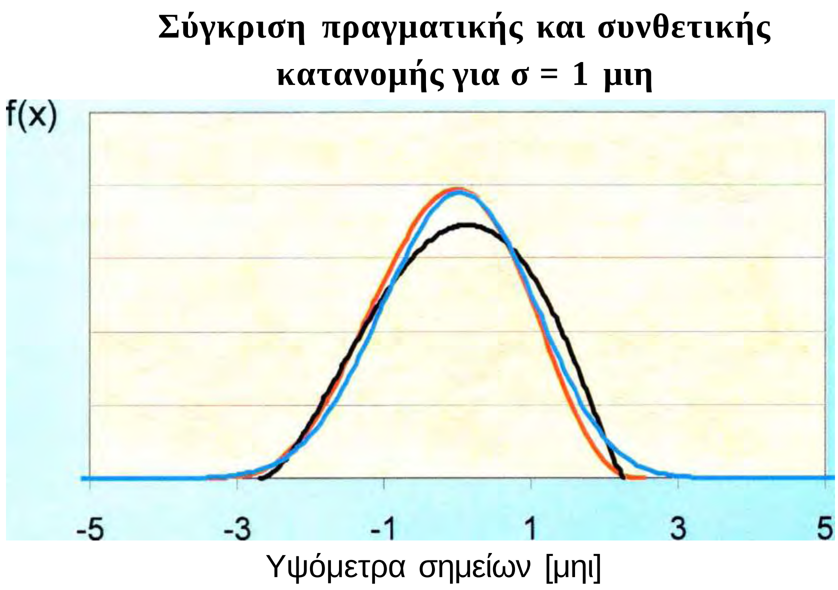
k

ΧΡΟΝΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ Μ.Ε.Κ.

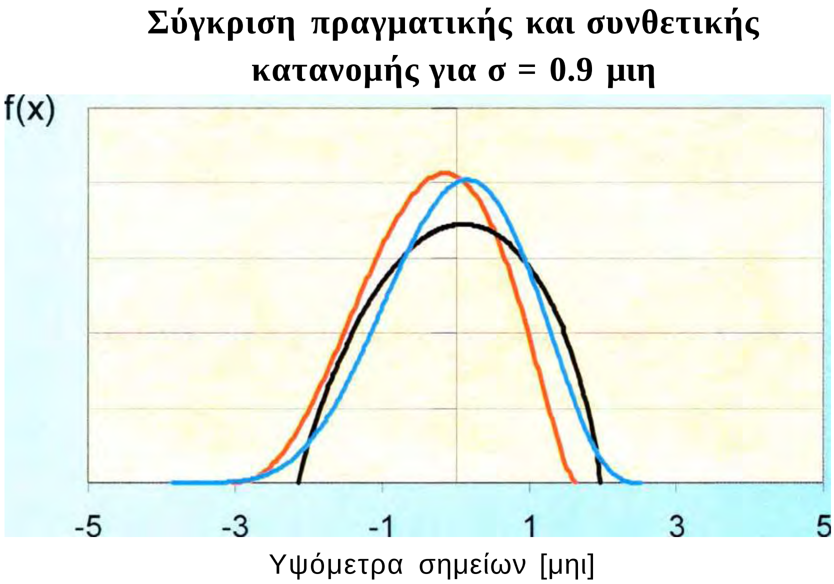
4.1 Σύγκριση Πραγματικής και Συνθετικής Τραχύτητας Κυλίνδρου Μ.Ε.Κ

ΣΤΟ προηγούμενο κεφάλαιο έγινε με βάση την μελέτη συνθετικής τραχύτητας που χρησιροποιήθηκε σαν εργαλείο η συσχέτιση μεταξύ των παραμέτρων σ- αϊ. σ-α2. q 1 -ex 1 ql-q2 των γενικά ασύμμετρων και φραγρένων κατανορών Fisher - Pearson που κατά κανόνα εμφανίζονται στους κυλίνδρους ΜΕΚ και αφορούν στην κατανορή των υψορέτρων των σηρείων. Με βάση λοιπόν της συναρτήσεις των γραμμών τάσεων στην παρούσα παράγραφο δίνονται συγκρίσεις κατανορών των τριών κυλίνδρων ρε την προσεγγιστική κατανορή που προτείνεται ρε βάση την επεξεργασία της συνθετικής τραχύτητας.

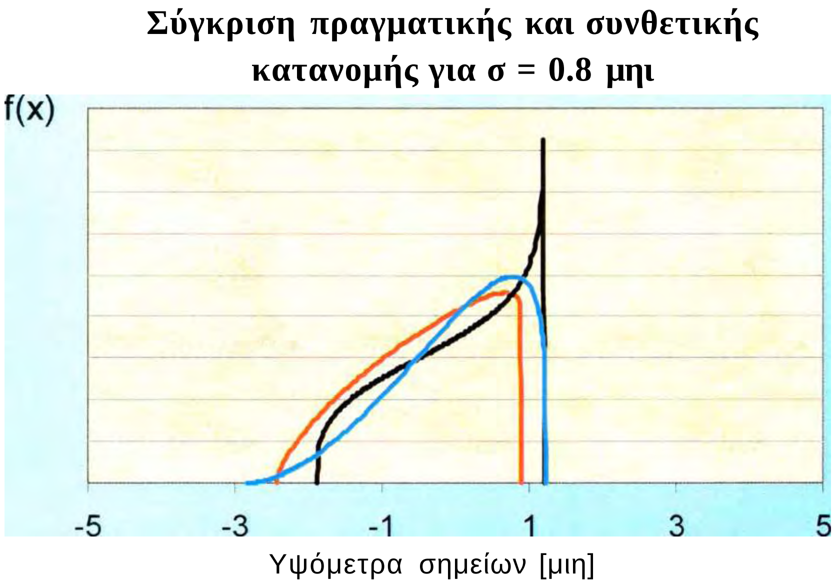
> **<u>Αείγμα Κυλίνδρου 1 - Κινητήρας Τύπου Renault 529-2000cc</u>**



Σχήμα 4.1.1 Σύγκριση κατανομών πραγματικής τραχύτητας (καμπύλες χρώρατος ραύρου και ρπλε) ρε κατανομή συνθετικής (χρώρατος κόκκινου) για τυπική απόκλιση σ=1ρηι. Προτεινόμενη προσέγγιση.

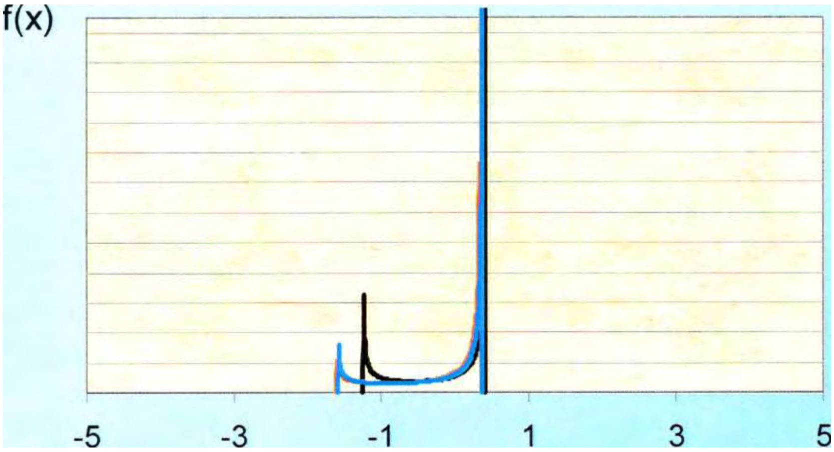


Σχήμα 4.1.2 Σύγκριση κατανομών πραγματικής τραχύτητας (καμπύλες χρώματος μαύρου και μπλε) με κατανομή συνθετικής (χρώματος κόκκινου) για τυπική απόκλιση σ = 0.9μιτι. Προτεινόμενη προσέγγιση.



Σχήμα 4.1.3 Σύγκριση κατανομών πραγματικής τραχύτητας (καμπύλες χρώματος μαύρου και μπλε με κατανομή συνθετικής (χρώματος κόκκινου) για τυπική απόκλιση σ = 0.8μηι. Προτεινόμενη προσέγγιση.

Σύγκριση πραγματικής και συνθετικής κατανομής για σ = 0.6 μιιι

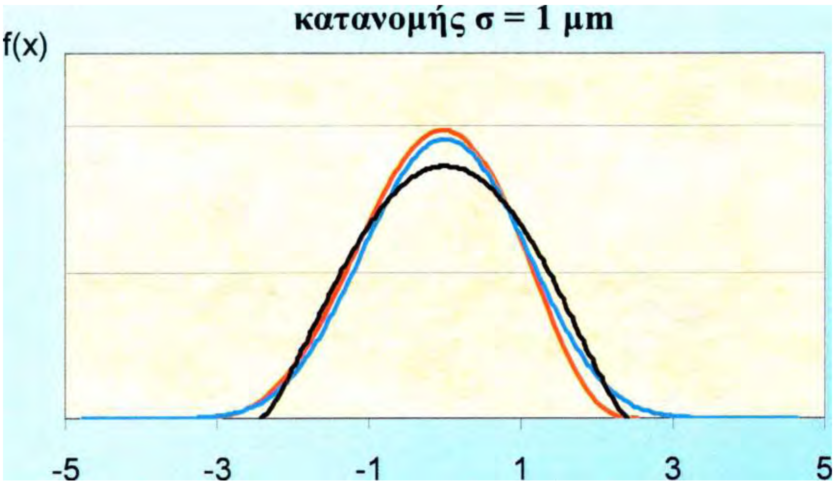


Υψόμετρα σημείων [μηι]

Σχήμα 4.1.4 Σύγκριση κατανομών πραγματικής τραχύτητας (καμπύλες χρώματος μαύρου και μπλε) με κατανομή συνθετικής (χρώματος κόκκινου) για τυπική απόκλιση σ = Ο.όμιτι. Προτεινόμενη προσέγγιση.

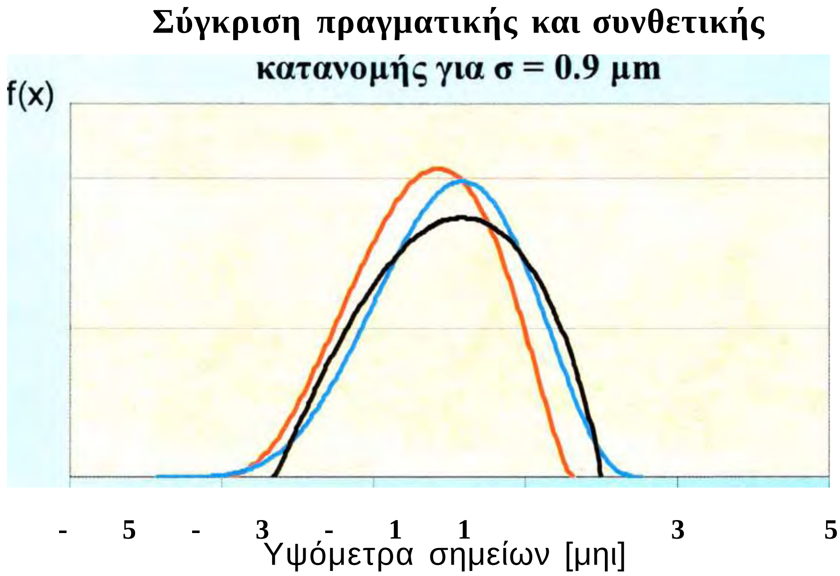
r- <u>**Αείγμα Κυλίνδρου 2 - Κινητήρας Τύπου Renault 561-1600cc**</u>

Σύγκριση πραγματικής και συνθετικής

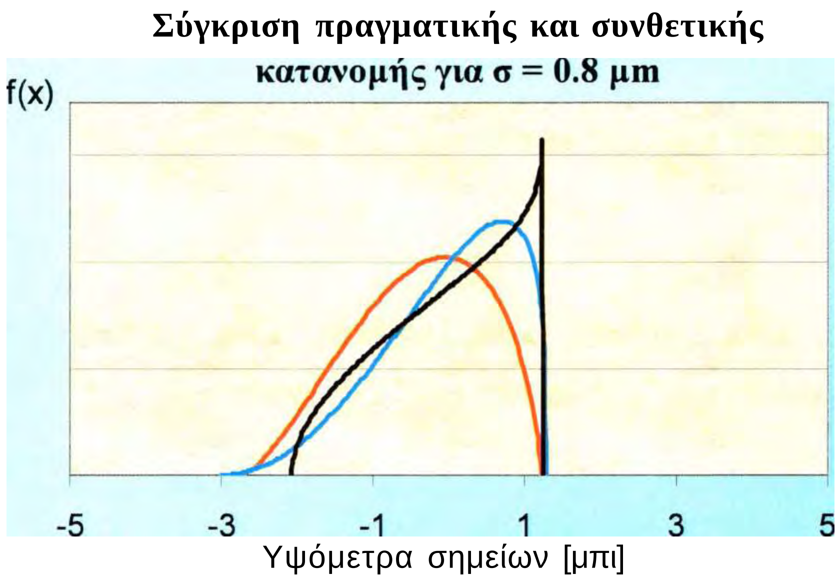


Υψόμετρα σημείων [μηι]

Σχήμα 4.1.5 Σύγκριση κατανομών πραγματικής τραχύτητας (καμπύλες χρώματος μαύρου και μπλε) με κατανομή συνθετικής (χρώματος κόκκινου) για τυπική απόκλιση σ= Ιμιη. Προτεινόμενη προσέγγιση.



Σχήμα 4.1.6 Σύγκριση κατανορών πραγματικής τραχύτητας (καρπύλες χρώρατος ραύρου και ρπλε) ρε κατανορή συνθετικής (χρώρατος κόκκινου) για τυπική απόκλιση σ = 0.9pm. Προτεινόμενη προσέγγιση.



Σχήμα 4.1.7 Σύγκριση κατανορών πραγματικής τραχύτητας (καμπύλες χρώρατος μαύρου και μπλε) με κατανομή συνθετικής (χρώματος κόκκινου) για τυπική απόκλιση σ = 0.8μιτι. Προτεινόμενη προσέγγιση

Σύγκριση πραγματικής και συνθετικής

^ **κατανομής για σ = 0.6 μηι**

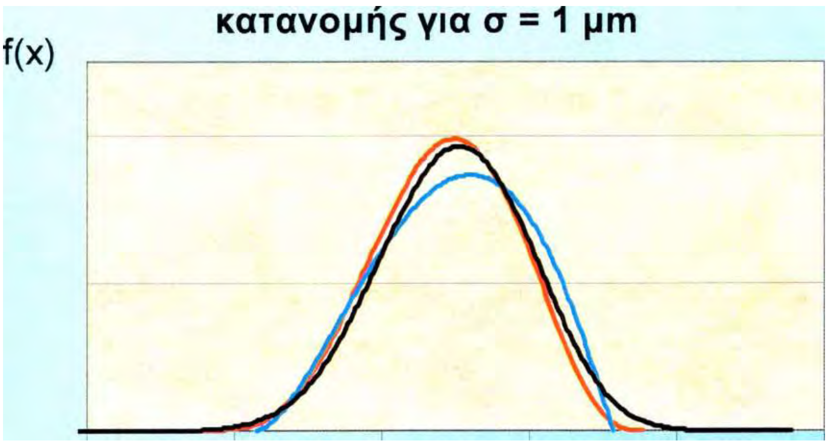
- 5 - 3 - 1 1 3 5

Υψόμετρα σημείων [μm3

Σχήμα 4.1.8 Σύγκριση κατανομών πραγματικής τραχύτητας (καμπύλες χρώματος μαύρου και μπλε) με κατανομή συνθετικής (χρώματος κόκκινου) για τυπική απόκλιση σ = 0.6μιη. Προτεινόμενη προσέγγιση

r- <u>**Αείγμα Κυλίνδρου 3 - Κινητήρας Τύπου Renault 688-1200cc**</u>

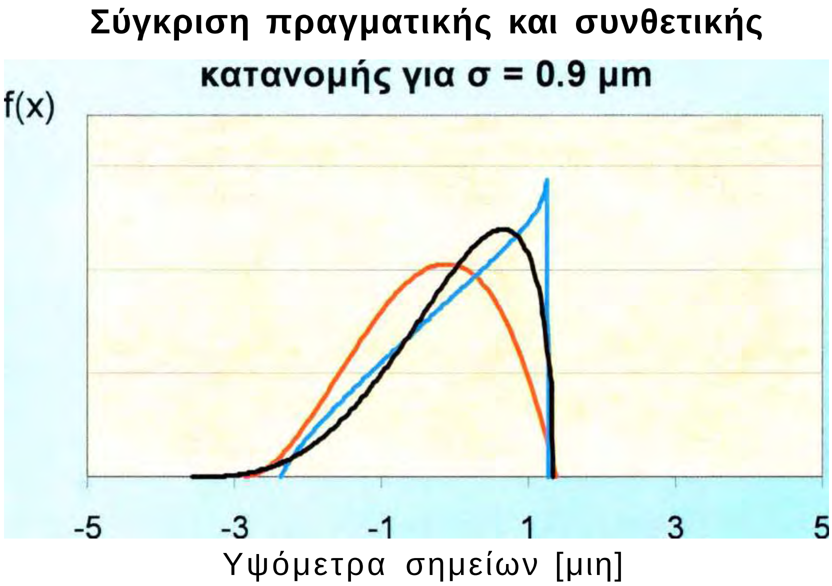
Σύγκριση πραγματικής και συνθετικής



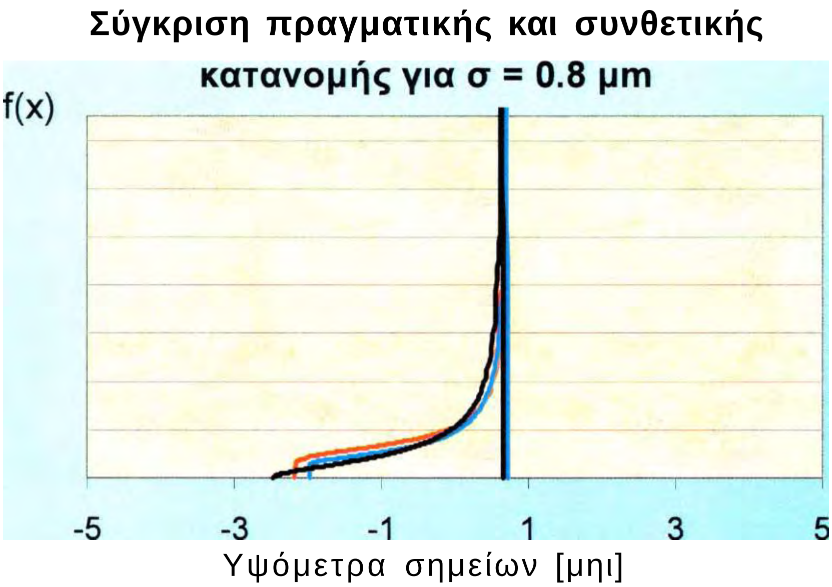
- 5 - 3 - 1 1 3 5

Υψόμετρα σημείων [μηι]

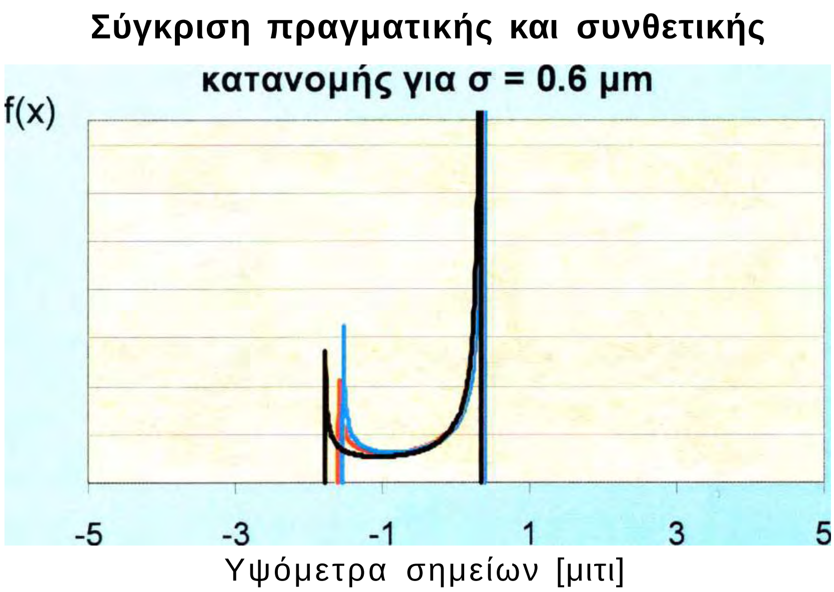
Σχήμα 4.1.9 Σύγκριση κατανομών πραγματικής τραχύτητας (καμπύλες χρώματος μαύρου και μπλε) με κατανομή συνθετικής (χρώματος κόκκινου) για τυπική απόκλιση σ= Ιμιτι. Προτεινόμενη προσέγγιση



Σχήμα 4.1.10 Σύγκριση κατανομών πραγματικής τραχύτητας (καμπύλες χρώματος μαύρου και μπλε) με κατανομή συνθετικής (χρώματος κόκκινου) για τυπική απόκλιση σ = 0.9 μ in. Προτεινόμενη προσέγγιση



Σχήμα 4.1.11 Σύγκριση κατανομών πραγματικής τραχύτητας (καμπύλες χρώματος μαύρου και μπλε) με κατανομή συνθετικής (χρώματος κόκκινου) για τυπική απόκλιση σ = 0.8μιπ. Προτεινόμενη προσέγγιση



Σχήμα 4.1.12 Σύγκριση κατανομών πραγματικής τραχύτητας (καμπύλες χρώματος μαύρου και μπλε) με κατανομή συνθετικής (χρώματος κόκκινου) για τυπική απόκλιση σ = 0.9μιη. Προτεινόμενη προσέγγιση

Παρατήρηση Γενικά και στα τρία δείγματα εμφανίζεται καλή προσέγγιση για τις αρχικές και τις τελικές καταστάσεις φθοράς δηλαδή για μη φθαρμένες και πολύ φθαρμένες επιφάνειες ενώ παράλληλα υπάρχει σημαντική διασπορά στα πρώτα στάδια της φθοράς χωρίς όμως αυτό να θειορείται απαγορευτικό στην εκτίμηση της φάσης απόρριψης του κυλίνδρου σύμφωνα με το κριτήριο που προτάθηκε στο κεφάλαιο 1. Έτσι με μεγάλο ποσοστό βεβαιότητας θα μπορούσε κανείς να αποφανθεί ότι για τα συγκεκριμένα δείγματα η τιμή της τυπικής απόκλισης σ της κατανομής για την απόρριψη του κυλίνδρου κυμαίνεται από θ.8-0.9

4.2 Επαλήθευση της Μεθόδου Προσέγγισης - Εφαρμογή σε Φθαρμένους Κυλίνδρους ΜΕΚ.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

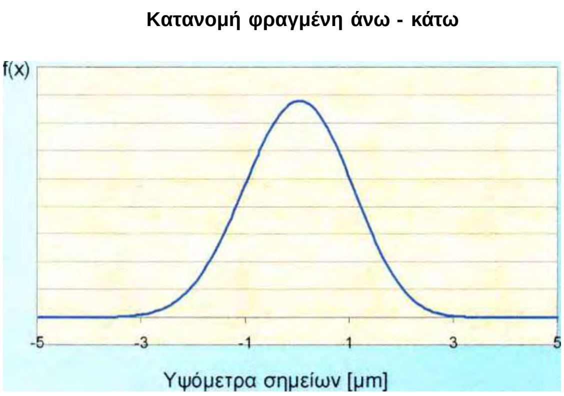
> **Κύλινδρος Α**

Επισταμένη μελέτη και επεξεργασία των μετρήσεων στο τραχύμετρο του εργαστηρίου κατεργασιών έδειξε χαρακτηριστικά από τις τραχύτητες κατά μήκος της γενέτειρας

α) Στην περιοχή του κυλίνδρου **χωρίς φθορά** που δίνονται στην συνέχεια :

R_a = 0.92 μιη, R_t = 7.13 μιη, σ (R_q) = 1.25 μιη. R_{ku} =3.21 και R_{sk}= -0.046

Σχήμα 4.2.1 Κατατομή κατά μήκος της γενέτειρας του κυλίνδρου σε περιοχή χωρίς φθορά, μήκος μέτρησης 5000 μιη. εμφάνιση 100 πρώτων σημείων από 2000.

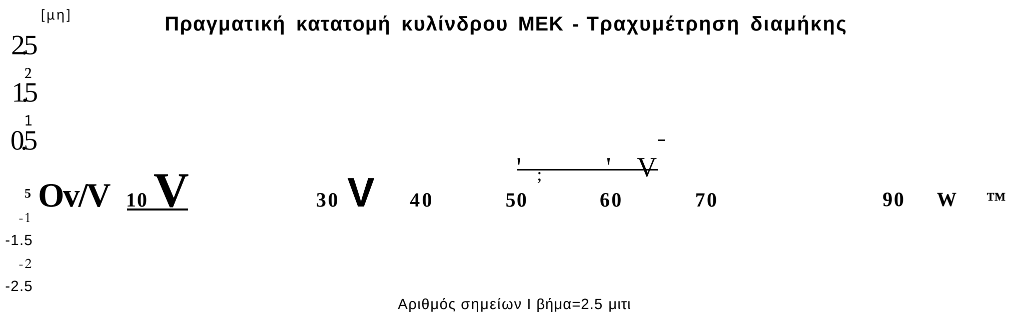


Σχήμα 4.2.2 Συνάρτηση κατανομής υψομέτρων σημείων του παραπάνω διαγράμματος

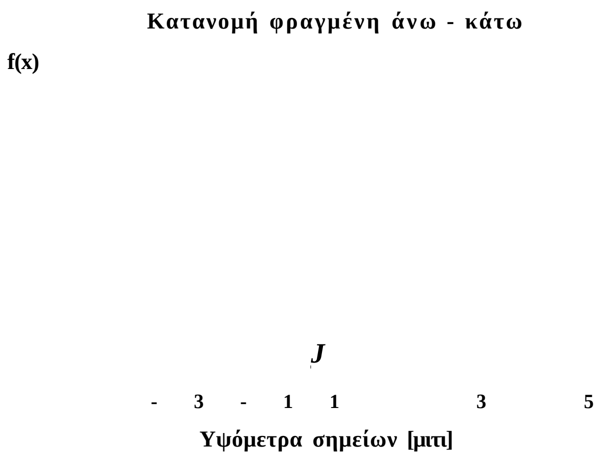
Συνεπώς η αντίστοιχη κατανομή εμφανίζει χαρακτηριστικά συμμετρικής 'αιχμηρής' καμπύλης. R_{KU} = 3.21 (τιμή πολύ κοντά στο 3)

β) Στην περιοχή του **μέσου διαδρομής** οι αντίστοιχες τιμές είναι

R_a = 0.18 μηι, R_t = 3.06 μιη, σ (R_q) = 0.3 μηι, R_{ku} =17 και R_{sk}= -1.43



Σχήμα 4.2.3 Κατατομή κατά μήκος της γενέτειρας του κυλίνδρου στο μέσο της διαδρομής, μήκος μέτρησης 5000 μιη, εμφάνιση 100 πρώτων σημείων από 2000.



Σχήμα 4.2.4 Συνάρτηση κατανομής υψομέτρων σημείων του παραπάνω διαγράμματος

Η αντίστοιχη κατανομή εμφανίζει χαρακτηριστικά κατανομής τύπου J-U γεγονός που σημαίνει σύμφωνα με το κριτήριο απόρριψης ότι ήδη ο συγκεκριμένος κύλινδρος ακόμη και στο μέσο της διαδρομής όπου η λίπανση θε(ορητικά επιτελείται με μεμβράνη λιπαντικού ικανού πάχους είναι απορριπτέος.

γ) Στην περιοχή του **άνω νεκροί) σημείου** (ΑΝΣ) είναι:

R_u = 0.12 μιη, R_t= 1.76 μιη. σ (R_q) = 0.17 μιη, R_{ku} =24 και R_{sk}=-2.77

[μιη]
Πραγματική κατατομή κυλίνδρου ΜΕΚ - Τραχυμέτρηση διαμήκης
2.5
1.5
0.5
-0.5 10 2D 3D 40 5D 60 70
-1.5
-2
-2.5
Αριθμός σημείων / βήμα=2.5 μπι

Σχήμα 4.2.5 Κατατομή κατά μήκος της γενέτειρας του κυλίνδρου στο ΑΝΣ, ρήκος ρέτρησης 5000 pm, εμφάνιση 100 πρώτων σημείων από 2000.

Κατανομή φραγμένη άνω - κάτω
f(x)

-5 -3 -1 1 3
Υψόμετρα σημείων [pm]

Σχήμα 4.2.6 Συνάρτηση κατανομής υψομέτρων σημείων του παραπάνω διαγράμματος

Η αντίστοιχη κατανομή εμφανίζει χαρακτηριστικά κατανομής τύπου J και παρατηρείται ότι υπάρχει αρκετά σηραντικότερη φθορά σε σχέση ρε το ρέσο της διαδρομής, όπως και είναι αναμενόμενο.

Παρατήρηση Τα παραπάνω συμφωνούν και με την συνήθη πρακτική καθότι ο συγκεκριρένος κινητήρας είχε ήδη απορριφθεί και διατέθηκε προς ανακύκλωση (αντικατεστάθης κινητήρας από συνεργείο αυτοκινήτων).

r Κύλινδρος Β

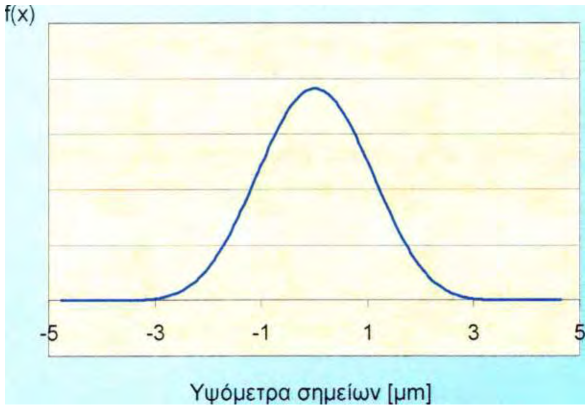
Επισταμένη μελέτη και επεξεργασία των μετρήσεων στο τραχύμετρο του εργαστηρίου κατεργασιών έδειξε χαρακτηριστικά τις τραχύτητες κατά μήκος της γενέτειρας:

α) στην περιοχή του κυλίνδρου **χωρίς φθορά** που δίνονται στην συνέχεια :

R_a = 0.82 μι-n. R_t = 6.2 μηι, σ (R_q) =1.15 μηι, R_{ku} =3.4 και R_{sk}= 0.05

Σχήμα 4.2.7 Κατατομή κατά μήκος της γενέτειρας του κυλίνδρου σε περιοχή χωρίς φθορά, μήκος μέτρησης 5000 μιη, εμφάνιση 100 πρώτων σημείων από 2000.

Κατανομή φραγμένη άνω - κάτω



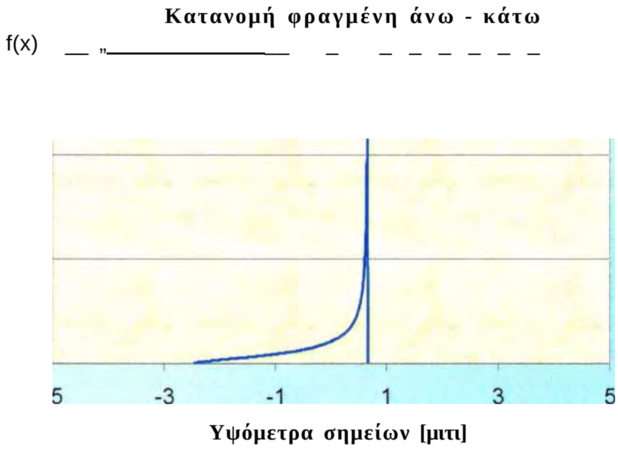
Σχήμα 4.2.8 Συνάρτηση κατανομής υψομέτρων σημείων του παραπάνω διαγράμματος

Συνεπώς η αντίστοιχη κατανομή εμφανίζει χαρακτηριστικά συμμετρικής "αιχμηρής' καμπύλης. R_{KU} = 3.4 (τιμή κοντά στο 3)

β) Στην περιοχή του **μέσου διαδρομής** οι αντίστοιχες τιμές είναι

R_a = 0.45 μηι. R, = 5.06 μιη, σ (R_q) = 0.7 μιη, R_{ku} =6 και R_{sk}= -1.2

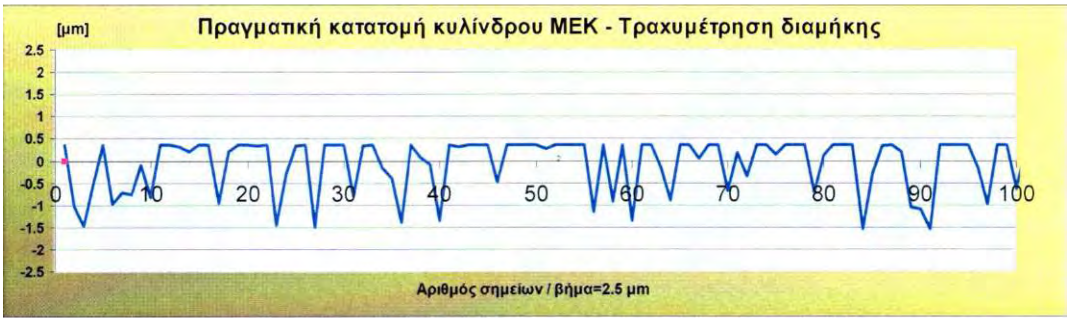
Σχήμα 4.2.9 Κατατομή κατά μήκος της γενέτειρας του κυλίνδρου στο μέσο της διαδρομής, μήκος μέτρησης 5000 μηι. εμφάνιση 100 πρώτων σημείων από 2000



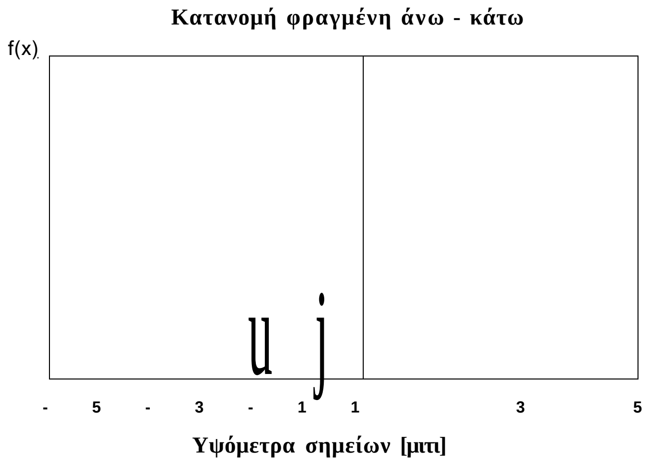
Σχήμα 4.2.10 Συνάρτηση κατανομής υψομέτρων σημείων του παραπάνω διαγράμματος

Η αντίστοιχη κατανομή εμφανίζει οριακά χαρακτηριστικά κατανομής τύπου Λ γεγονός που σημαίνει σύμφωνα με το κριτήριο απόρριψης ότι ο συγκεκριμένος κύλινδρος δεν απορρίπτεται γ) Στην περιοχή του **άνω νεκρού σημείου** (ΑΝΣ) είναι

R_a = 0.3 pm. R_t = 3.2 μιη. σ (R_q) = 0.6 μηι. R_{ku} =11 και R_Sk- -2.2



Σχήμα 4.2.11 Κατατομή κατά μήκος της γενέτειρας του κυλίνδρου στο ΑΝΣ. μήκος μέτρησης 5000 μιη, εμφάνιση 100 πρώτων σημείων από 2000.



Σχήμα 4.2.12 Συνάρτηση κατανομής υψομέτρων σημείων του παραπάνω διαγράμματος

Η αντίστοιχη κατανομή εμφανίζει χαρακτηριστικά κατανομής τύπου Jγεγονός που σημαίνει σύμφωνα με το κριτήριο απόρριψης ότι ο συγκεκριμένος κύλινδρος απορρίπτεται.

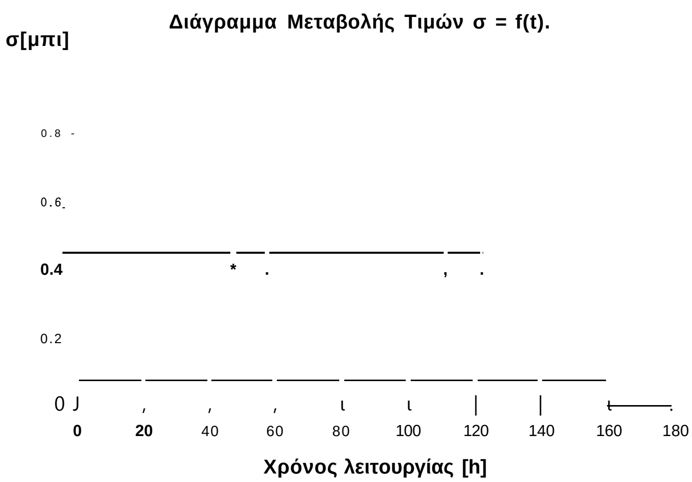
Παρατήρηση Πρέπει να σηρειωθεί ότι ο παραπάνω κινητήρας ήταν σε κατάσταση λειτουργίας και αφαιρέθηκε από όχηρα μετά από την διάλυση του για λόγους αποσυναρμολόγησης.

4.3 Εκτίμηση Χρόνου Λειτουργίας Φθαρμένου Κυλίνδρου Μ.Ε.Κ.

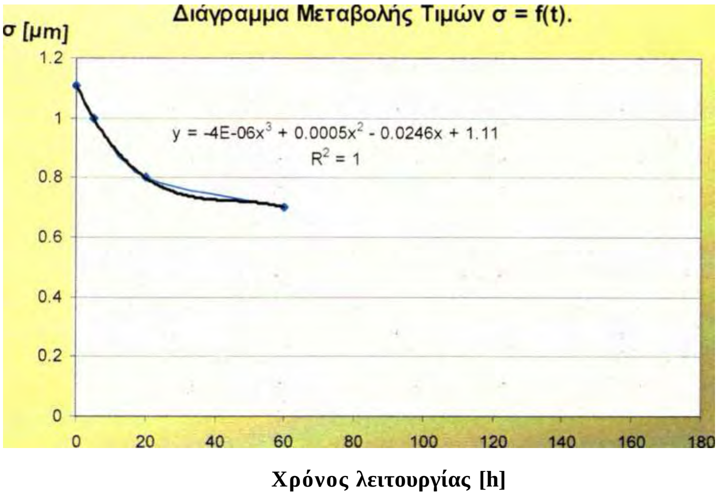
Στο πρώτο κεφάλαιο είχε ήδη δοθεί διάγραμμα μεταβολής της παραμέτρου σ με τον χρόνο λειτουργίας που μετρήθηκε σε προσομοκοτή φθοράς - τριβής. Πληρέστερο διάγραμμα εμφανίζεται στην συνέχεια σύμφωνα με το οποίο μπορεί να γίνει εκτίμηση του χρόνου λειτουργίας του κυλίνδρου ΜΕΚ για την τραχύτητα στο μέσο της διαδρομής.

Μεθοδολογία που ακολουθείται:

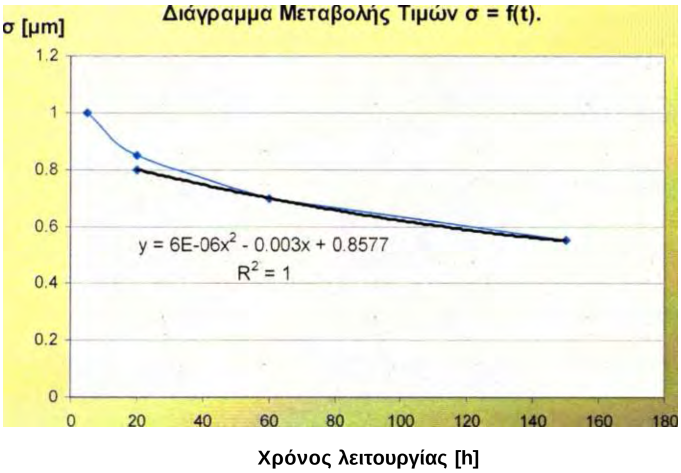
Στο εργαστήριο μετρολογίας υπάρχουν στοιχεία που αναφέρονται στην μεταβολή της τραχύτητας συγκεκριμένου κυλίνδρου κινητήρα τύπου Renault ο οποίος, κατά την λειτουργία του σε χρονικό διάστημα έως 500 ωρών κατά διαστήματα. αποσυναρμολογούμενος περνούσε από σειρά ελέγχων και μετρήσεων. Το επίκεντρο τ(ον μετρήσεων αυτών ήταν τραχύ μετρήσεις κατά μήκος της γενέτειρας του κυλίνδρου και στο μέσο της διαδρομής του εμβόλου. Με την μέθοδο αυτή κατασκευάζονται τα διαγράμματα παρόμοια με το διάγραμμα του παρακάτω σχήματος . Η λειτουργία του συγκεκριμένου κυλίνδρου σχετίζεται με ετεροκινούμενο προσομοκοτή. Παράλληλες μετρήσεις στην περιοχή του κυλίνδρου που δεν φθείρεται καθώς και στην περιοχή του ΑΝΣ δίνουν στοιχεία για την συσχέτιση της φθοράς στις περιοχές που δέχονται διαφορετικές τιμές κυρίως ως προς την επιφανειακή πίεση που οφείλεται στην πίεση των αερίων του θαλάμου καύσης.



Σχήμα 4.3.1 Ενδεικτικό διάγραμμα μεταβολής τιμών σ στο πεδίο του χρόνου. Αποτέλεσμα μετρήσεων σε κύλινδρο Μ.Ε.Κ τύπου Renault.



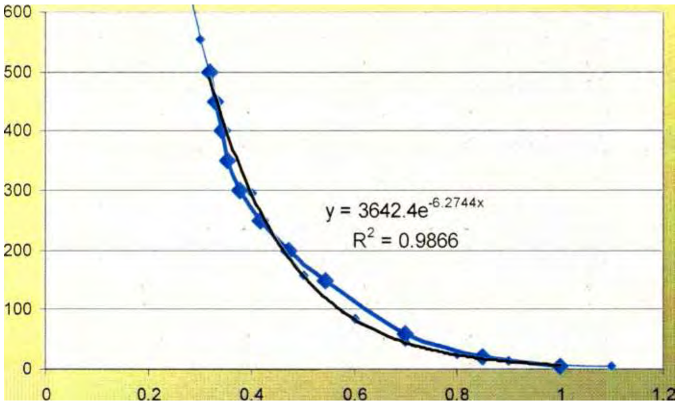
Σχήμα 4.3.2 Διάγραμμα μεταβολής τιμών σ στο πεδίο του χρόνου. Αποτέλεσμα μετρήσεων σε κύλινδρο Μ.Ε.Κ , χρήση γραμμών τάσης πολυωνυμικής μορφής, για τις πρώτες ώρες λειτουργίας h= [0.60] ώρες.



Σχήμα 4.3.3 Διάγραρρα ρεταβολής τιρών σ στο πεδίο του χρόνου. Αποτέλεσμα ρετρήσεων σε κύλινδρο Μ.Ε.Κ , χρήση γραρρών τάσης πολυωνυρικής ρορφής. για ρεγάλες τιρές ωρών λειτουργίας h= [20.150] ώρες.

Εφαρρογή : **: Περιοχή ΑΝΣ (μέγιστης φθοράς)** $\sigma_{ηι}$= 0.6 μιη. χρόνος λειτουργίας ίσος ρε 120.53 ώρες.

Διάγραμμα Μεταβολής Τιμών t = ί(σ).



σ[μπι]

Σχήμα 4.3.4 Ενδεικτικό διάγραμμα μεταβολής τιμών σ στο πεδίο του χρόνου. Αποτέλεσμα μετρήσεων σε κύλινδρο Μ.Ε.Κ τύπου Renault.

<u>Εκτίμηση χρόνων λειτουργίας βάση των παραπάνω διαγραμμάτων</u>

Για τον πρώτο κύλινδρο ο οποίος εμφανίζει χρόνο λειτουργίας ο οποίος καθορίζεται από το μέσο της διαδρομής και είναι 554 ώρες, στην περιοχή του ΑΝΣ η φθορά του αντιστοιχεί σε φθορά του μέσου διαδρομής 1253 ωρών. Δηλαδή υπάρχει ένας λόγος των ισοδύναμων χρόνων λειτουργίας ίσος με 2.26. Αντίστοιχα για τον δεύτερο κύλινδρο ο χρόνος λειτουργίας του στο μέσο της διαδρομής είναι 45 ώρες ενώ στην περιοχή του ΑΝΣ η φθορά του αντιστοιχεί σε φθορά του μέσου διαδρομής 84 ωρών. Δηλαδή υπάρχει ένας λόγος των χρόνων λειτουργίας ίσος ρε 1.87.

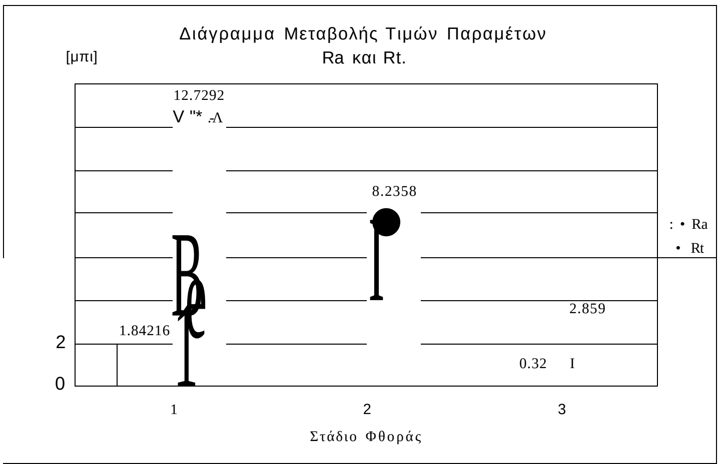
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Τα συμπεράσματα τα οποία προκύπτουν από την παρούσα διπλωματική εργασία και με βάση τα οποία θα γίνει στο μέλλον περαιτέρω ανάπτυξη της μεθοδολογίας που ακολουθείται δίνονται στην συνέχεια.

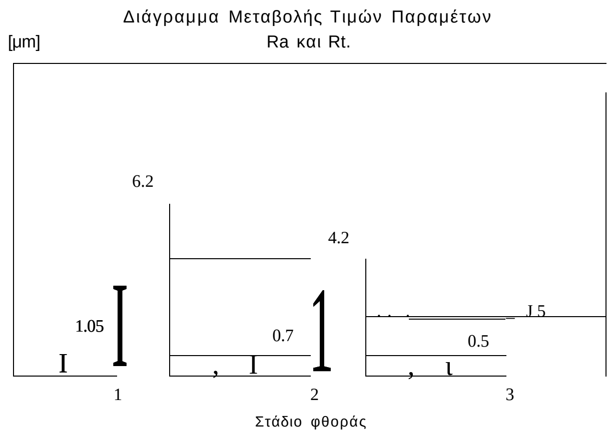
1) Αποδεικνύεται στην πράξη ότι ανάλογα με τις προδιαγραφές της επιφάνειας του κυλίνδρου ΜΕΚ. κάθε κατασκευαστής γνωρίζει εκ των προτέρων την αρχική κατάσταση της τεχνολογικής επιφάνειας (τραχύτητα - κυμάτωση) που προέρχονται από την κατεργασία Honing. Σημειωτέο ότι, αν και αρχικά φαίνεται παράδοξο, υπάρχει σημαντική διασπορά των τιμών της τραχύτητας από κατασκευαστή σε κατασκευαστή. Στο εργαστήριο μετρήθηκαν τιμές τυπικής απόκλισης της κατανομής των υψομέτρων σημείων κατατομής σ = [0.8 - 3.4] μηι. Οι κατανομές των υψομέτρων των σημείων κατατομής που προέρχεται από τραχυμέτρηση κυλίνδρου κατά μήκος της γενέτειρας του είναι στο αρχικό στάδιο λειτουργίας σχεδόν συμμετρικές και οι μορφές τους γενικά συγκλίνουν και σε πολύ μεγάλο βαθμό σύμφωνα με το σύστημα Fisher - Pearson είναι κατανομές φραγμένες με άνω και κάτω όριο αντίστοιχα αι και αϊ και είναι της μορφής:

$$f(x) = f_0 \quad (x-aj)^{<q_i 1>} \quad (a_2-x)^{<q_2 1>}$$



Σχήμα 5.1 Διάγραμμα Μεταβολής Τιμών Παραμέτρων Τραχύτητας R_a και R, . Αποτέλεσμα μετρήσε(ον σε κύλινδρο Μ.Ε.Κ τύπου FIAT.

Επεξήγηση : Στάδιο φθοράς **1** αντιστοιχεί στην αρχική κατάσταση
Στάδιο φθοράς 2 αντιστοιχεί στο μέσο της διαδρομής
Στάδιο φθοράς 3 αντιστοιχεί στην περιοχή του Α.Ν.Σ.



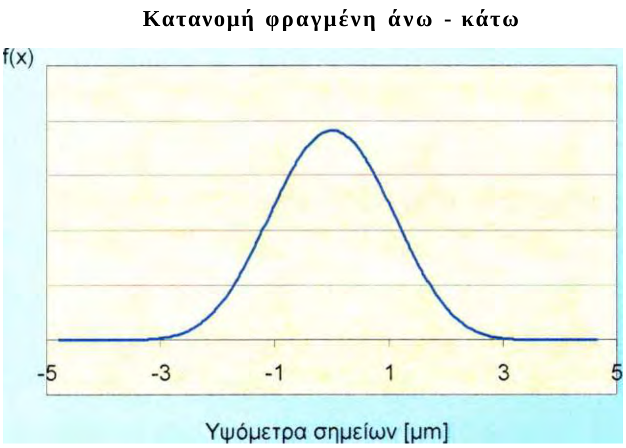
Σχήμα 5.2 Διάγραμμα Μεταβολής Τιμών Παραμέτρων Τραχύτητας $\mathbf{R_a}$ και $\mathbf{R_t}$. Αποτέλεσμα μετρήσεων σε κύλινδρο Μ.Ε.Κ τύπου RENAULT.

Σχήμα.5.3 Κατατομή κατά μήκος της γενέτειρας του κυλίνδρου, ρήκος μέτρησης 5000 μηι, εμφάνιση 100 πρώτων σημείων από 2000.

Σχήμα.5.4 Συνάρτηση κατανομής υψομέτρων σημείων του παραπάνω διαγράμματος

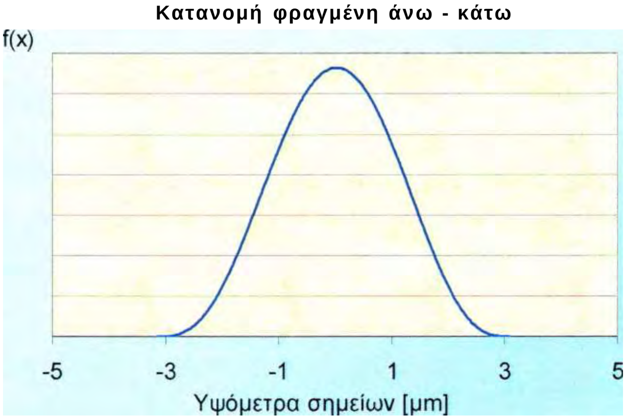
2) Αποδεικνύονται στην πράξη ότι με χρήση συναρτήσεων, οι οποίες συμπεριλαμβάνουν τυχαίους αριθμούς εκτός των άλλων συντελεστών τους, είναι δυνατή με μαθηματική προσομοίωση η δημιουργία και μελέτη ρεαλιστικής μορφής κατατομών τύπου Honing.

Σχήμα.5.5 Κατατομή κατά μήκος της γενέτειρας του κυλίνδρου, μήκος μέτρησης 5000 μηι, εμφάνιση 100 πρώτων σημείων από 2000.



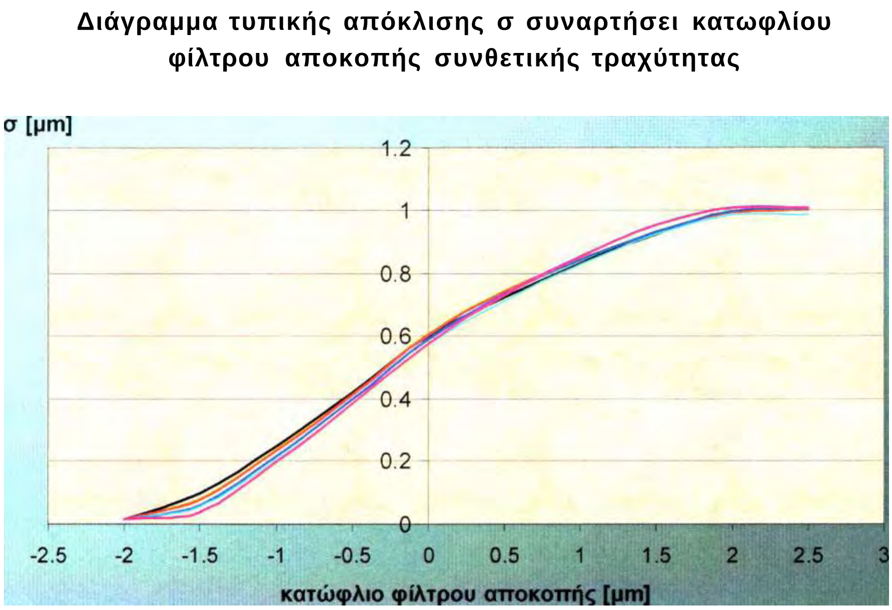
Σχήμα.5.6 Συνάρτηση κατανομής υψομέτρων' σημείων του παραπάνω τραχυγραφήματος

Σχήμα.5.7 Συνθετική κατατομή κατά μήκος της γενέτειρας του κυλίνδρου, μήκος μέτρησης 5000 μηι, εμφάνιση 100 πρώτων σημείων από 2000. στην αρχική κατάσταση για τυπική απόκλιση σ = 1.01 μιη.



Σχήμα 5.8 Συνάρτηση κατανομής υψομέτρίον σημείων συνθετικής κατατομής του παραπάνω τραχυγραφήματος.

3)Ακολουθώντας μια μεθοδολογία αξιολόγησης και ταξινόμησης κυλίνδρων ΜΕΚ. που έχουν υποστεί λειτουργική φθορά, αποδείχθηκε ότι υπάρχει συσχέτιση της τυπικής απόκλισης της κατανομής που αντιστοιχεί σε φθαρμένη επιφάνεια με κατώφλιο αποκοπής (ψηφιακό φίλτρο) που χρησιμοποιείται σε συνθετικό προφίλ τραχύτητας με τα ίδια χαρακτηριστικά με αυτά της πραγματικής τραχύτητας του κυλίνδρου.

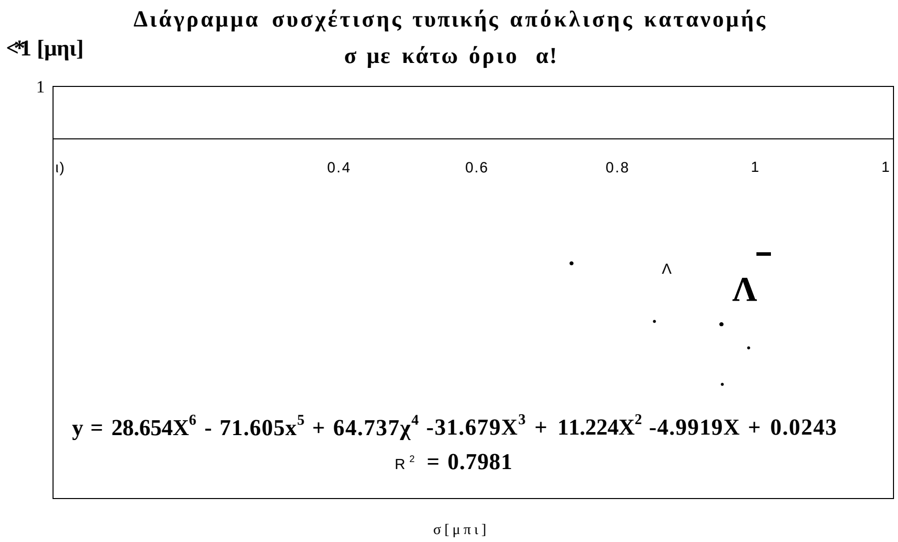


Σχήμα 5.9 Συσχέτιση τυπικής απόκλισης σ με κατώφλιο φίλτρου αποκοπής συνθετικής τραχύτητας.

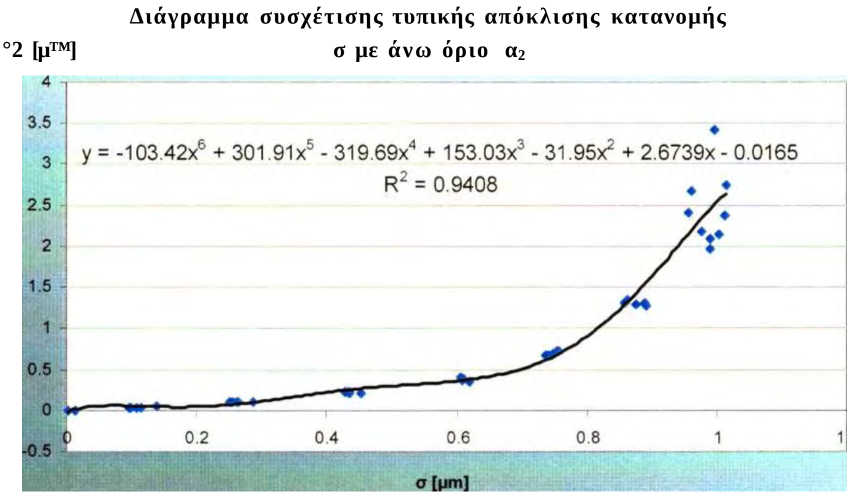
4) Λεπτομερές μελέτη της μεταβολής των συντελεστών των συναρτήσεων Fisher-Pearson. δηλαδή των ορίων αϊ. α2 καθώς και των εκθετών q 1. q2 στην συνάρτηση:

$$f(x) = f_0 \quad (\chi - a,) \qquad (a_2 - x)^{<q_2 - 1>}.$$

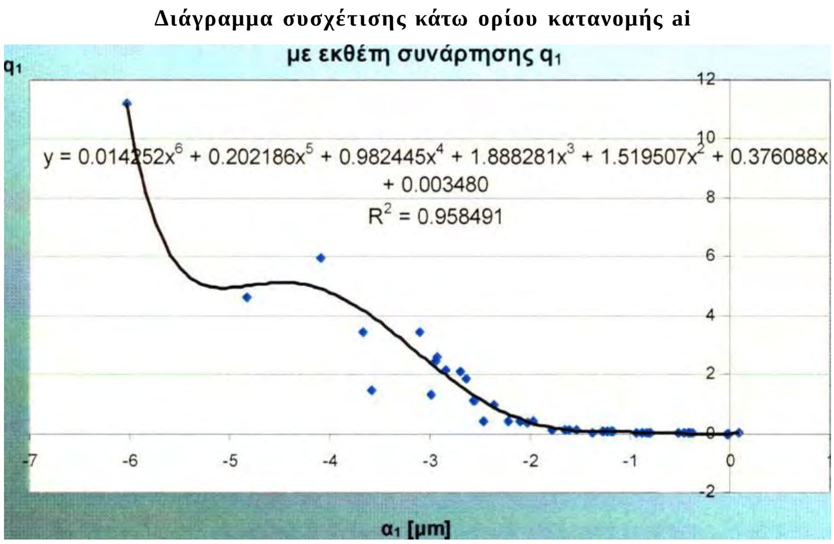
δείχνει ότι υπάρχει συσχέτιση μεταξύ τους για τον τύπο αυτόν της τεχνολογικής επιφάνειας, δηλαδή σ. αϊ. α2. ql,q2 συνδέονται μεταξύ τους. Έτσι με μια δειγματοληψία, μόνο η γνώση της τυπικής απόκλισης σ μας οδηγεί σε πλήρη προσδιορισμό της συνάρτησης κατανομής που χρησιμοποιείται σε πολλές περιπτώσεις υπολογισμών είτε υδροδυναμικής λίπανσης είτε υπολογισμών των πραγματικών μεγεθών της διεπιφάνειας κατά την επαφή δύο τραχειών επιφανειών. Η δημιουργία βάσης δεδομένων για τις φθαρμένες σε διαφορετικά στάδια τεχνολογικές επιφάνειες κυλίνδρων ΜΕΚ ρπορούν να κατατάξουν την επιφάνεια αυτή ρέσα στο πεδίο του χρόνου λειτουργίας.



Σχήμα 5.10 Διάγραμμα συσχέτισης τυπικής απόκλισης κατανομής σ με κάτω όριο αϊ για συνθετική τραχύτητα. Σημειώνεται πολύ καλή προσέγγιση της γραμμής τάσης σε προχωρημένο επίπεδο φθοράς, σ<0.8

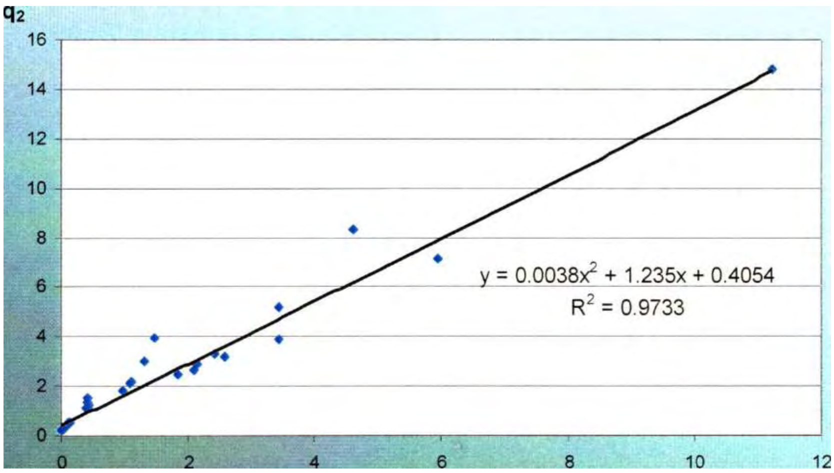


Σχήμα 5.11 Διάγραμμα συσχέτισης τυπικής απόκλισης κατανομής σ με άνω όριο α; για συνθετική τραχύτητα. Σημειώνεται πολύ καλή προσέγγιση της γραμμής τάσης σε προχωρημένο επίπεδο φθοράς. σ<0.8



Σχήμα 5.12 Διάγραμμα συσχέτισης κάτοι ορίου κατανομής αι με εκθέτη κατανομής qi για συνθετική τραχύτητα.

Διάγραμμα συσχέτισης εκθετών κατανομής q1, q2



Qi

Σχήμα 5.13 Διάγραμμα συσχέτισης εκθετών κατανομής ςι-ς2για συνθετική τραχύτητα.

5) Μετρήσεις με σκοπό την σύγκριση μεταβολής της τραχύτητας και κατά συνέπεια της φθοράς μεταξύ των δύο χαρακτηριστικών περιοχών του κυλίνδρου : α) μέσο διαδρομής εμβόλου και β) το ΑΝΣ. αποδεικνύουν την αναμενόμενη σημαντικότερη φθορά στην περιοχή του ΑΝΣ που θα μπορούσε να συγκριθεί με την φθορά του κυλίνδρου στο μέσο της διαδρομής, αλλά κατά την διάρκεια μεγαλύτερης περιόδου λειτουργίας.

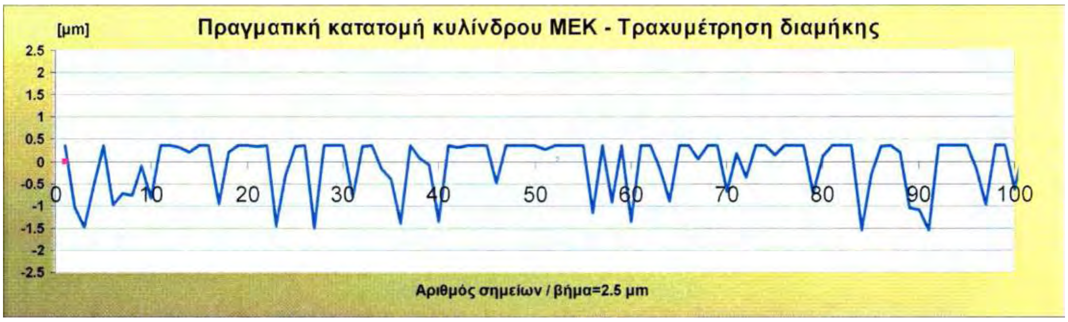
α) Στην περιοχή του **μέσου διαδρομής** οι αντίστοιχες τιμές είναι

R_a = Θ.45 μιη, R, = 5.Θ6 μιη, σ (R_q) = 0.7 μιπ. R_{ku} =6 και R_{sk}= -1.2

Σχήμα 5.14 Κατατομή κατά μήκος της γενέτειρας του κυλίνδρου στο μέσο της διαδρομής, μήκος μέτρησης 5000 μιπ, εμφάνιση 100 πρώτων σημείων από 2000

β) Στην περιοχή του **άνο) νεκροί) σημείου** (ΑΝΣ) είναι

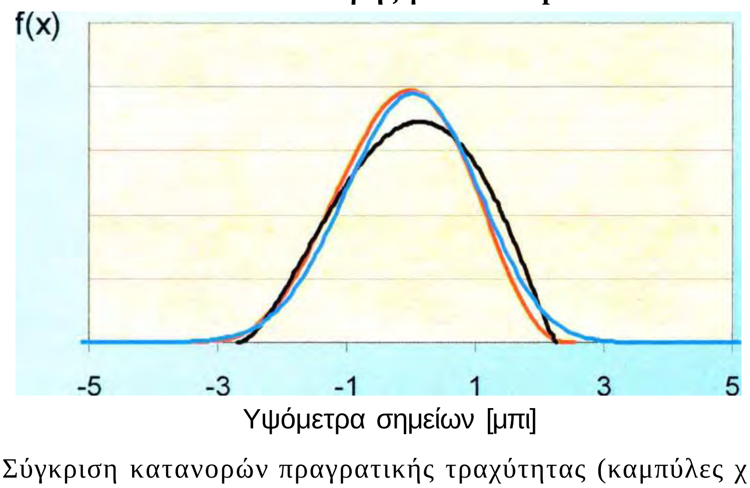
R_a = 0.3 μηι. R, = 3.2 μηι. σ (R_q) = 0.6 μιη, R^u =11 και R_sk=-2.2



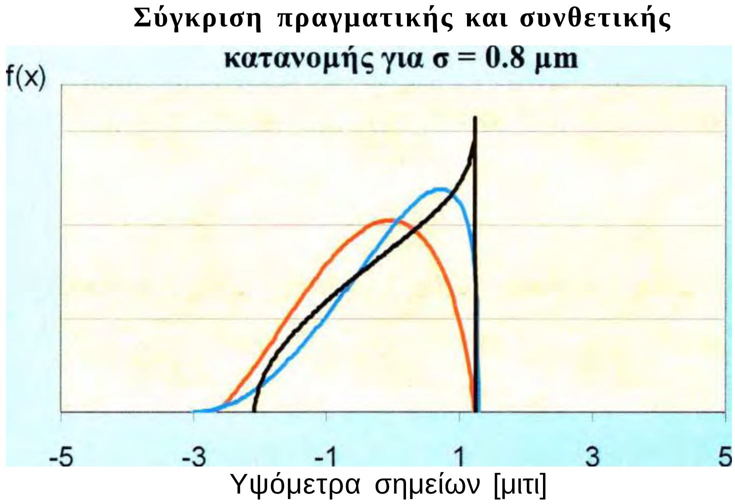
Σχήμα 5.15 Κατατομή κατά μήκος της γενέτειρας του κυλίνδρου στο ΑΝΣ, ρήκος μέτρησης 5000 pm, εμφάνιση 100 πρώτων σημείων από 2000.

6) Μετρήσεις με σκοπό την σύγκριση ρεταβολής της τραχύτητας και κατά συνέπεια της φθοράς ρεταξύ των δύο χαρακτηριστικών περιοχών του κυλίνδρου : α) ρέσο διαδρορής ερβόλου και β) το ΑΝΣ. αποδεικνύουν την αναμενόμενη σημαντικότερη φθορά στην περιοχή του ΑΝΣ που θα μπορούσε να συγκριθεί με την φθορά του κυλίνδρου στο μέσο της διαδρομής, αλλά κατά την διάρκεια μεγαλύτερης περιόδου λειτουργίας.

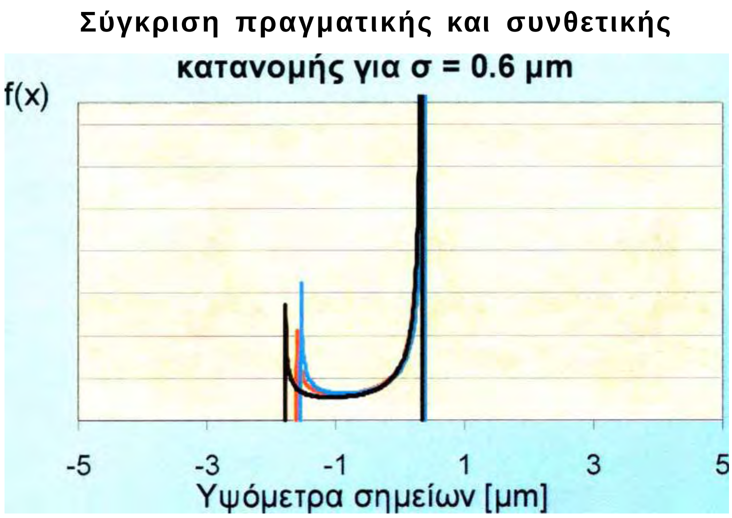
Σύγκριση πραγματικής και συνθετικής κατανομής για σ = 1 pm



Σχήμα 5.16 Σύγκριση κατανορών πραγρατικής τραχύτητας (καμπύλες χρώρατος ραύρου και ρπλε) πρώτου δείγρατος κυλίνδρου ρε κατανορή συνθετικής (χρώματος κόκκινου) για τυπική απόκλιση σ = Ιμιη. Προτεινόμενη προσέγγιση.

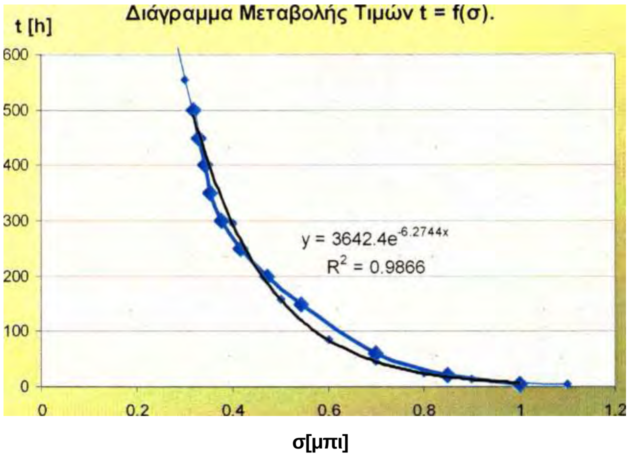


Σχήμα 5.17 Σύγκριση κατανομών πραγματικής τραχύτητας (καμπύλες χρώματος μαύρου και μπλε) δεύτερου δείγματος κυλίνδρου με κατανομή συνθετικής (χρώματος κόκκινου) για τυπική απόκλιση σ = 0.8μιη. Προτεινόμενη προσέγγιση



Σχήμα 5.18 Σύγκριση κατανομών πραγματικής τραχύτητας (καμπύλες χρώματος μαύρου και μπλε) τρίτου δείγματος κυλίνδρου με κατανομή συνθετικής (χρώματος κόκκινου) για τυπική απόκλιση σ = 0.9μιη. Προτεινόμενη προσέγγιση

7) Κάνοντας χρήση της πειραματικής καμπύλης τυπικής απόκλισης σ - χρόνου φθοράς t ή της αντίστοιχης χρόνου φθοράς t - τυπικής απόκλισης σ .όπως προαναφέρθηκε, είναι δυνατή η εκτίμηση του χρόνου λειτουργίας κάθε κυλίνδρου ΜΕΚ για την περιοχή του στο μέσο της διαδρομής.



Σχήμα 5.19 Ενδεικτικό διάγραμμα μεταβολής τιμών σ στο πεδίο του χρόνου. Αποτέλεσμα μετρήσεων σε κύλινδρο Μ.Ε.Κ τύπου Renault.

Από τα αποτελέσματα όμως του τελευταίου κεφαλαίου, προκύπτουν ώρες λειτουργίας που με βάση το κριτήριο απόρριψης (μεταβολή της μορφής της καμπύλης από «U» σε «J» (δημιουργία πλατώ)) εμφανίζονται με πολύ μικρότερες τιμές από τις συνήθεις ρεαλιστικές τιμές διάρκειας ζωής των κινητήρων Μ.Ε.Κ., δηλαδή για το παράδειγμα του πρώτου κυλίνδρου ο οποίος για το μέσο της διαδρομής εκτιμήθηκε ότι λειτούργησε για 554 ώρες, αν υποτεθεί ότι σχετίζεται με όχημα που κινείται με ταχύτητα 1Θ0 χιλ./ώρα .θα είχε διανύσει 55400 χιλιόμετρα, τιμή που υπολείπεται κατά πολύ των ρεαλιστικών τιμών ζωής των κινητήρων.

Επομένως, απαιτείται λεπτομερέστερη συσχέτιση της καμπύλης σ -1, κυρίως για μεγάλες τιμές του χρόνου λειτουργίας, γεγονός το οποίο συμπεριλαμβάνουμε στις προοπτικές επέκτασης - εμβάθυλ'σης της παρούσας διπλωματικής εργασίας, καθώς υπάρχει δυσκολία κατασκευής ακριβέστερης καμπύλης λόγω του πολύ μεγάλου χρόνου λειτουργίας του προσομοκοτή φθοράς που απαιτείται. Για παράδειγμα, 100000 χιλ. για κινητήρα Μ.Ε.Κ. με ταχύτητα u=100 χιλ./ώρα αντιστοιχούν σε 1000 ώρες λειτουργίας προσομοκοτή. δηλαδή σε 40 μέρες πειραματικής διαδικασίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Cetim. "Les etats de surface". Note Technique No 19.

[2] Christensen, H.. "Stochastic Models for Hydrodynamic Lubrication of Rough Surfaces". Proc. Inst. Mech. Engrs Tribology Group 184. Part 1. Vol.55, p. 1013. 1970.

[3] Christensen. H., "A Theory of Mixed Lubrication", Proc. 1 Mech. Engrs. Vol. 186. p. 421.1972.

[4] Greenwood. J.A.. "Constriction resistance and the Real Area of Cintact", BRIT J. APP. PHYS. Vol 17, pp. 1621-1632, 1966.

[5] Greenwood, J.A.. and WILLIAMSON. J.B.P.. -'Contact of Nominally Flat Surfaces", Proc. Roy Soc Land, A. 295. pp. 300-319. 1966.

[6] Greenwood, J.A., "The Area of contact Between Rough Surfaces and Flats", Journal of Lubrication technology, pp. 81-91, January 1967.

[7] Greenwood. J.A., and TRIPP. J.H., "The Contact of two Nominally Flat Surfaces", Proc. Inst. Of Mech. Eng.. Vol. 185: p. 625. 1971.

[8] Pandazaras. C., "Diminution des Pertes par Frottement dans les ensembles Pistons-Segmants-Chemises". Repport de stage de Fin d'etudes, ISMCM. 1981.

[9] Pandazaras. C., "Etudes Experimentales et Theoriques sur les Pertes par Frottement dans les Ensembles Pistons-Segments-Chemises" DLA/RNUR. 1982.

[10] Pandazaras C., "Modelisation du Frottement Segment-Chemise" DLA.RNUR. Note Technique no 5781, 1982.

[11] Pandazaras. C., '"Influence de la Forme des Segments sur le Frottement Segment-Chemise". PLA/RNUR. Note technique No 5808. 1983.

[12] Patir. N.. and Cheng. H.S., "An Average Model for Determining Effects of Tree Dimensional Roughness on Patrial Hydrodynamic Lubrication", Transaction of the ASME. Vol. 100, January 1978.

[13] Patir. N., and Cheng H.S., '"Aplication of average Flow Model to Lubriacation Between Rough Sliding Surfaces". Transaction of the ASME, 220/Vol 101. April 1979.

[14] Peklenik, J., "Properties and Metrology of surfaces" Oxford Inst. 4^{th}, Paper 24. April 1968.

[15] Rohde, S.M., "A Mixed Friction Model for Dynamically Loaded Contacts with Application to Piston Ring lubrication", GENERAL MOTORS Research Laboratories, 1980.

[16] Rohde. S.M., Whitaker, K„ and mc Allister. G.T.. "A Study of the Effects of Piston Ring and Engine Design Variables on Piston Ring Friction, To Appear in Frontiers in Research and Design. ASME. 1979.

[17] "Statistique Appliquee e Γ Exploitation des mesures "Tomes 1 et 2. Commissariat e Γ energie Atomique. MASSON 1978.

[18] Priest M., «The Wear and Lubrication of Piston Rings», Ph. D. Thesis, University of Leeds(1996)

[19] Pawlus Pawel. «Change of Cylinder Surface Topography in the Initial Stage of Engine Life». Wear 209, (1997). pp 69-83

[20] Dagnall H. (1996) Exploring Surface Texture. Publishing Taylor Hobson Ltd

[21] Whitehouse D (1996) Handbook of Surface Metrology, Institute of Physics publishing for Rank Taylor-Hobson Co.. Bristol

[22] Humienny Z.(ed.) (2001) Geometrical Product Specifications, chapter 16: ''Roughness, Waviness and primary Profile" by L. Blunt and X. Jiang. Warsaw University Printing House

[23] Mac Donald B.C. and Co Basic Components & Elements of Surface Topography http://\vw\v.bcmac.com/PDF liles/Surface%20Finish%20101 .pdf

[24] Dietzsch M., Papenfluss K. Hartmann, T. (1998) The MOTIF-method (ISO 12085) - A suitable description for functional, manufactural and metrological requirements, International Journal of Machine Tools and Manufacture. 38. No 5-6. 625-632

[25] King T G, Houghton N E (1995) Describing distribution shape: R_K and central moment approaches compared. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 35/2. 247-252

[26] Hasegawa M. Liu. J. Okuda K. Nunobiki M (1996) Calculation of the fractal dimensions of machined surface profiles. Wear. 192. 40-45

[27] Petropoulos G P Pandazaras C N, Vaxevanidis N M, Antoniadis A (2006) Multi-parameter identification and control of turned surface textures. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 29. No. 1 & 2. 118-128

[28] Thomas T R, Rosen B-G , Amini N. (1999) Fractal characterization of the anisotropy of rough surfaces. Wear. 232. 41-50

[29] Boothroyd G (1975) Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools. Scripta Book Company, Washington. DC

[30] Armarego E J A. Brown R H (1969) The Machining of Metals, Prentice-Hall. New Jersey

[31] Petropoulos P G (1973) The effect of feed rate and of tool nose radius on the roughness of oblique finish turned surfaces. Wear. 23, 299-310

[32] Benardos P G. Vosniakos G-C (2003) Predicting surface roughness in machining: a review, International Journal of Machine Tools & Manufacture. 43. 833-844

[33] Gosh A. Mallik A K (1995) Manufacturing Science, East West Press, New Delhi

[34] Kruszynski B. van Luttervelt K A (1989) The influence of manufacturing processes on surface properties. Advanced Manufacturing Engineering, 1, 187-202

[35] Nowicki B (1985) Multi- parameter representation of surface roughness, Wear. 102. 161-176

[36] Petropoulos G. Pandazaras C. Vaxevanidis N. Ntziantzias I.. Korlos A, (2007) Selecting subsets of mutually uncorrelated surface roughness parameters in turning. International Journal of Computational Materials Science and Surface Engineering. 1. Nr 1, 114-128

[37] S. Kalpakjian. Manufacturing Engineering and Technology, Fifth Edition. Addison-Wesley Publishing Company. 2006.

[38] Peklenik J (1967) Investigation of the surface typology. Annals of the CIRP, Vol.

[39] Whitehouse D J (1978) Beta functions for surface typologie?, Annals of the CIRP. 27, No.l.. 539-553

[40] Peters J. Vanherck P. Sastrodinoto M. (1979) Assessment of surface typology analysis techniques. Annals of the CIRP. 28. No. 25. 39-553