

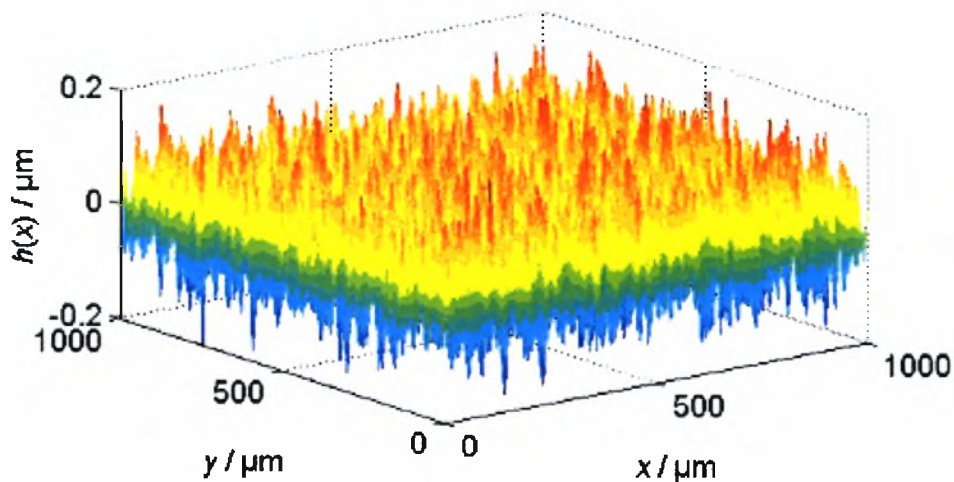
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**«ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ
ΦΘΑΡΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ
ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΑΡΧΙΚΗΣ
ΤΟΥΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ»**



Γεωργιάδης Μιχάλης

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

Βόλος 2011



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 13323/1
Ημερ. Εισ.: 10-11-2014
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΜΜ
2011
ΓΕΩ

© 2011 Γεωργιάδης Μιχάλης

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής: Δρ. Πανταζάρας Κωνσταντίνος
(Επιβλέπων) Διδάσκων, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής: Δρ. Σταματέλλος Τάσος
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής: Δρ. Καραμάνος Σπυρίδων
Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Πρώτα απ' όλα, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή μου κ.κ.Πανταζάρα για την πολύτιμη βοήθεια, καθοδήγησή και συμπαράστασή του κατά τη διάρκεια της δουλειάς μου. Επίσης, είμαι ευγνώμων στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της διπλωματικής εργασίας μου, καθηγητές κκ. Σταματέλλο, Καραμάνο για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και για τις πολύτιμες υποδείξεις τους.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και κυρίως τους γονείς μου, Κώστα και Κάτια, για την στήριξη τους, τόσο για την ηθική όσο και για την υλική, κατά την διάρκεια των σπουδών μου, καθώς επίσης και τους φίλους μου.

Γεωργιάδης Μιχάλης

Γεωργιάδης Μιχάλης

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, 2011

Επιβλέπων: Δρ. Πανταζάρας Κωνσταντίνος Διδάσκων,
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

**«ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ
ΦΘΑΡΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ
ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΑΡΧΙΚΗΣ
ΤΟΥΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ»**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία βασίζεται στην ιδέα αξιολόγησης και κατάταξης φθαρμένων, торνευμένων επιφανειών οι οποίες έχουν παραχθεί κάτω από κανονικές συνθήκες τόννευσης με τιμή κυμάτωσης σε περιορισμένα επίπεδα. Η ιδέα αυτή έχει εφαρμοστεί σε προηγούμενη διπλωματική εργασία της οποίας η παρούσα αποτελεί συνέχεια. Χωρίζεται σε 4 κεφάλαια:

- Στο πρώτο κεφάλαιο δίνεται η Εισαγωγή καθώς και το θεωρητικό υπόβαθρο στο οποίο βασίζεται η παρούσα διπλωματική και παρουσιάζεται η ανάγκη και η απαίτηση χρήσης συμπληρωματικών χαρακτηριστικών τραχύτητας για την αξιολόγηση και τον χαρακτηρισμό τεχνολογικών επιφανειών.
- Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στο σύστημα Fisher-Pearson το οποίο χρησιμοποιείται για την επεξεργασία συγκεκριμένων торνευμένων επιφανειών.
- Στο τρίτο κεφάλαιο δίνονται τα αποτελέσματα χαρτογράφησης και εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου και
- Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο δίνονται τα συμπεράσματα και οι προοπτικές που προκύπτουν από την εργασία αυτή.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....σελ.11

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ.....σελ. 15

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....σελ. 17

1.1. Συνήθη προβλήματα κατά τις μετρήσεις τραχύτητας τεχνολογικών επιφανειών.....σελ.18

1.2. Ποιες παράμετροι προσδιορίζονται και τι χαρακτηρίζουν ;σελ.19

1.3. Επιλογή αισθητηρίου (pick up).....σελ.22

1.4. Επιλογή μήκους κύματος αποκοπής (cut-off).....σελ.23

1.5. Επιλογή φίλτρου.....σελ.25

1.6. Μέγεθος στυλίσκου.....σελ.25

1.7. Χρήση φθαρμένου στυλίσκουσελ. 27

1.8. Λανθασμένη κατεύθυνση ή θέση μέτρησης.....σελ. 27

1.9. Ύπαρξη επιφανειακών ελαττωμάτων.....σελ. 28

1.10. Ταλαντώσεις κατά την μέτρηση.....σελ. 28

1.11. Ασυμβατότητα λογισμικών μέτρησης.....σελ. 29

1.12. Νέες εξελίξεις στην οργανολογία.....σελ. 29

1.13. Συμπεράσματα- Κατευθύνσεις.....σελ. 30

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ FISHER-PEARSON.....σελ. 35

2.1. Διαδικασία αναζήτησης – έρευνας του νόμου κατανομής τιμών πειραματικών αποτελεσμάτων κατά Fisher-Pearson.....σελ. 37

2.2. Κριτήριο Fisher-Pearson.....σελ. 42

2.3. Συντελεστές του Pearson και του Fisher – Αρχή της μεθόδου.....σελ. 43

2.4. Οικογένειες καμπυλών.....σελ. 44

2.5. Συμμετρικές καμπύλες.....σελ.	47
2.6. Ασύμμετρες μη φραγμένες καμπύλες.....σελ.	48
2.7. Εφαρμογή υπολογισμού παραμέτρων Fisher- Pearson.....σελ.	40

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ FISHER-PEARSON ΓΙΑ ΤΟΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟ ΤΟΡΝΕΥΜΕΝΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΠΟΥ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΙ ΓΕΝΙΚΑ ΚΥΜΑΤΩΣΗ ΚΑΙ ΦΘΟΡΑ.....σελ.

3.1. ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ ΚΑΤΑΤΟΜΗ ΤΟΡΝΕΥΣΗΣ ΜΕ ΚΥΜΑΤΩΣΗ $W=0$σελ.	64
3.2. ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ ΚΑΤΑΤΟΜΗ ΤΟΡΝΕΥΣΗΣ ΜΕ ΚΥΜΑΤΩΣΗ $W=5$σελ.	71
3.3. ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ ΚΑΤΑΤΟΜΗ ΤΟΡΝΕΥΣΗΣ ΜΕ ΚΥΜΑΤΩΣΗ $W=7,5$σελ.	78
3.4. ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ ΚΑΤΑΤΟΜΗ ΤΟΡΝΕΥΣΗΣ ΜΕ ΚΥΜΑΤΩΣΗ $W=10$σελ.	85
3.5. Εφαρμογή.....σελ.	103

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ.....σελ.

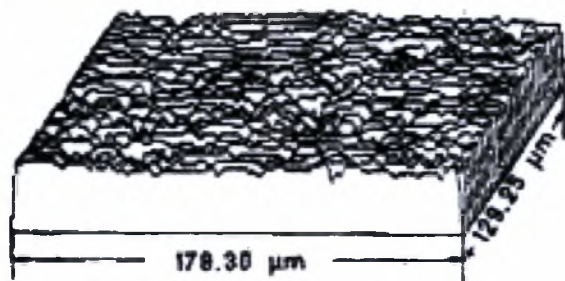
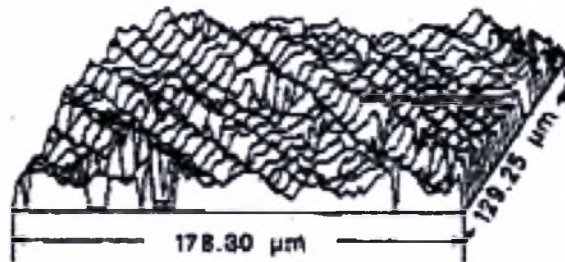
4.1. Συμπεράσματα.....σελ.	111
4.2. Διαμήκης τόννευση.....σελ.	112
4.3. Προοπτικές.....σελ.	116

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....σελ.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....σελ.

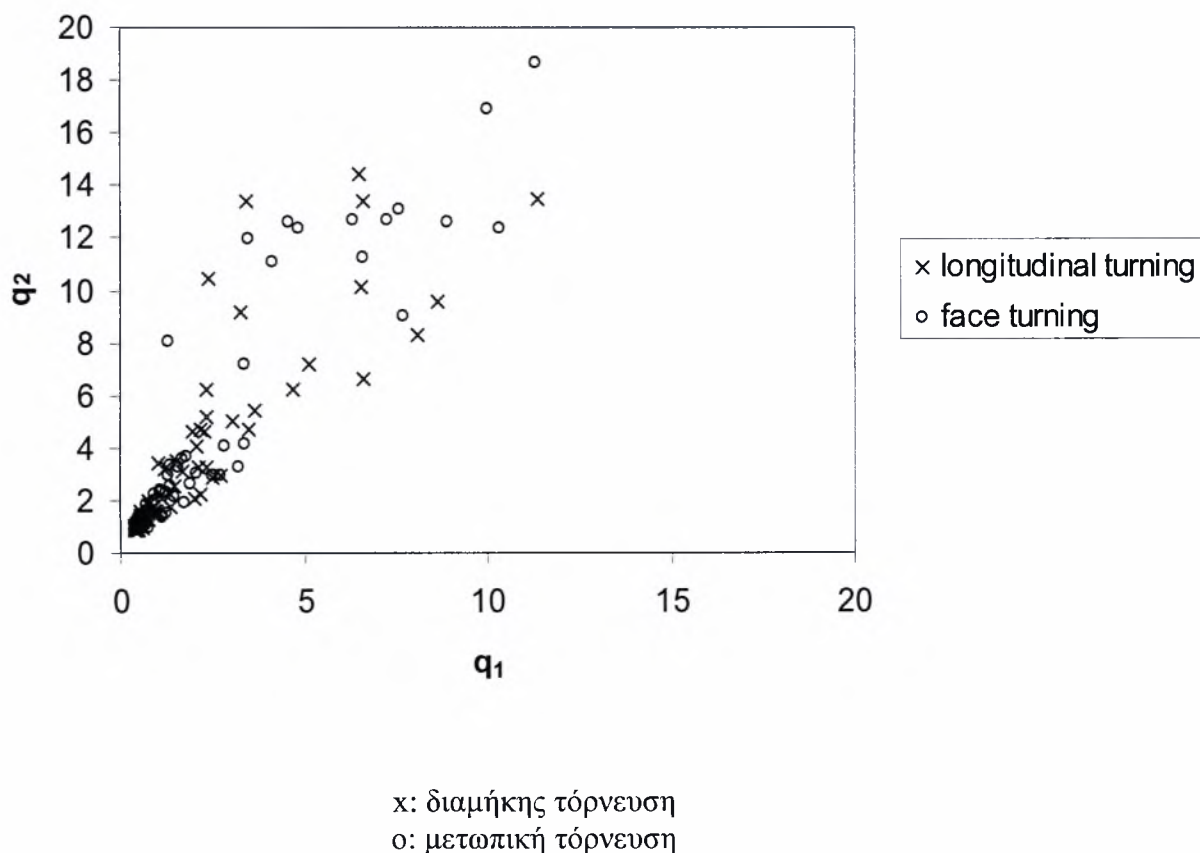
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ



1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η βασική ιδέα επάνω στην οποία βασίστηκε η παρούσα διπλωματική εργασία σχετίζεται με την διαπίστωση ότι σε τεχνολογικές επιφάνειες που προέρχονται από κατεργασία με κοπτικό εργαλείο καθορισμένης γεωμετρίας, οι συναρτήσεις κατανομών των υψομέτρων των σημείων της κατατομής εμφανίζουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά (Σχήμα 1.1). Έτσι με την στατιστική ανάλυση σύμφωνα με το στατιστικό σύστημα Fisher-Pearson οι πρώτες μετρήσεις είχαν δείξει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Αποφασίστηκε λοιπόν οι λεπτομερείς μελέτη μιας σειράς διαφορετικών τύπων επιφανειών με πρώτη την επιφάνεια που προέρχεται από διαμήκη τórνευση.



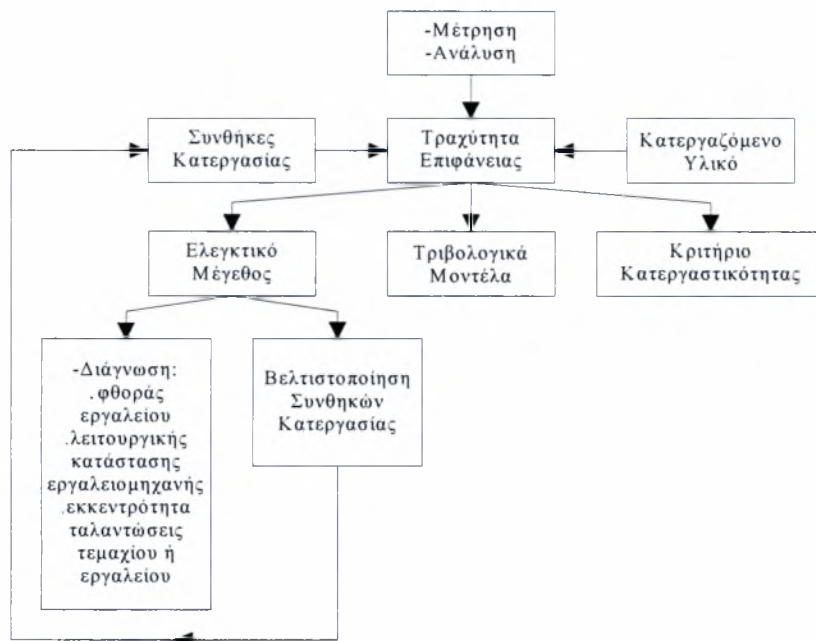
Σχήμα 1.1: Διάγραμμα μεταβολής εκθετών κατανομής κατά Fisher-Pearson $q_1=f(q_2)$ από δεδομένα του εργαστηρίου κατεργασιών (Γ. Πετρόπουλος).

Στον παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα θεωρητικά στοιχεία τα οποία αποτελούν βάση για την μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί στο δεύτερο και τρίτο κεφάλαιο. Ο στόχος της συγκεκριμένης εργασίας που αφορά στον προσδιορισμό-εκτίμηση αρχικών χαρακτηριστικών τραχύτητας τεχνολογικής επιφάνειας που προέρχεται από κανονική τόννευση (τόννευση με κανονικές συνθήκες) πραγματοποιείται έχοντας ως βασικό εργαλείο την στατιστική ανάλυση με το σύστημα Fisher-Pearson. Τα θεωρητικά στοιχεία που παρουσιάζονται στην συνέχεια είναι αντικείμενο της σχετικής βιβλιογραφίας. Είναι απαραίτητο να εμφανιστούν στο κεφάλαιο αυτό έτσι ώστε να υπάρχει πληρότητα ως προς την ενδεχόμενη χρήση της παρούσας διπλωματικής σαν βάση δεδομένων για μελλοντικές εφαρμογές.

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.

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



Σχήμα 1.2: Σημασία της τραχύτητας επιφάνειας σε σχέση με την παραγωγή και την έρευνα.

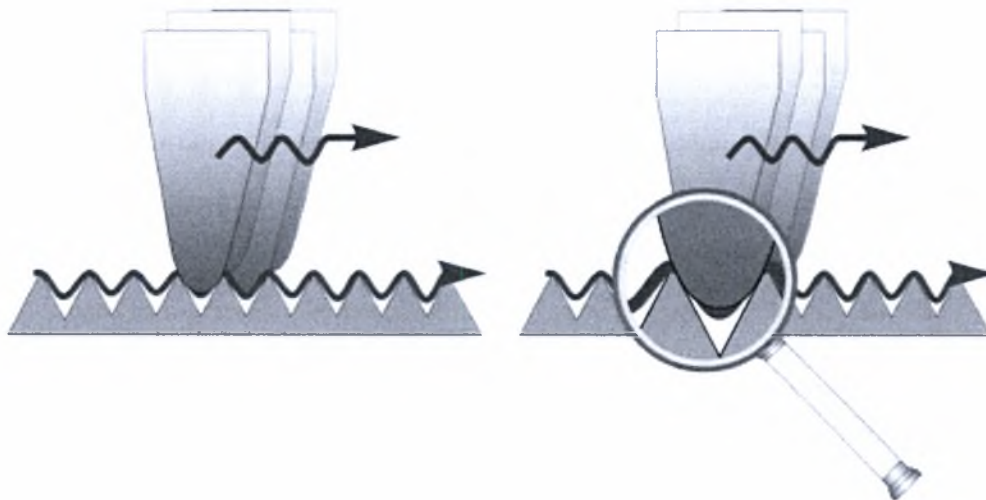
1.2. Ποιες παράμετροι προσδιορίζονται και τι χαρακτηρίζουν ;

Ακολουθεί ένα χρήσιμο ιστορικό. Παλαιότερα, ο καθορισμός της τραχύτητας κατεργασμένης επιφάνειας διεξάγεται 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_{max} 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_{max} , R_a και R_z) 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

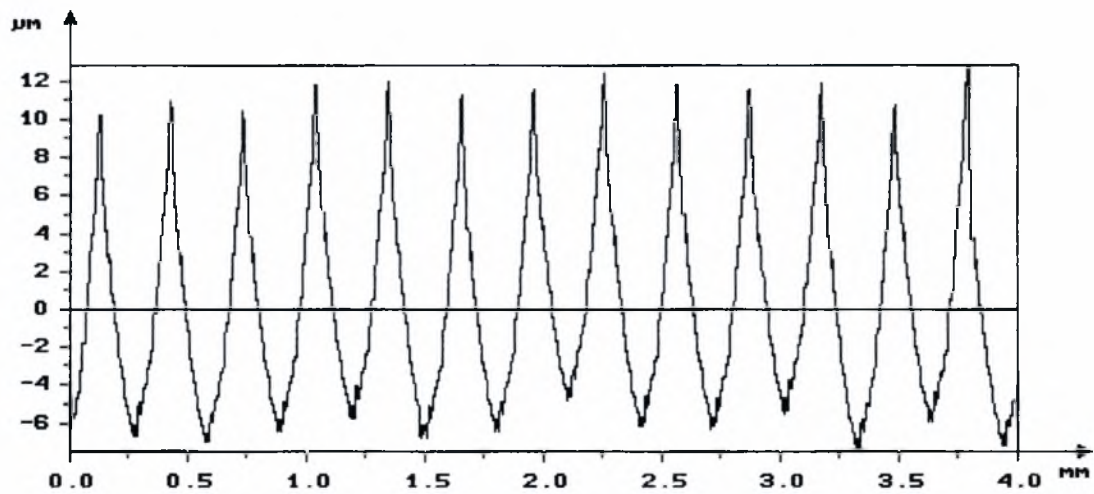
επιτρέπει στοιχειώδη έλεγχο της κατεργασίας όμως δεν δίνει καμία πληροφορία για την μορφή της επιφάνειας.

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).

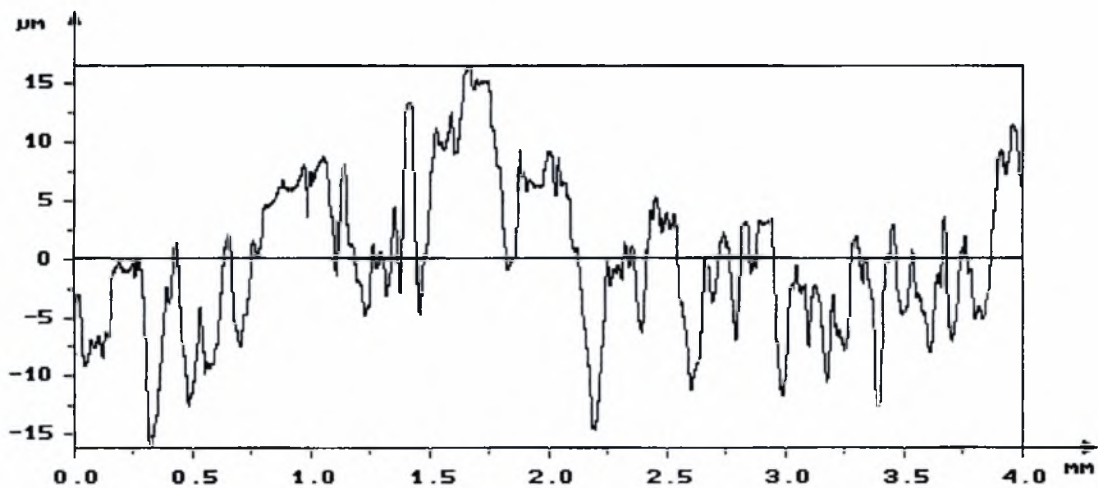
Η βασική διάκριση μεταξύ των παραγόμενων περιγραμμάτων εντοπίζεται σε περιοδικά και σε τυχαία (Σχήμα 1.4). Τα πρώτα οφείλονται σε κατεργασίες με εργαλείο καθορισμένης γεωμετρίας (τόρνευση, φρεζάρισμα, πλάνισμα). Η υφή τους χαρακτηρίζεται από τα αποτυπώματα της ακής του εργαλείου που ισαπέχουν κατά την τιμή της εκάστοτε εφαρμοζόμενης πρόωσης. Αυτό πάντως δεν ισχύει σε περιπτώσεις μη ομαλού σχηματισμού του αποβλήτου, όπως για ασυνεχές απόβλιττο, ψευδόκοψη και σοβαρή φθορά του εργαλείου.



Σχήμα 1.3: Προσομοίωση διαμήκους τόρνευσης.



Σχήμα 1.4(α): Περιοδικό περίγραμμα
 $s=0.32 \text{ mm.rev}^{-1}$, $v=185 \text{ m.min}^{-1}$, $R_a=3.82 \text{ μm}$, $R_t=17.6 \text{ μm}$, $R_{Ir}=101.7 \%$, $R_{DelQ}=10.7^\circ$



Σχήμα 1.4(β): Τυχαίο περίγραμμα
 $s=0.08 \text{ mm.rev}^{-1}$, $v=20 \text{ m.min}^{-1}$, $R_a=3.29 \text{ μm}$, $R_t=20.9 \text{ μm}$, $R_{Ir}=102.9 \%$, $R_{DelQ}=14.2^\circ$

Σχήμα 1.4: Χαρακτηριστικά περιγράμματα επιφάνειας, περιοδικό (1.4α) και μη περιοδικό (1.4β).

Τα δεύτερα παράγονται από λειαντικές κατεργασίες ή μη συμβατικές κατεργασίες (π.χ. ηλεκτροδιάβρωση). Είναι σαφώς αναγνωρίσιμα αν και δύσκολα περιγράψιμα.

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_l και R_z , είναι συχνές και πρέπει να γίνονται οι αντίστοιχες διορθώσεις.

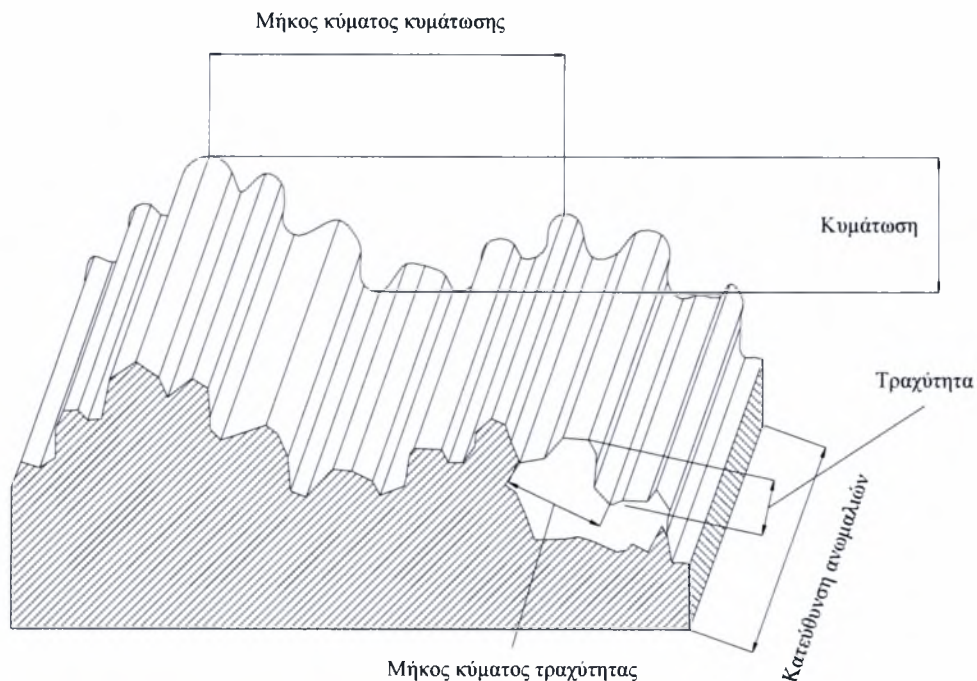
β) Δεν είναι εύκολη η επιλογή των παραμέτρων, καθώς υφίσταται άμεση εξάρτηση από την κατεργασία που προηγήθηκε, αλλά και την μετέπειτα λειτουργική (τριβολογική) συμπεριφορά της επιφάνειας.

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 επαπτομενικά το περίγραμμα της επιφάνειας δρα ως μηχανικό φίλτρο, το οποίο αποκόπτει την κυμάτωση (Σχήμα 1.7). Τούτο 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 1.5: 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. 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 1.1. 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 1.6: Προδιαγραφή της τραχύτητας.

ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΗΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΑΠΟΚΟΠΗΣ (cutoff) λ_c		
DIN EN ISO 4288, ASME B46.1		
ΠΕΡΙΟΔΙΚΟ ΠΡΟΦΙΛ	ΜΗ ΠΕΡΙΟΔΙΚΟ ΠΡΟΦΙΛ	cutoff

R_{sm} (mm)	R_z (μm)	R_a (μm)	λ_c (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 1.1: Προτεινόμενα μήκη cutoff για διάφορες κατεργασίες.

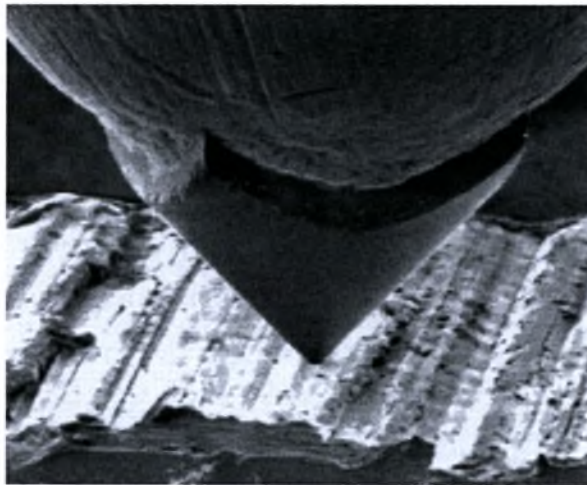
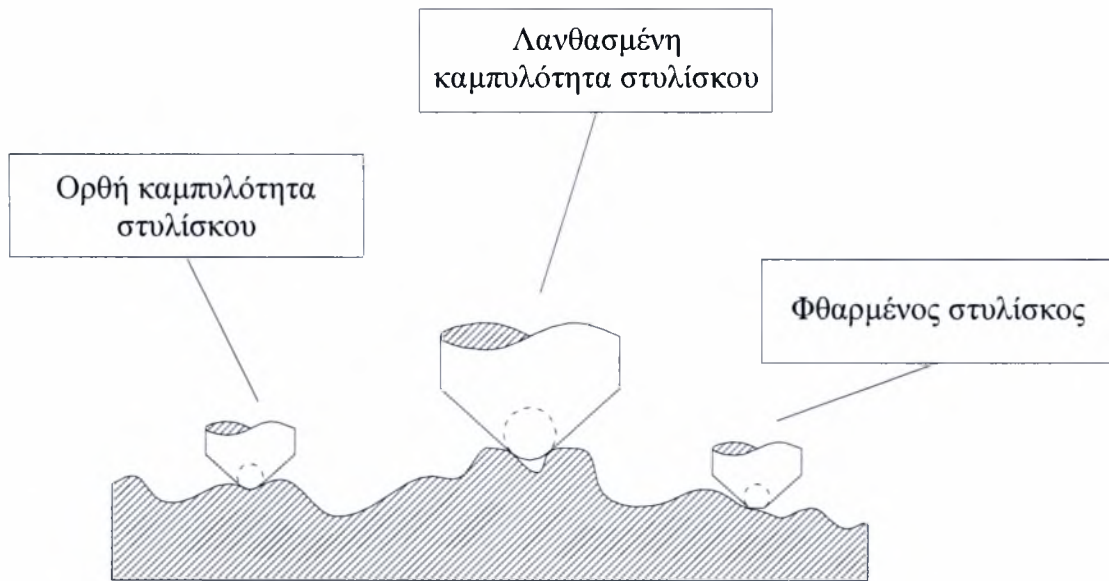
1.5. Επιλογή φίλτρου

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 εργαλειομηχανής κλπ.

1.6. Μέγεθος στυλίσκου

Οι ακτίνες καμπυλότητας των στυλίσκων του εμπορίου κυμαίνονται από 2 μm έως 10 μm . Υπάρχει αντιστοιχία ανάμεσα στην καμπυλότητα και στην ιχνηλασία πολύ μικρών ανωμαλιών του περιγράμματος, όπως και στην δυνατότητα χάραξης της επιφάνειας του δοκιμίου. Ο μεγάλος καμπυλότητας στυλίσκος, όπως φαίνεται στο

Σχήμα 1.7 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.



Σχήμα 1.7: Καμπυλότητα στυλίσκου – φθορά στυλίσκου.



Σχήμα 1.8: 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. 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. Για παράδειγμα, η τραχύτητα κατά μήκος ενός торνευμένου άξονα επιδεινώνεται αν δεν έχει αλλαχθεί το κοπτικό. Ή κατά φραιζάρισμα με μεγάλο βάθος κοπής ή σε χαμηλής ισχύος φραιζομηχανή (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 εργαλειομηχανή. 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 στυλίσκο 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 εργαλειομηχανές με κίνδυνο εμφάνισης αστοχιών (πλαστικές παραμορφώσεις μερών, ρωγμές κ.ά.).

1.11. Ασυμβατότητα λογισμικών μέτρησης

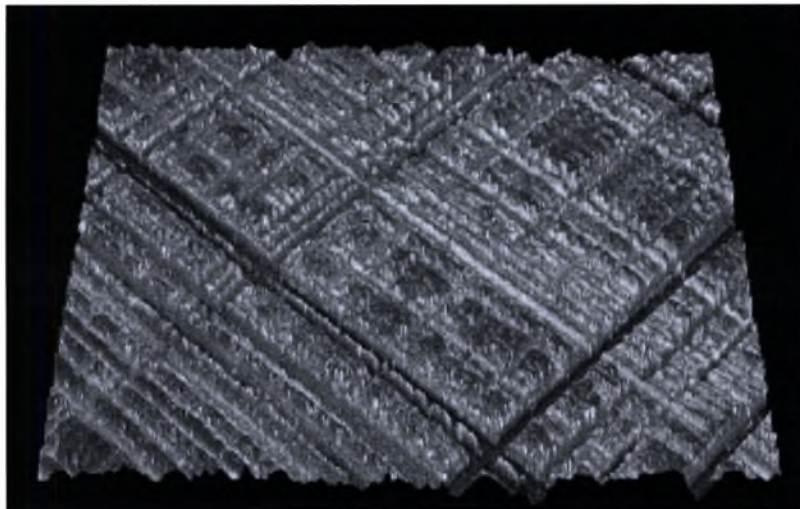
Η πληθώρα λογισμικών που διατίθεται για την μέτρηση των παραμέτρων από διάφορους οίκους κατασκευής τραχυμέτρων έχει καταστήσει την ανάλυση της τραχύτητας προσιτή σε βιομηχανικούς χρήστες και ερευνητές. Έχει δημιουργήσει όμως και προβλήματα, καθώς δεν είναι δυνατό για εμπορικούς λόγους να έχει κάποιος 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 συνοδευόντος 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 (είδε και παράγραφο 1.8) δεν είναι ικανοποιητική. Επομένως, ένας τρισδιάστατος υψομετρικός

χάρτης θα περιγράφει καλύτερα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της επιφάνειας και θα προσέφερε νέες δυνατότητες.. Προς την κατεύθυνση αυτή υπάρχουν οπτικά τραχύμετρα (Σχήμα 1.10) που σαρώνουν την επιφάνεια και εξάγουν τρισδιάστατες τοπογραφικές παραστάσεις. Για 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 φαινομένων 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.



Σχήμα 1.10: Τραχυμέτρηση ανισότροπης με οπτικό τραχύμετρο.

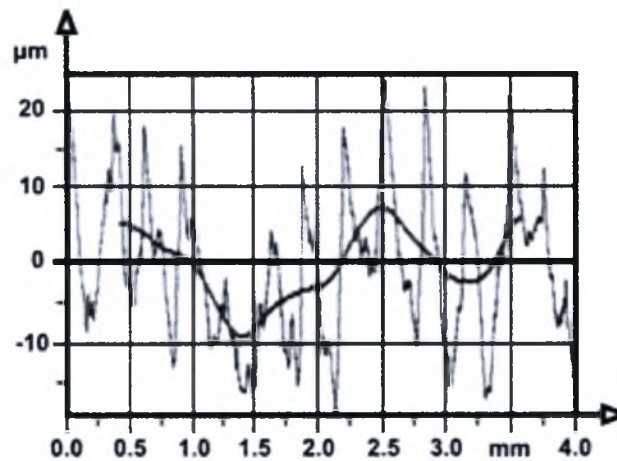
1.13. Συμπεράσματα - Κατευθύνσεις

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.

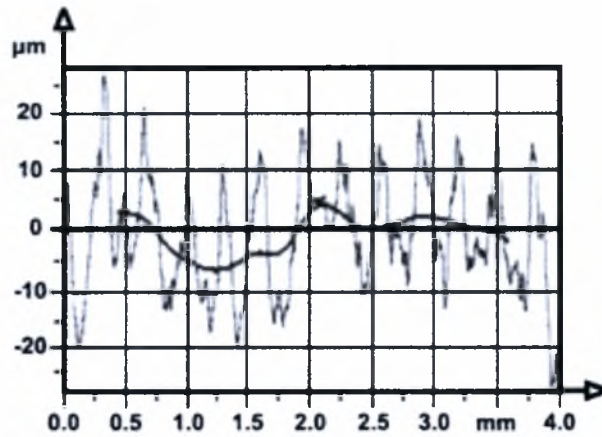
Κατά συνέπεια, είναι αναγκαία η ενημέρωση για τις δυνατότητες των συστημάτων μέτρησης τραχύτητας (συσκευή εργαστηριακή ή φορητή, αισθητήριο, στυλίσκος, λογισμικό) στο στάδιο προμήθειάς των, διότι αυτές συμπορεύονται με τις

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.

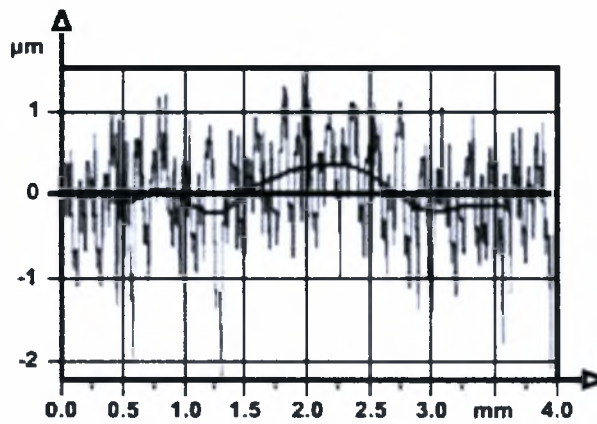
Τα παρακάτω σχήματα εμφανίζουν περίγραμμα τορνευμένων επιφανειών τα οποία θα μελετηθούν στο μέλλον με την ίδια συστηματική προσέγγιση που εφαρμόζεται στην παρούσα διπλωματική, η οποία επικεντρώνεται σε τορνευμένη επιφάνεια με κανονική παραγωγή αποβλίττου (Σχήμα 1.16).



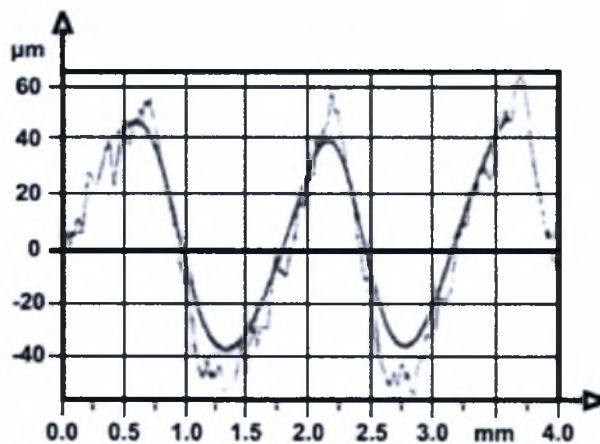
Σχήμα 1.11: Χαρακτηριστικά περιγράμματα τορνευμένης επιφάνειας παρουσία ψευδόκοψης.



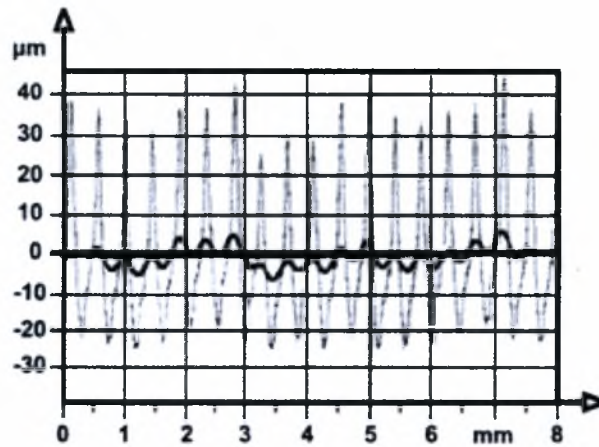
Σχήμα 1.12: Χαρακτηριστικά περιγράμματα τорνευμένης επιφάνειας με ασυνεχές απόβλιττο.



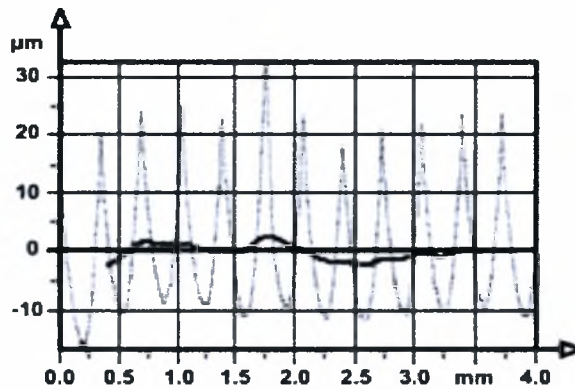
Σχήμα 1.13: Χαρακτηριστικά περιγράμματα τорνευμένης επιφάνειας με πολύ χαμηλή πρόωση.



Σχήμα 1.14: Χαρακτηριστικά περιγράμματα τорνευμένης επιφάνειας υπό την επίδραση ταλάντωσης του συστήματος.



Σχήμα 1.15: Χαρακτηριστικά περιγράμματα τорνευμένης επιφάνειας υπό την παρουσία κρατήρα στο κοπτικό εργαλείο.



Σχήμα 1.16: Χαρακτηριστικά περιγράμματα τорνευμένης επιφάνειας με κανονική παραγωγή αποβλίττου.

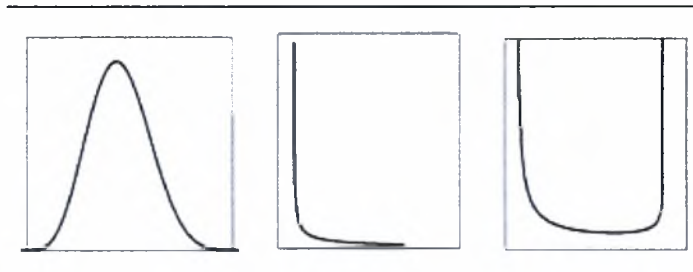
Στο κεφάλαιο που ακολουθεί εμφανίζονται τα θεωρητικά στοιχεία που σχετίζονται με το στατιστικό μοντέλο Fisher-Pearson που θα χρησιμοποιηθεί για τον χαρακτηρισμό και την ταξινόμηση των τεχνολογικών υπό μελέτη επιφανειών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ

ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ FISHER-PEARSON

Probability curve



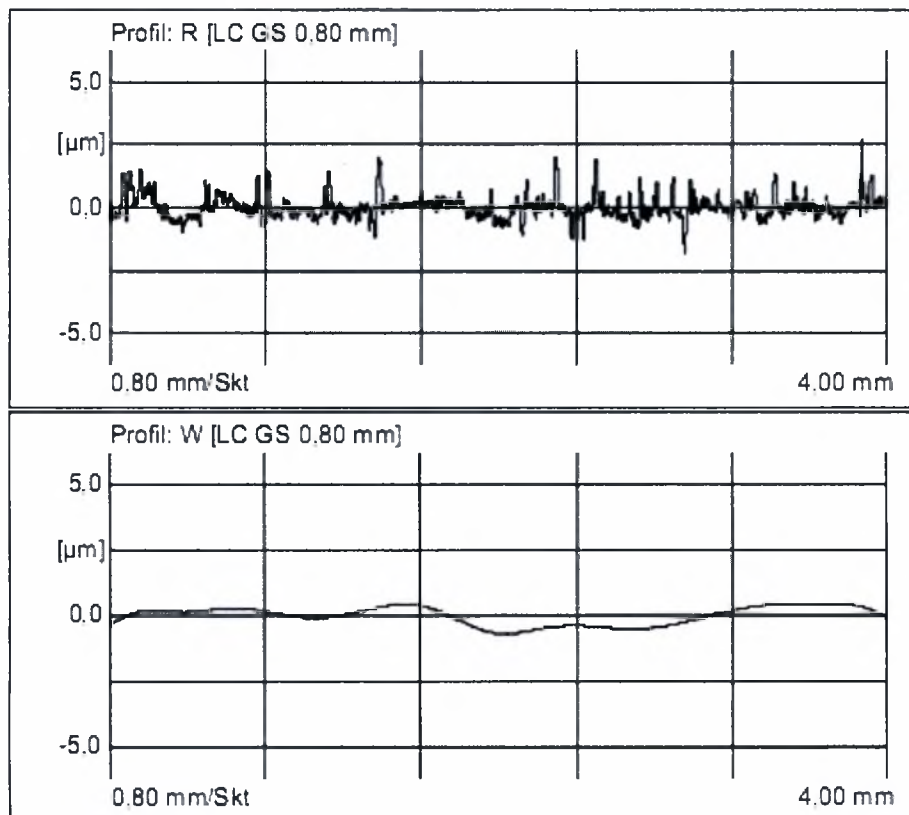
Ronald Fisher



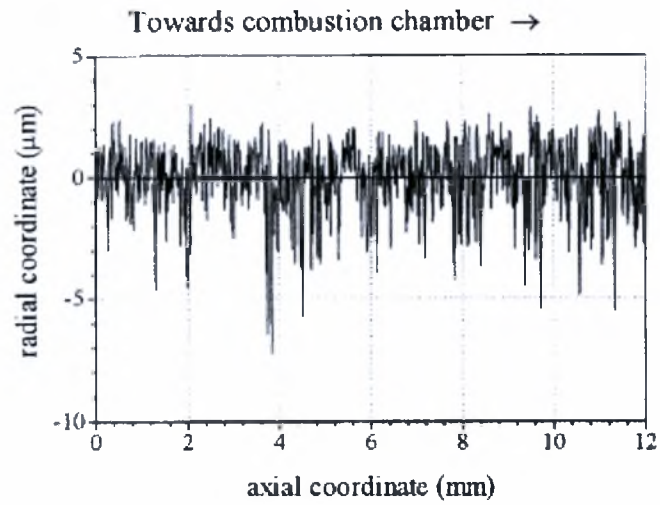
Karl Pearson

2.1. Διαδικασία αναζήτησης – έρευνας του νόμου κατανομής τιμών πειραματικών αποτελεσμάτων κατά Fisher-Pearson

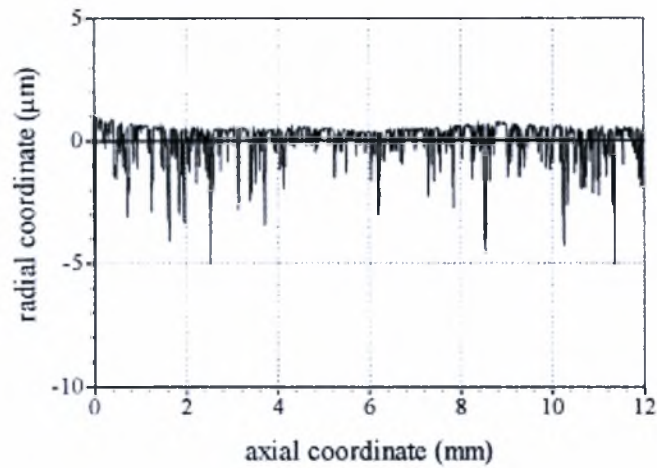
Βάση για το παρόν κεφάλαιο αποτέλεσε μια σειρά δεδομένων από την βιβλιογραφία που σχετίζονται με το χαρακτηρισμό των τραχειών επιφανειών σε διάφορα στάδια φθοράς τους όπως φαίνεται στα διαγράμματα που ακολουθούν.



Σχήμα 2.1: Χαρακτηριστικά περιγράμματα τεχνολογικής επιφάνειας, διαχωρισμός τραχύτητας (α -roughness) και κυμάτωσης (β -waviness).

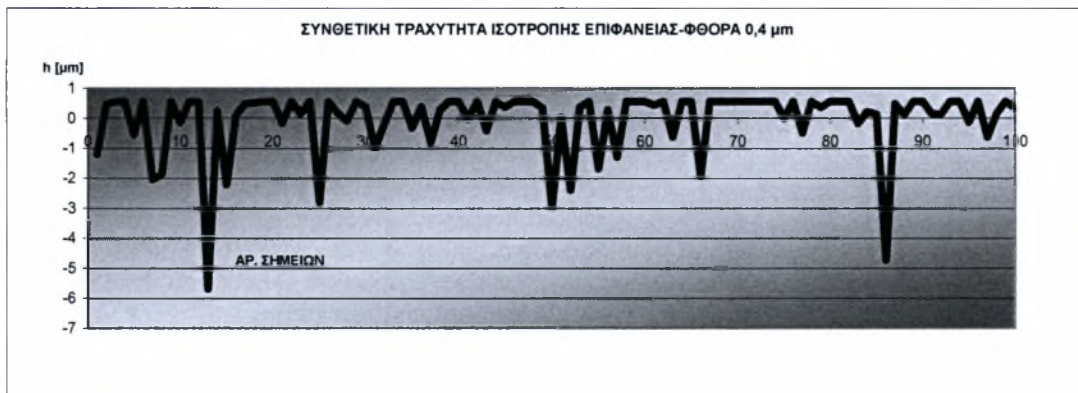
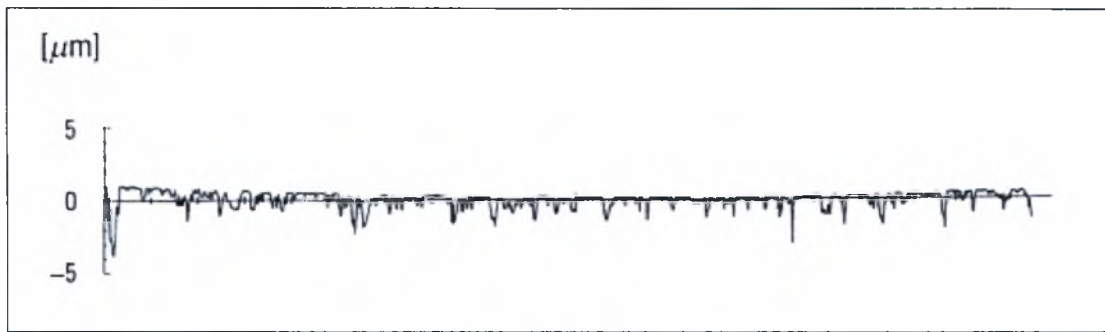


(a) mid-stroke, thrust plane at 0 hours

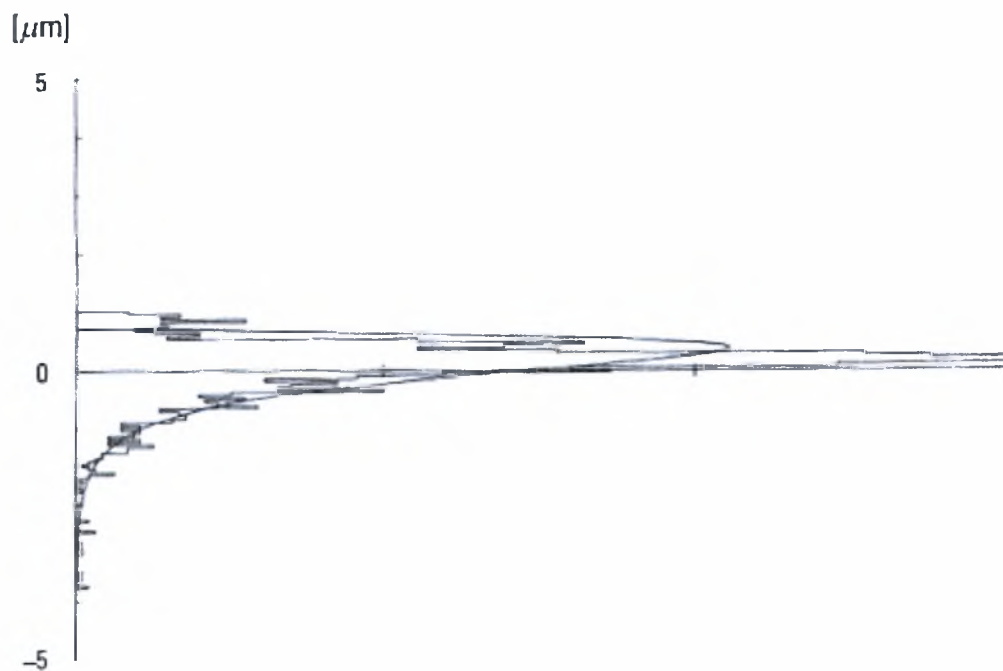


(b) mid-stroke, thrust plane at 120 hours

Σχήμα 2.2: Χαρακτηριστικό παράδειγμα κατατομών επιφάνειας κυλίνδρου MEK σε αρχική κατάσταση και σε κατάσταση μετά το στρώσιμο αντίστοιχα (βιβλιογραφία).



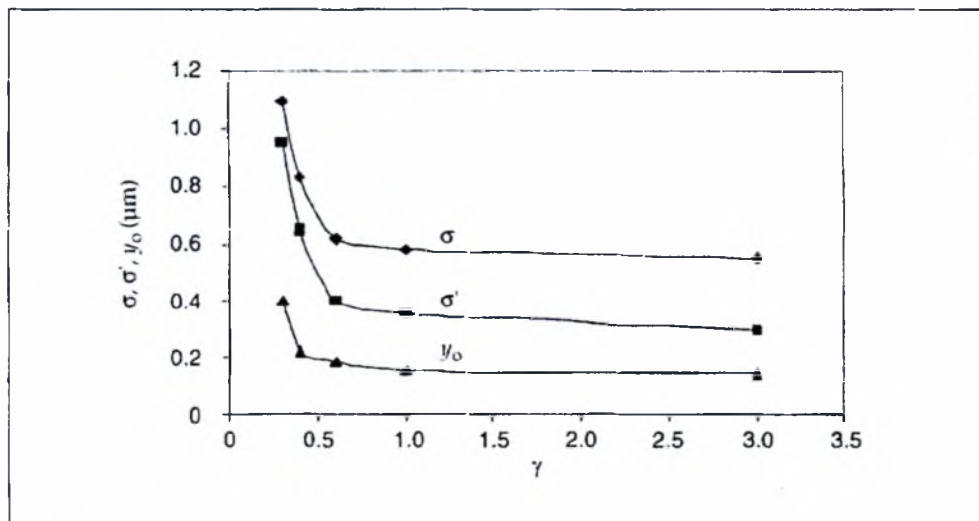
Σχήμα 2.3: Χαρακτηριστικό παράδειγμα κατατομών επιφάνειας κυλίνδρου ΜΕΚ σε κατάσταση μετά το στρώσιμο (βιβλιογραφία) και συνθετική τραχύτητα πρόταση της παρούσας διπλωματικής.



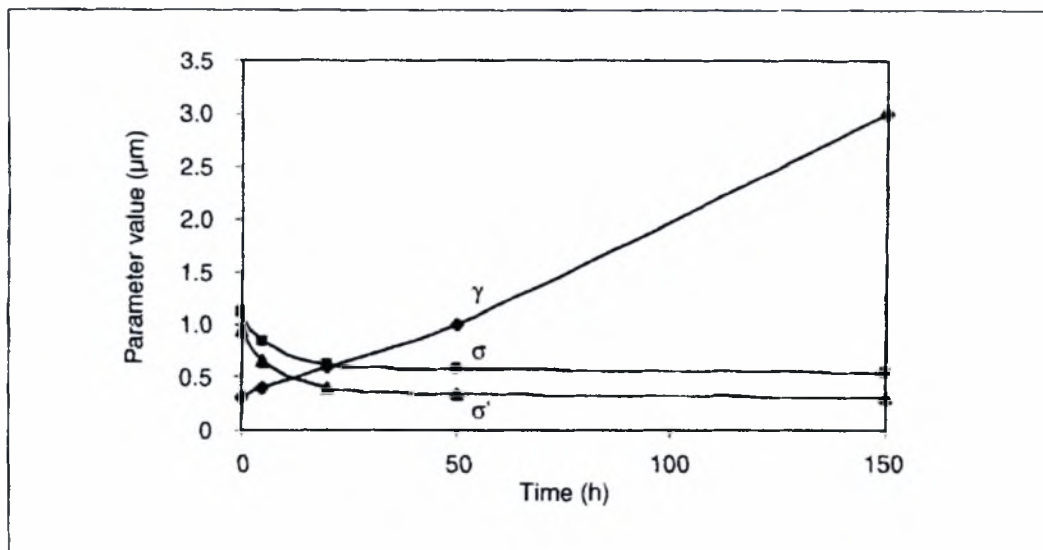
Σχήμα 2.4(α): Κατανομή υψομέτρων σημείων κατατομής προηγούμενου σχήματος.



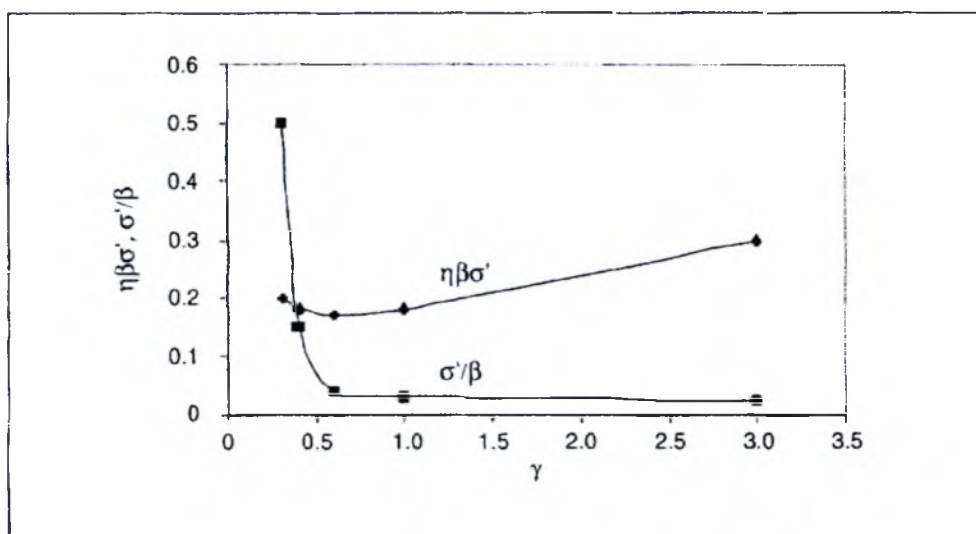
Σχήμα 2.4(β): Κατανομή υψομέτρων κορυφών λόφων κατατομής προηγούμενου σχήματος.



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 2.5: Χαρακτηριστικά διαγράμματα μεταβολής παραμέτρων τραχύτητας (μη τυποποιημένων τιμών) στο πεδίο του χρόνου (βιβλιογραφία).

η : πυκνότητα λοφίσκων,

β : μέση ακτίνα καμπυλότητας λοφίσκων,

σ' : τυπική απόκλιση κατανομής υψομέτρων κορυφών.

Παρατηρήσεις:

α) 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.

β) Καθίσταται σαφής η διαφοροποίηση της ανισορροπίας της τραχύτητας με τη φθορά.

γ) Μη τυποποιημένες παράμετροι σχετικές με πυκνότητα λοφίσκων και καμπυλότητα λοφίσκων.

2.2. Κριτήριο Fisher – Pearson

Το κριτήριο του Fisher-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		α_1 α_2
$0 < k < 1$	Κατανομή χωρίς φράγμα άνω και κάτω		$-\infty$ $+\infty$
$1 \leq k$	Καμπύλη κατανομής έχει ένα φράγμα (άνω ή κάτω)	$\gamma_1 > 0$ $\gamma_1 < 0$	α $+\infty$ $-\infty$ α

Όπου γ_1 είναι η παράμετρος «skewness» (ένδειξη συμμετρίας-ασυμμετρίας) σύμφωνα με το κριτήριο του Fisher-Pearson. Κατά κανόνα η παράμετρος k είναι αρνητική και το γεγονός αυτό αποδεικνύεται και στην παρούσα εργασία.

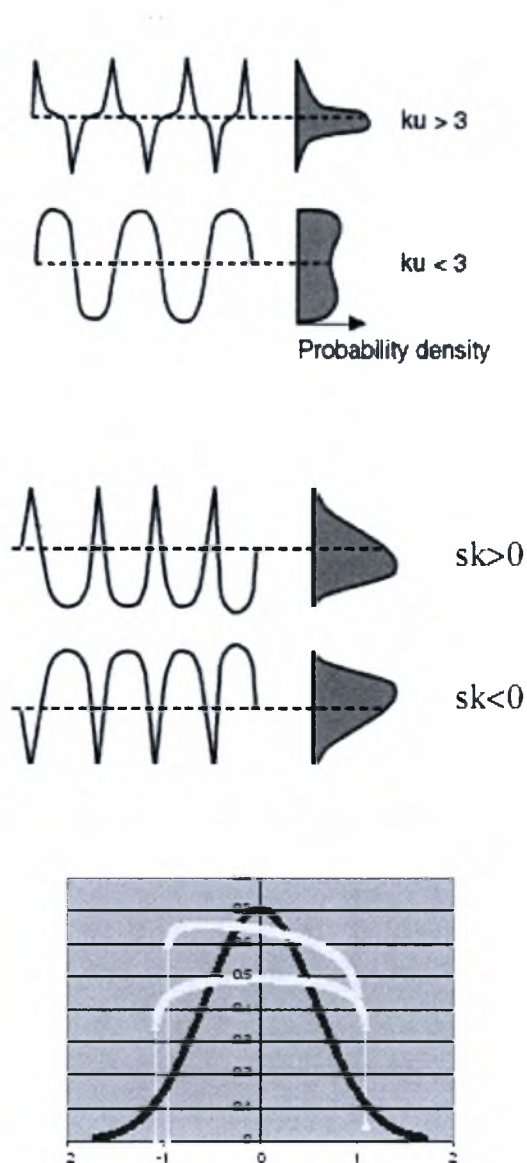
Η παράμετρος k δίνεται από την σχέση:

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

2.3. Συντελεστές του Pearson και του Fischer - Αρχή της μεθόδου

$$\beta_1 = \gamma_1^2 \text{ και } \beta_2 = \gamma_2 + 3,$$

γ_2 είναι η κύρτωση («kurtosis») σύμφωνα με το κριτήριο του Fisher.



Σχήμα 2.6: Χαρακτηριστικές κατανομές (κίτρινο χρώμα) με $\gamma_2 < 0$ σε σύγκριση με την κανονική κατανομή.

2.4. Οικογένειες καμπυλών

Σύμφωνα με το κριτήριο αυτό, η καμπύλη της κατανομής πιθανότητας στην περίπτωση $\gamma_1 > 0$ δίνεται από τη σχέση:

$$f = f_0 (x - a_1)^{q_1 - 1} (a_2 - x)^{q_2 - 1}$$

Όπου α_1, α_2 τα δύο όρια και q_1, q_2 εκθέτες ως ακολούθως:

$$q_1 = \frac{r}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{-k}{1-k}} \right), \quad q_2 = r - q_1 \quad \text{και} \quad r = \frac{6(\beta_2 - \beta_1 - 1)}{3\beta_1 - 2\beta_2 + 6}$$

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

$$a_1 = \bar{x} - \frac{wq_1}{q_2}, \quad a_2 = w - a_1 \quad \text{και} \quad w = 2\sqrt{s^2(1-k)(1+r)}$$

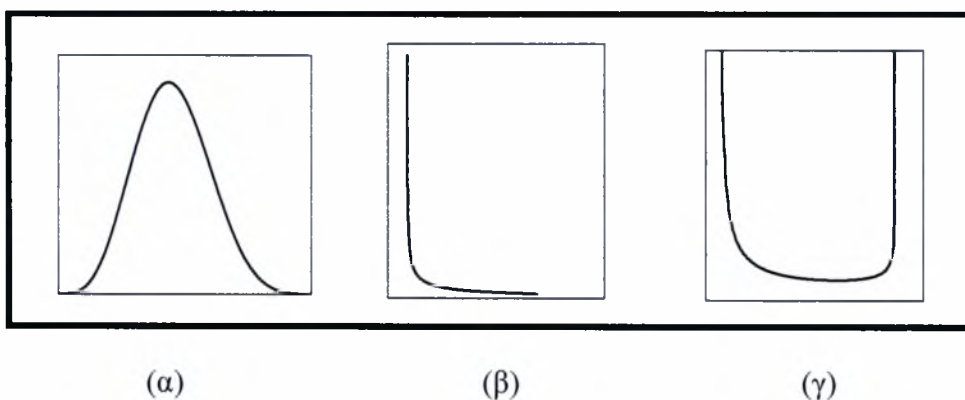
Και f_0 δίνεται από τη σχέση:

$$f_0 = \frac{1}{\int_{a_1}^{a_2} (x - a_1)^{(q_1 - 1)} (a_2 - x)^{(q_2 - 1)} dx}$$

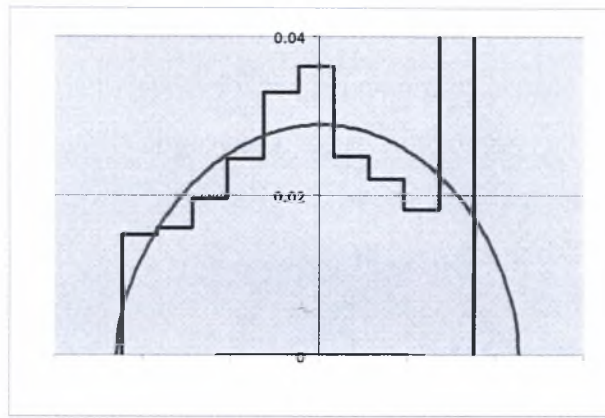
Σε περίπτωση που $\gamma_1 < 0$ τότε $x = -x$ και $\bar{x} = -\bar{x}$

$$f = f_0 (x - a_1)^{q_2 - 1} (a_2 - x)^{q_1 - 1}$$

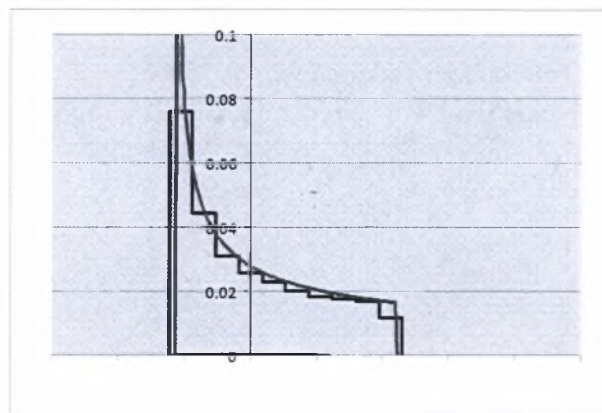
Συνεπώς οι μορφές των αντιστοίχων καμπυλών θα είναι τύπου καμπάνας ('Π' ή 'Λ'), L/J ή U.



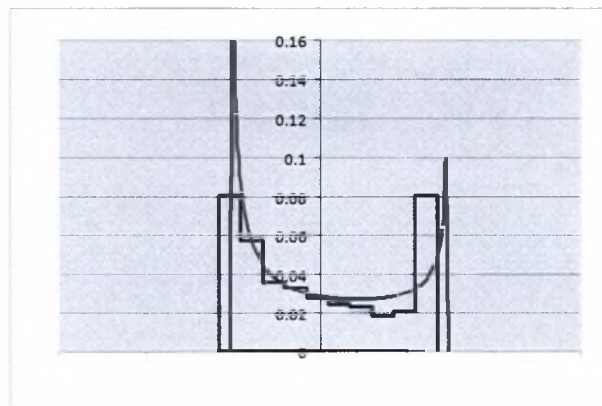
Σχήμα 2.7: Μορφές καμπυλών που περιλαμβάνονται στην κατηγορία των φραγμένων κατανομών.



Σχήμα 2.8 (α): $q_1= 2.3$ και $q_2= 3.4$



Σχήμα 2.8 (β): $q_1= 0.5$ και $q_2= 1.0$



Σχήμα 2.8 (γ): $q_1= 0.5$ και $q_2= 0.8$

Παρατήρηση:

Στην ειδική περίπτωση της τórνευσης κάτω από κανονικές συνθήκες καμπύλης κατανομής τύπου κώδωνα (Σχήμα 2.8 (α)) εμφανίζονται για τιμές $q_1, q_2 > 1$, καμπύλες τύπου 'L' (Σχήμα 2.8 (β)) εμφανίζουν εκθέτη στην περιοχή που απειρίζονται < 1 και στην περίπτωση 'U' (Σχήμα 2.8 (γ)) έχουμε και τους 2 εκθέτες > 1 .

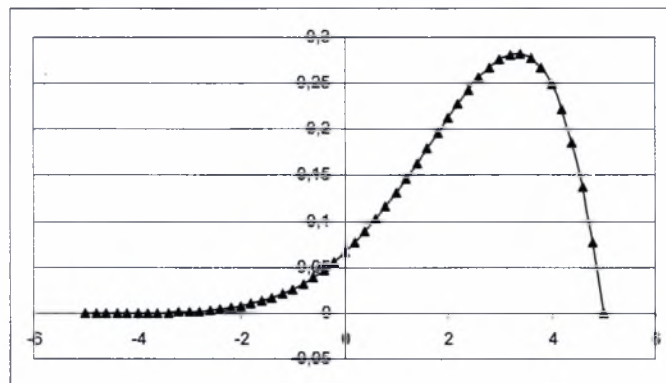
Στις περιπτώσεις που το k είναι μεγαλύτερο του 0 οι καμπύλες που προκύπτουν όπως προαναφέρθηκε είναι είτε μη φραγμένες ($0 < k < 1$) είτε φραγμένες από τη μια πλευρά ($k > 1$) όπως θα παρουσιασθεί στη συνέχεια. Για την αναζήτηση των καμπύλων που αντιπροσωπευθούν τα αντίστοιχα ιστογράμματα απαιτείται ο υπολογισμός των συντελεστών k_2, k_3, k_4 .

$$k_2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)} = \frac{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}{n(n-1)}$$

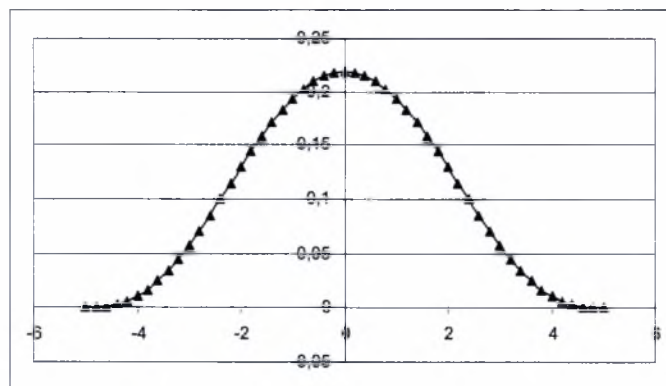
$$k_3 = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum (x_i - \bar{x})^3 = \frac{n^2 \sum x_i^3 - 3n \sum x_i^2 \sum x_i + 2(\sum x_i)^3}{n(n-1)(n-2)}$$

$$k_4 = \frac{n(n+1) \sum (x_i - \bar{x})^4 - 3(n-1) \left[\sum (x_i - \bar{x})^2 \right]^2}{(n-1)(n-2)(n-3)} \Rightarrow$$

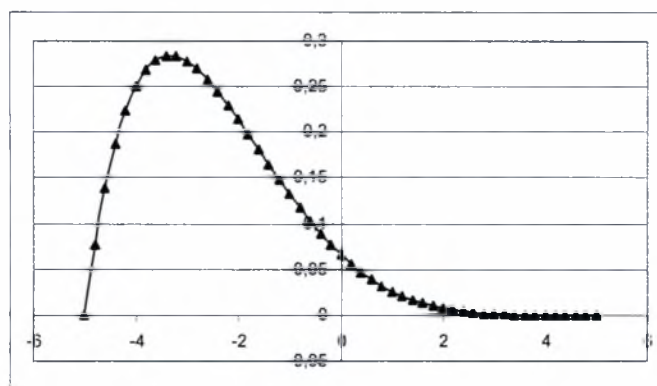
$$k_4 = \frac{n^2(n+1) \sum x_i^4 - 4n(n+1) \sum x_i^3 \sum x_i - 3n(n-1) (\sum x_i^2)^2 + 12n \sum x_i^2 (\sum x_i)^2 - 6(\sum x_i)^4}{n(n-1)(n-2)(n-3)}$$



$$\gamma_1 < 0$$



$$\gamma_1 = 0$$



$$\gamma_1 > 0$$

Η εκτίμηση των τιμών των συντελεστών γ_1 και γ_2 γίνεται χρησιμοποιώντας τους παρακάτω τύπους:

$$g_1 = \frac{k_2}{\sqrt{k_2^3}} \quad \text{και} \quad g_2 = \frac{k_4}{k_2^2}$$

$\gamma_1, \gamma_2, \beta_1, \beta_2$: θεωρητικές τιμές των κατανομών
 g_1, g_2, b_1, b_2 : υπολογιστικές τιμές των κατανομών

Αντίστοιχα οι συντελεστές του Pearson δίνονται από τους τύπους:

$$b_1 = g_1^2 \quad \text{και} \quad b_2 = g_2 + 3$$

2.5. Συμμετρικές καμπύλες

Σπανιότερη είναι η περίπτωση συμμετρικών καμπύλων που διακρίνονται σε 2 κατηγορίες, στην κατηγορία των φραγμένων καμπύλων στην περιοχή $m-a \dots m+a$, καθώς και την κατηγορία των μη φραγμένων καμπύλων (από $-\infty$ έως $+\infty$). Στις περιπτώσεις αυτές δίνονται:

$$a = \frac{\sqrt{(2b_2s^2)}}{(3-b_2)(s^2-k_2)}$$

και η μορφή της συνάρτησης γίνεται:

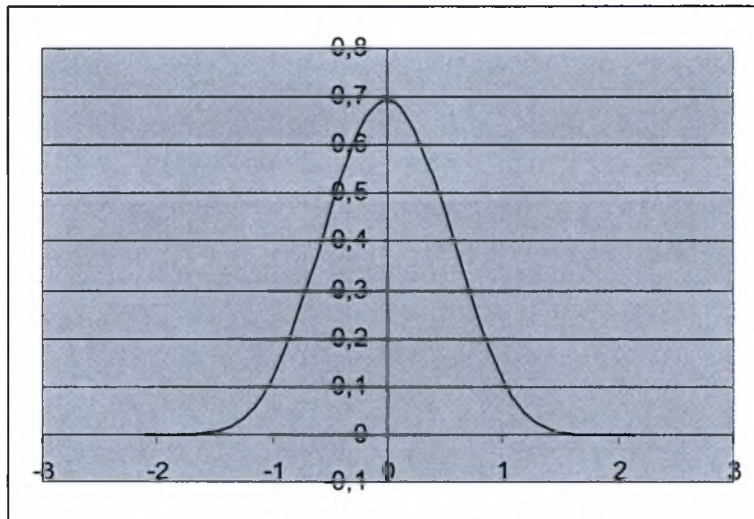
$$f = f_0 \left[\frac{1 - (x - x_m)^2}{a^2} \right]^q$$

όπου:
$$q = \frac{(5b_2 - 9)}{2(3 - b_2)}$$

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

$$f = \frac{f_0}{\left[1 + \frac{(x - \bar{x})^2}{a^2} \right]^q}$$

όπου:
$$a = \sqrt{\frac{2b_2 s^2}{b_2 - 3}} \quad \text{και} \quad q = \frac{5b_2 - 9}{2(b_2 - 3)}$$



Σχήμα 2.9: Συμμετρική καμπύλη φραγμένη άνω και κάτω.

2.6. Ασύμμετρες μη φραγμένες καμπύλες

Σε περιπτώσεις ασύμμετρων μη φραγμένων καμπύλων (Σχήμα 2.10) η συνάρτηση γίνεται:

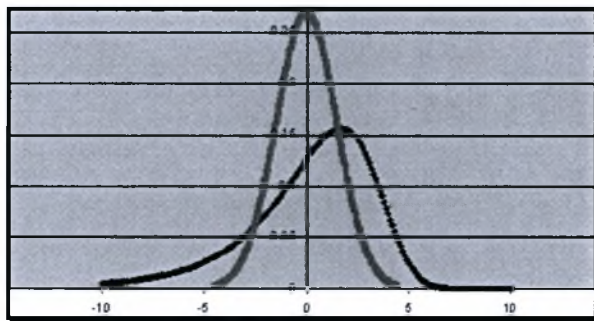
$$f = f_0 (\cos \theta)^{2g} e^{p\theta}$$

όπου:

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{x-c}{a} \quad \text{με} \quad r = \frac{6(b_2 - b_1 - 1)}{(2b_2 - 3b_1 - 6)}$$

$$q = 1 + \frac{r}{2}, \quad p = r \sqrt{\frac{k}{1-k}}, \quad a = \sqrt{s^2(r-1)(1-k)}, \quad c = \bar{x} - \frac{pa}{r}$$

Οι καμπύλες αυτής της μορφής με $\gamma_1 < 0$ εντοπίζονται συνήθως για αρχική κατάσταση φθοράς. Είναι αδύνατον να συναντηθούν σε φθαρμένες επιφάνειες.



Σχήμα 2.10: Κατανομή Fisher-Pearson για αρχική κατάσταση τραχύτητας, χωρίς φθορά, καμπύλη τύπου «Λ» χωρίς άνω και κάτω όρια, $0 < k < 1$.

Σε περιπτώσεις καμπύλων με ένα φράγμα η συνάρτηση γίνεται:

$$f = f_0 \frac{(x-a)^{q_1} - 1}{(x-a+c)^{q_2} + 1}$$

Οι καμπύλες αυτής της μορφής με $\gamma_1 < 0$ και άνω φράγμα εμφανίζονται σπάνια και μόνο σε περιπτώσεις πολύ φθαρμένων επιφανειών που θα μπορούσαν ακόμη και να θεωρηθούν λείες.

2.7. Εφαρμογή υπολογισμού παραμέτρων Fisher- Pearson

Συνθήκες κοπής: $v=160\text{m/min}$, $s=0.08\text{mm/rev}$ (συνθήκες κοπής)

Στοιχεία μετρήσεων: $\text{mean}=0$, $\sigma^2=0.511$, $\text{skewness}=-0.0093$, $\text{kurtosis}=2.69$

$$b_1 = \text{skewness}^2 = 8.65 \times 10^{-5}, \quad b_2 = \text{kurtosis} = 2.69$$

$$k = \frac{b_1(b_2 + 3)^2}{4(4b_2 - 3b_1)(2b_2 - 3b_1 - 6)} = -0.0001$$

$$r = \frac{6(b_2 - b_1 - 1)}{3b_1 - 2b_2 + 6} = 16.347$$

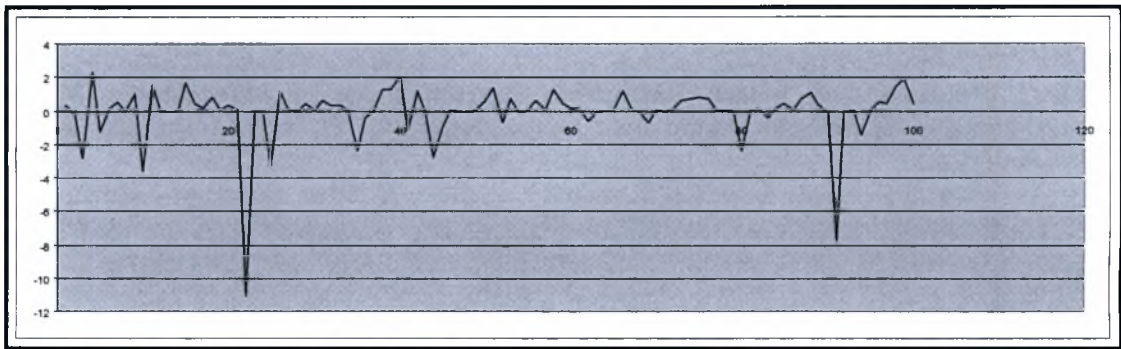
$$q_1 = \sqrt{\frac{\frac{r}{2}(1 - (-k))}{1 - k}} = 8.089$$

$$q_2 = r - q_1 = 8.257$$

$$w = 2\sqrt{(\text{std.dev})^2(1 - k)(1 + r)} = 4.257$$

$$a_1 = \text{mean} - \frac{wq_1}{r} = -2.106 \quad a_2 = w + a_1 = 2.15$$

$$\int_{a_1}^{a_2} \frac{1}{f_0} (x - a_1)^{(q_1-1)} (a_2 - x)^{(q_2-1)} dx = 1 \Leftrightarrow f_0 = 6.799 \times 10^4$$



Σχήμα 2.11: Χαρακτηριστικό προφίλ του παραδείγματος.

Οι συναρτήσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την μορφοποίηση των συνθετικών τραχυτήτων, σε προηγούμενες εφαρμογές έχουν την ακόλουθη μορφή:

1. $f_1 = 2 * \text{RAND}() - 1$
2. $f_2 = (2 * \text{RAND}() - 1) * \text{RAND}()$
3. $f_3 = \sin((2 * \text{RAND}() - 1) * \text{RAND}())$
4. $f_4 = \sin(B1/10) + 2 * \sin(2 * B1/10) + 1 * \sin(3 * B1/10)$
5. $f_5 = \text{RAND}() * \sin(\text{RAND}()) * 2$
6. $f_6 = (\sin(A1 * 2/3.14158))^3 * \sin(10 * A1)^2)^3$

Οι συνθετικές τραχύτητες που έχουν επιλέγει 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 τραχυγραφημάτων.

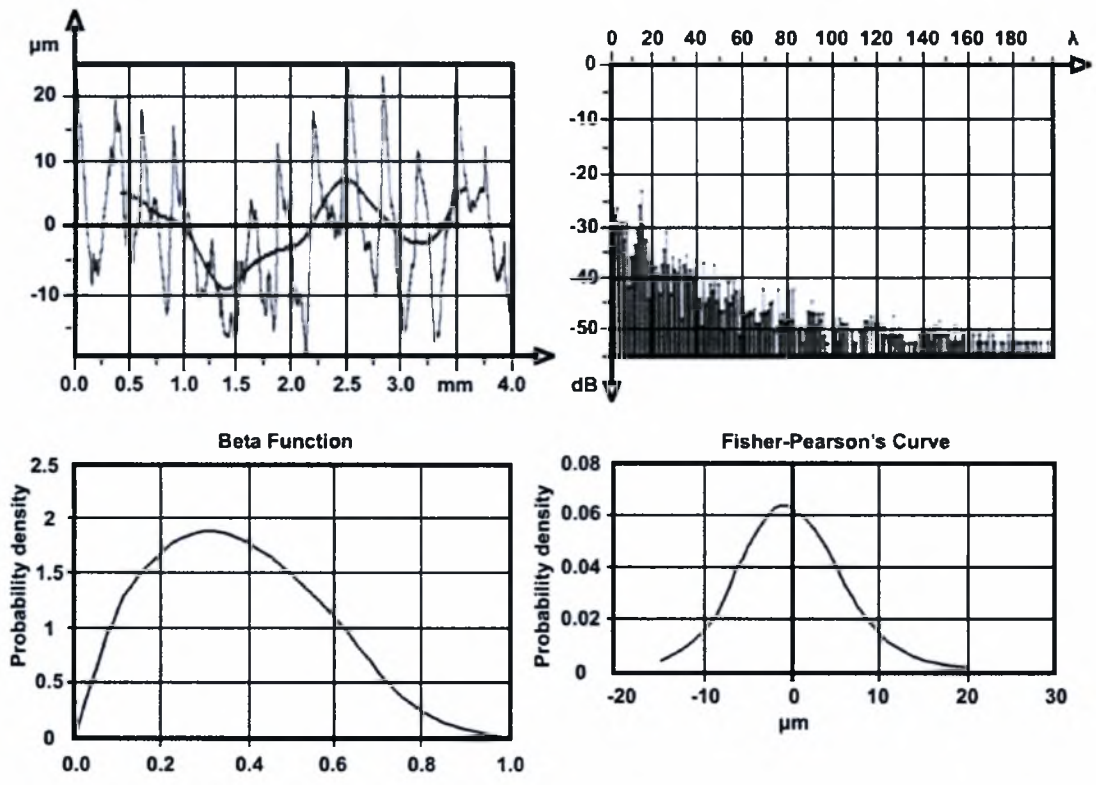
Θεωρώντας ότι το βήμα δειγματοληψίας είναι είτε 2,5 μm είτε 5 μm η επεξεργασία κάθε τεχνητής κατατομής γίνεται μέσα από φύλλα εργασίας excel σε πρώτη προσέγγιση ενώ παράλληλα αναπτύσσεται κώδικας σε γλώσσα Fortran.

Η προσομοίωση της φθοράς επιτυγχάνεται με αποκοπή (ψηφιακό φίλτρο) στο κατώφλιο του οποίου αναγράφεται σε κάθε τραχυμέτρηση σαν 'φθορά $\Delta W \mu\text{m}$ ' που σημαίνει ότι έχουν αποκοπεί - φθαρεί όλα τα σημεία της κατατομής με υψόμετρο μεγαλύτερο η ίσο του ΔW .

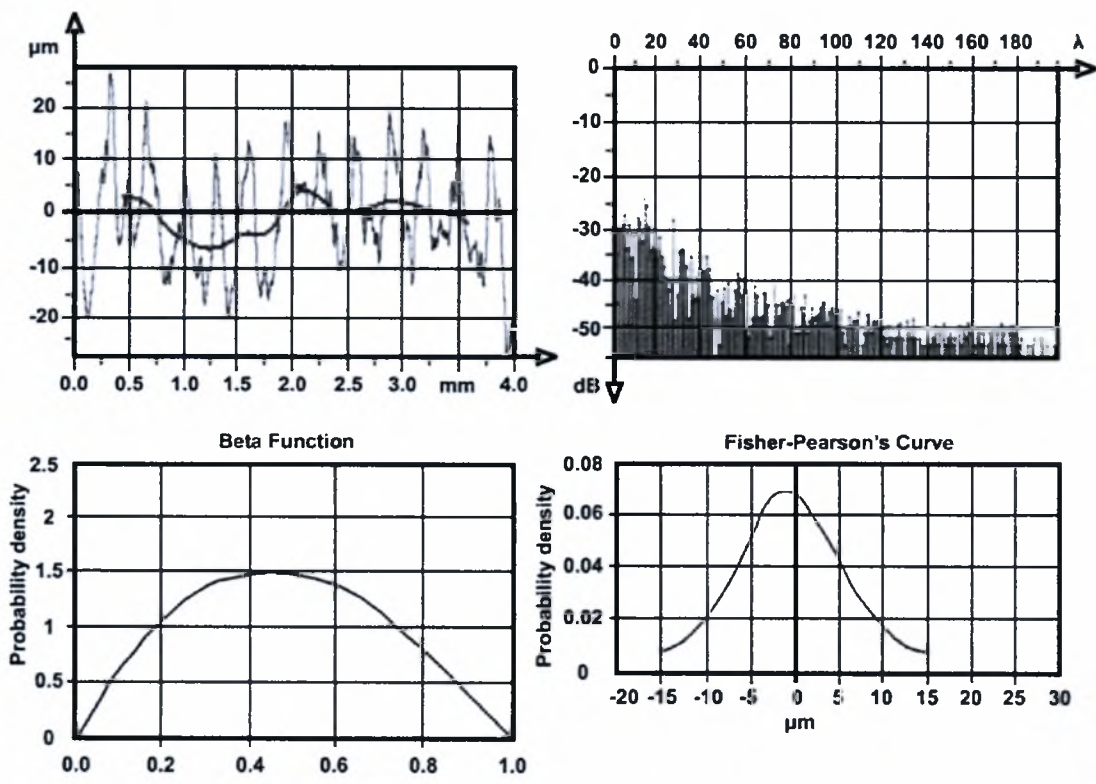
Με την μεθοδολογία αυτή γίνεται η κατάταξη διαφορετικών τύπων торνευμένων επιφανειών όπως φαίνεται και στα παρακάτω διαγράμματα (Περίπτωση I – Περίπτωση VI) στα οποία παρουσιάζεται προς σύγκριση και η αντίστοιχη κατανομή τύπου 'βήτα'. Η περίπτωση η οποία θα μελετηθεί στο Κεφάλαιο 3 είναι αυτή που αναφέρεται σαν Περίπτωση VI.

Στα σχήματα που ακολουθούν τα οποία μπορούν να συγκριθούν μεταξύ τους και να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα εμφανίζονται με τέσσερα διαγράμματα το καθένα:

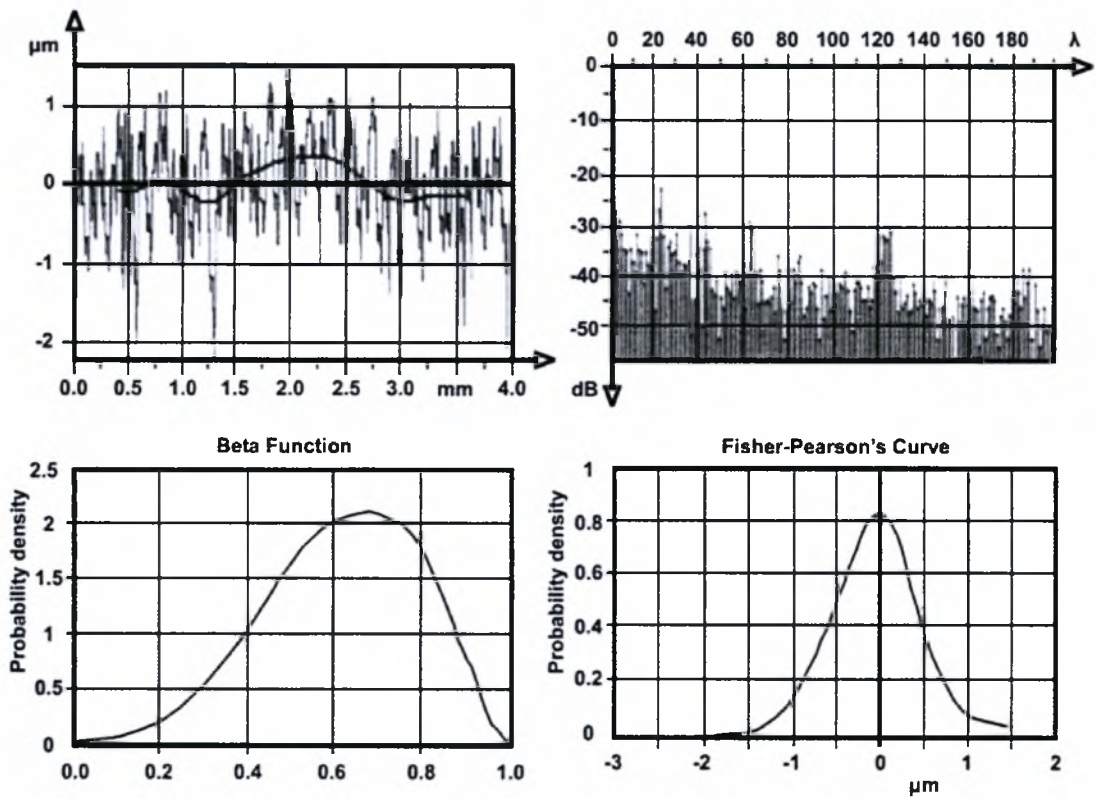
- α) διάγραμμα κατατομής
- β) spectrum ισχύος
- γ) συνάρτηση τύπου β
- δ) καμπύλη Fisher – Pearson.



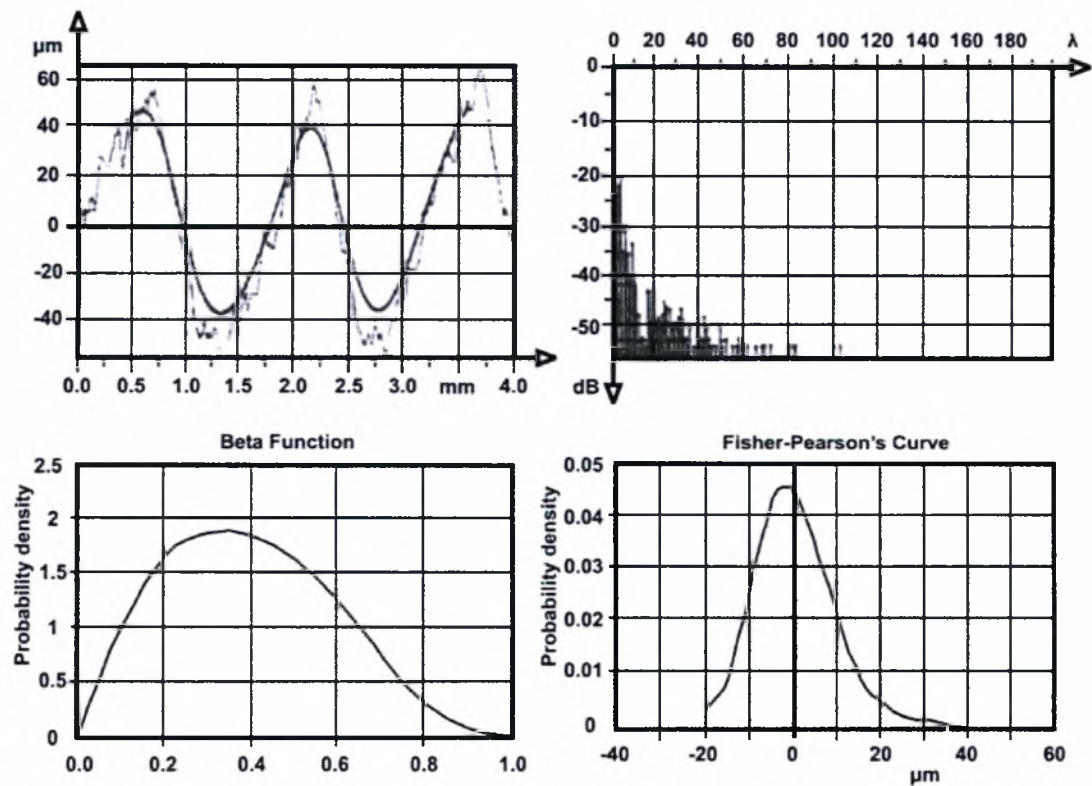
Σχήμα 2.12: Σύνολο γραφημάτων που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση και ταξινόμηση τორνευμένων επιφανειών. Περίπτωση I παρουσία ψευδόκοψης.



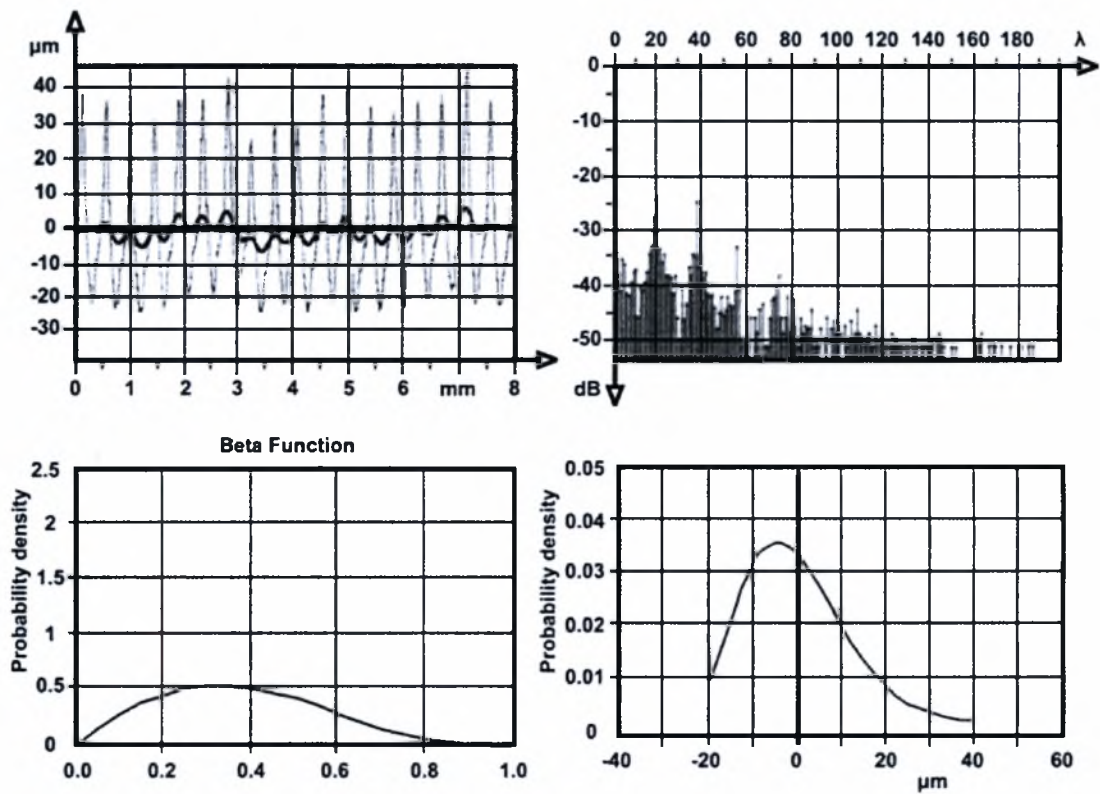
Σχήμα 2.13: Σύνολο γραφημάτων που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση και ταξινόμηση τორνευμένων επιφανειών. Περίπτωση II με ασυνεχές απόβλιττο.



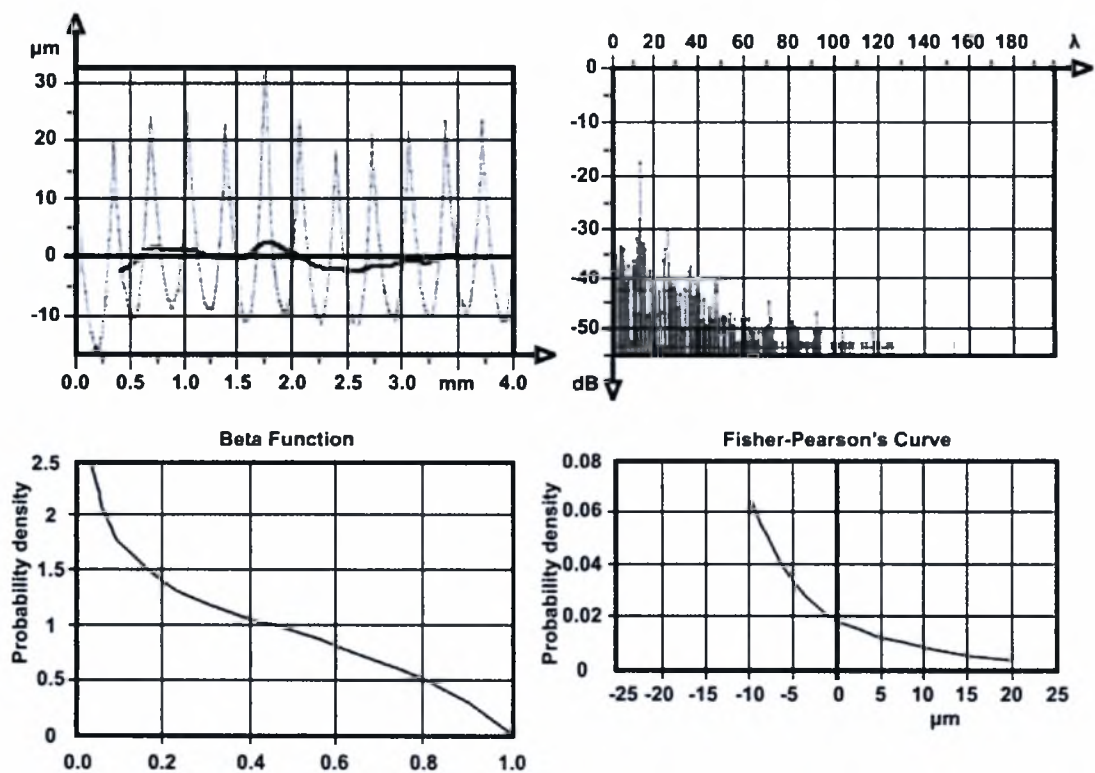
Σχήμα 2.14: Σύνολο γραφημάτων που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση και ταξινόμηση τорνευμένων επιφανειών. Περίπτωση III με πολύ χαμηλή πρόωση.



Σχήμα 2.15: Σύνολο γραφημάτων που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση και ταξινόμηση τорνευμένων επιφανειών. Περίπτωση IV υπό την επίδραση ταλάντωσης του συστήματος.

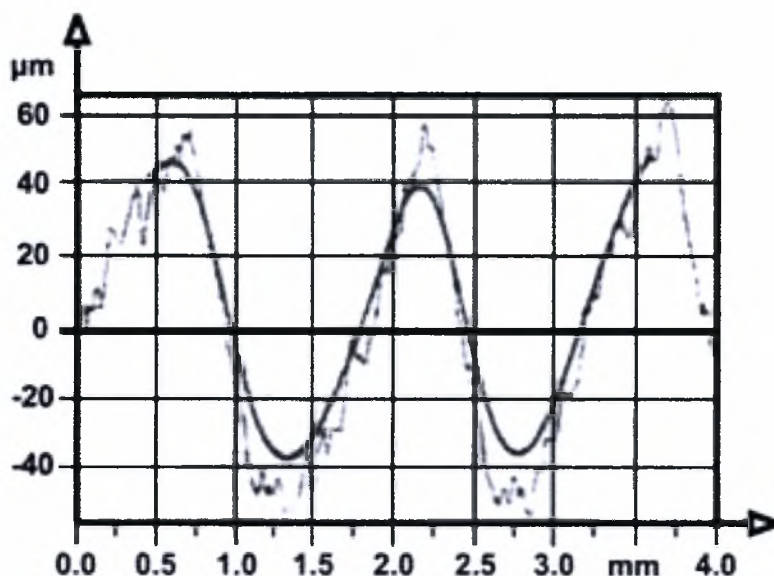


Σχήμα 2.16: Σύνολο γραφημάτων που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση και ταξινόμηση τορνευμένων επιφανειών. Περίπτωση V υπό την παρουσία κρατήρα στο κοπτικό εργαλείο.

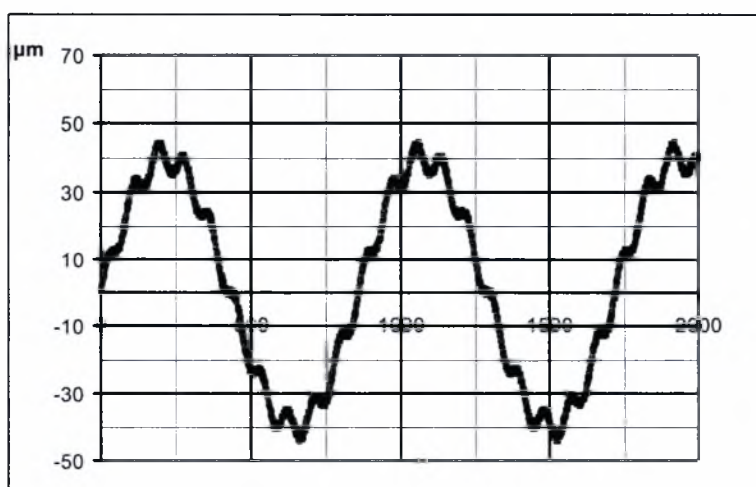


Σχήμα 2.17: Σύνολο γραφημάτων που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση και ταξινόμηση τορνευμένων επιφανειών. Περίπτωση VI με κανονική παραγωγή αποβλίττου.

Η διαδικασία που θα ακολουθηθεί απαιτεί την δημιουργία συνθετικών profile των υπό μελέτη τεχνολογικά επιφανειών που είναι αποτέλεσμα επίπονης προσπάθειας που απαιτεί χρήση πολλών δοκιμών και προχωρημένου επίπεδου τεχνογνωσίας. Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνονται πραγματικά και συνθετικά profile τέτοιου είδους για τις Περιπτώσεις IV και VI η δεύτερη των οποίων είναι αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής.

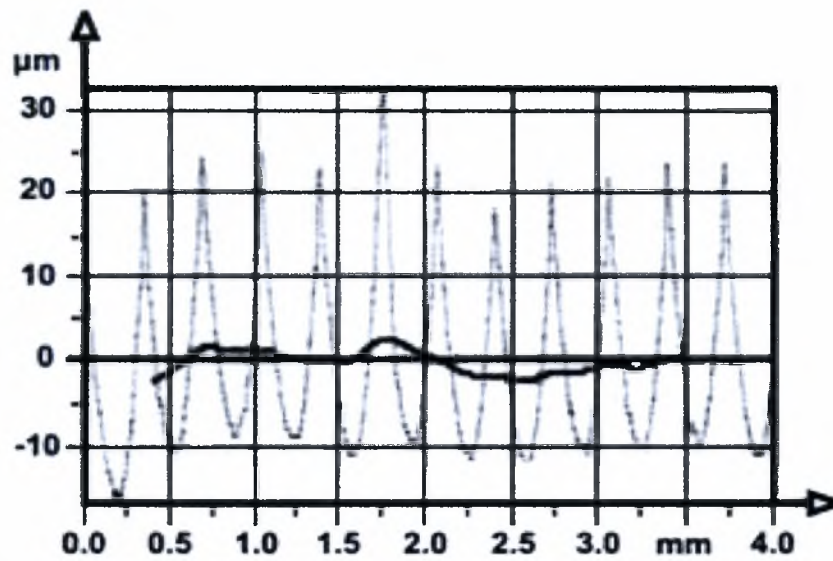


(α)

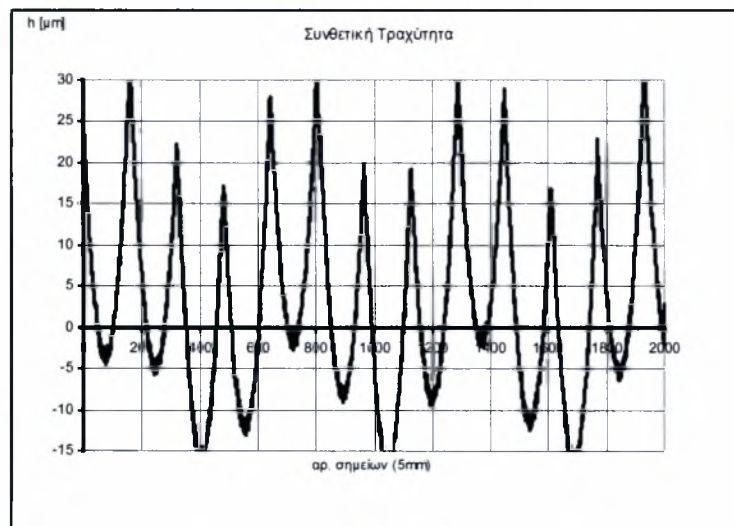


(β)

Σχήμα 2.18: Πραγματική (α) και συνθετική (β) κατατομή παρομοίων χαρακτηριστικών, τورνευμένης επιφάνειας, Περίπτωση IV.



(α)



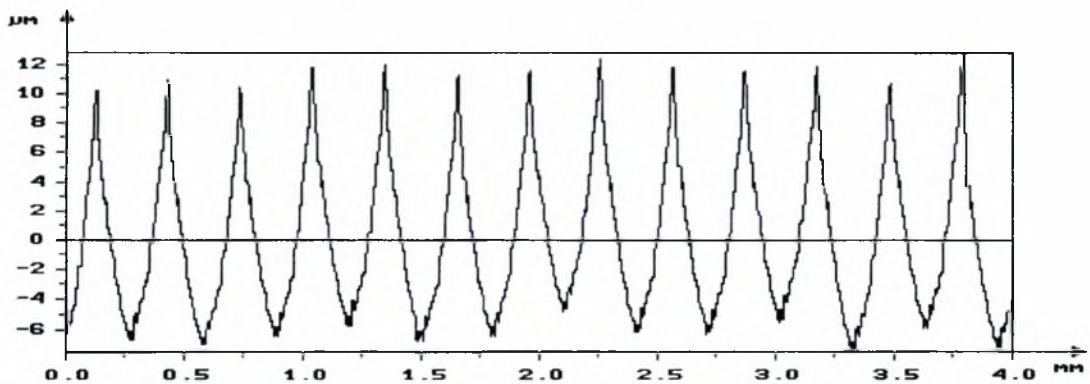
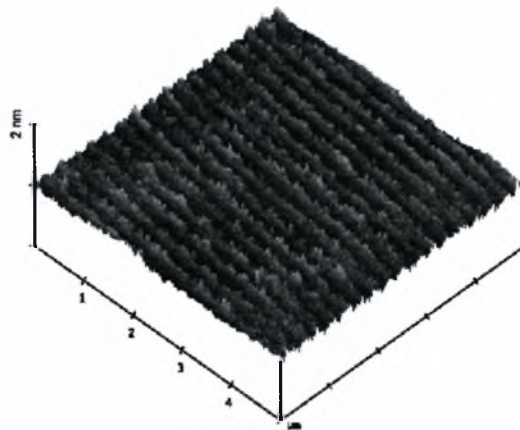
(β)

Σχήμα 2.19: Πραγματική (α) και συνθετική (β) κατατομή παρομοίων χαρακτηριστικών, τорνευμένης επιφάνειας, Περίπτωση VI.

Στην συνέχεια παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 3 το σύνολο των αποτελεσμάτων που προέρχονται από την επεξεργασία των χαρακτηριστικών των τραχυτήτων με βάση το σύστημα Fisher-Pearson.

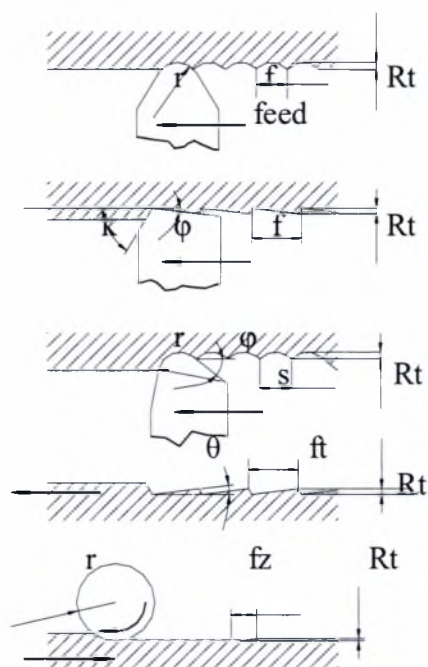
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ FISHER-PEARSON ΓΙΑ ΤΟΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟ ΤΟΡΝΕΥΜΕΝΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΠΟΥ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΙ ΓΕΝΙΚΑ ΚΥΜΑΤΩΣΗ ΚΑΙ ΦΘΟΡΑ

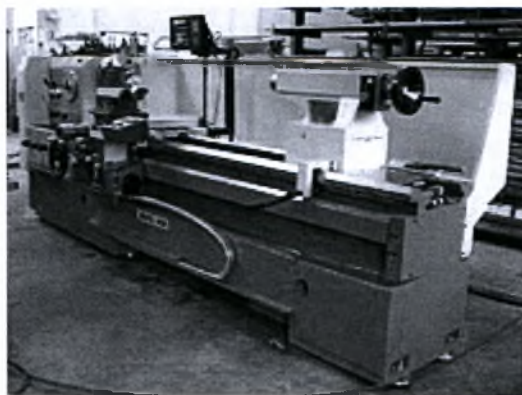


Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζονται αποτελέσματα της επεξεργασίας των συνθετικών κατατομών τραχύτητας τύπου 'Κανονικής Τόρνευσης' καθώς και η μεθοδολογία εκτίμησης αρχικών χαρακτηριστικών με βάση τα συγκεντρωτικά διαγράμματα.

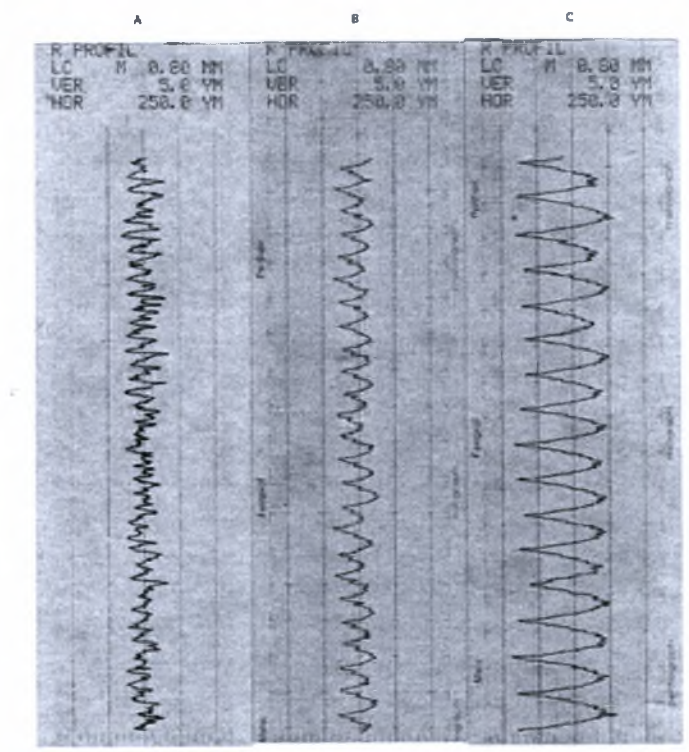
Η τόρνευση είναι η κατεργασία που χρησιμοποιείται σαν βάση της μελέτης τεχνολογικών επιφανειών που έχουν υποστεί αφαίρεση υλικού με εργαλείο καθορισμένης γεωμετρίας (Σχήμα 3.1). Συνέπεια του γεγονός αυτού είναι κάτω από κανονικές συνθήκες μορφές της τραχύτητας όμοιες με αυτές που παρουσιάζονται στην συνέχεια στα Σχήματα 3.3, 3.4, 3.5.



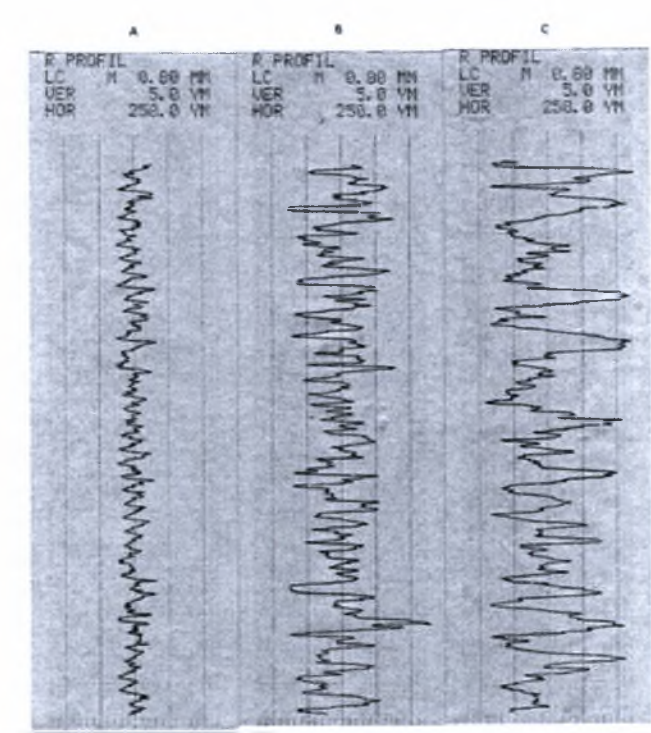
Σχήμα 3.1: Θεωρητικές μορφές τραχύτητας για τόρνευση και φρεζάρισμα.



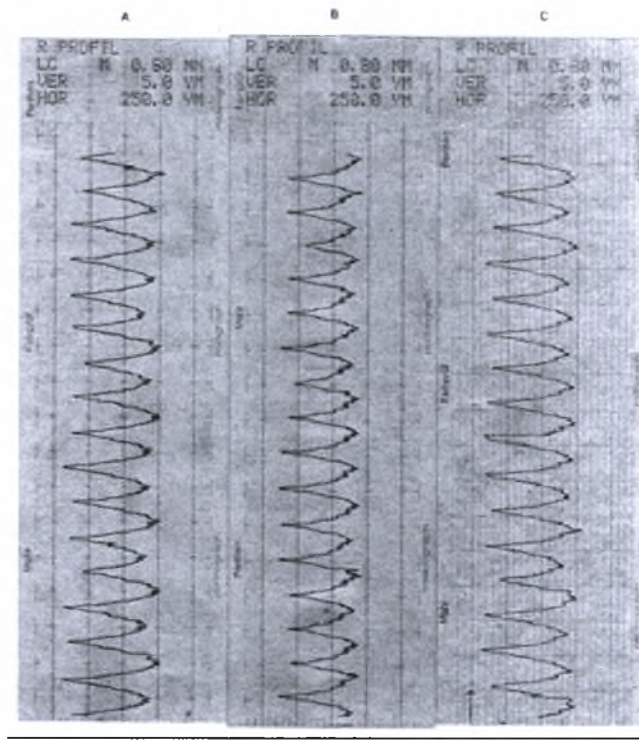
Σχήμα 3.2: Τόρνος - Εργαλειομηχανή που παράγει τεχνολογικές επιφάνειες με κοπτικό εργαλείο δεδομένης γεωμετρίας.



Σχήμα 3.3: Κατατομές τραχύτητας επιφάνειας για $V_c=283$ m/min και $doc=0.5$ mm.
 A) $f=0.10$ mm/rev B) $f=0.16$ mm/rev C) 0.25 mm/rev



Σχήμα 3.4: Κατατομές τραχύτητας επιφάνειας για $f=0.10$ mm/rev και $doc=0.5$ mm.
 A) $V_c=283$ m/min B) $V_c=141$ m/min C) $V_c=71$ m/min



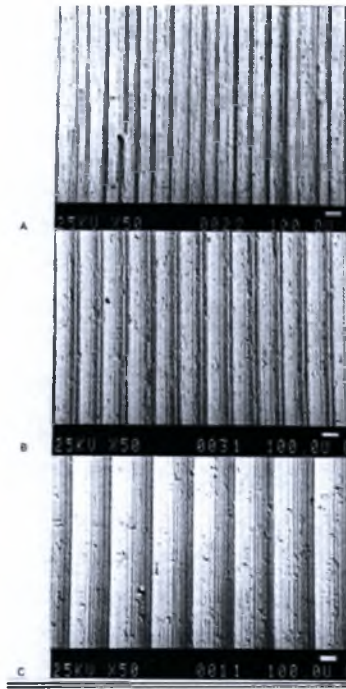
Σχήμα 3.5: Κατατομές τραχύτητας επιφάνειας για $V_c=71$ m/min και $doc=0.5$ mm.
 A) $f=0.10$ mm/rev B) $f=0.16$ mm/rev C) $f=0.25$ mm/rev

DOC: (Depth of cut) πλάτος κοπής

SEM: (Scanning electron microscope) ηλεκτρονικό μικροσκόπιο

Η παραπάνω εικόνα (Σχήμα 3.4) δείχνει την επίδραση, πλάτος κοπής στην κατατομή της τραχύτητας σε περίπτωση φινιρίσματος. Η αύξηση της τιμής του DOC έχει μηδενική σχεδόν επίδραση πάνω στην επιφανειακή τραχύτητα.

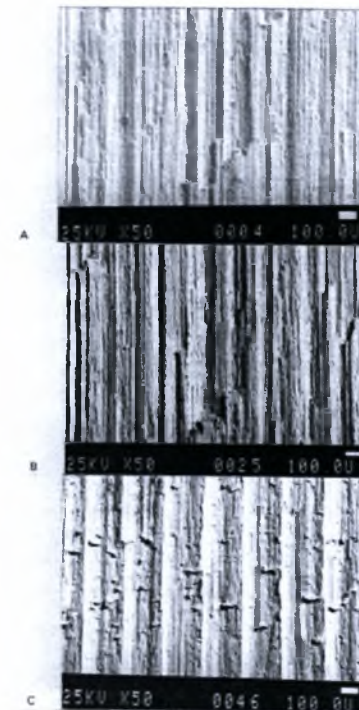
Οι παρακάτω εικόνες παρουσιάζουν επιφάνειες που έχουν παραχθεί σε τεμάχιο από χάλυβα με κοπή σε σχέση με την πρόωση για ταχύτητες κοπής αντίστοιχα 283 και 71 m/min. Όταν η κατεργασία λαμβάνει χώρα σε χαμηλές ταχύτητες (Σχήμα 3.6) ένας μη κανονικός τύπος τραχύτητας παρατηρείται που οφείλετε σε πλαστική παραμόρφωση και ρηγμάτωση του υποστρώματος. Πάνω από μια καθορισμένη τιμή της ταχύτητας κοπής αυτές οι αιτίες εξαφανίζονται.



Σχήμα 3.6: Επιφάνεια που είναι κατεργασμένη πάνω σε τεμάχιο από χάλυβα όπως φαίνεται σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο για:

$V_c=283$ m/min και $d_{oc}=0.50$ mm

A) $f=0.10$ mm/rev B) $f=0.16$ mm/rev C) $f=0.25$ mm/rev

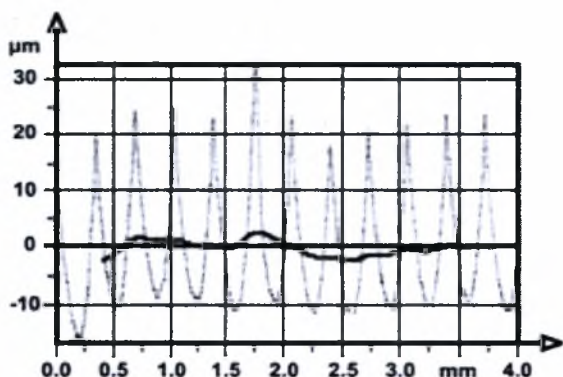


Σχήμα 3.7: Επιφάνεια που είναι κατεργασμένη πάνω σε τεμάχιο από χάλυβα όπως φαίνεται σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο για:

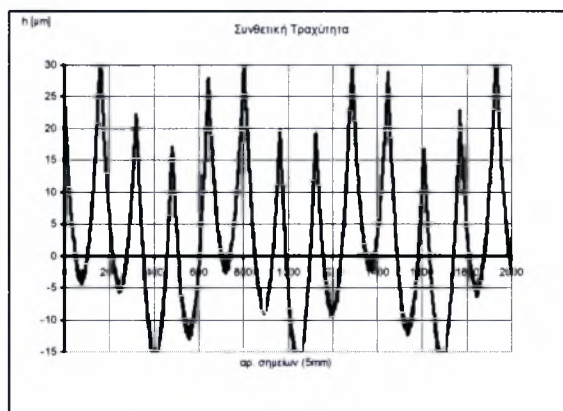
$V_c=71$ m/min και $d_{oc}=0.50$ mm

A) $f=0.10$ mm/rev B) $f=0.16$ mm/rev C) $f=0.25$ mm/rev

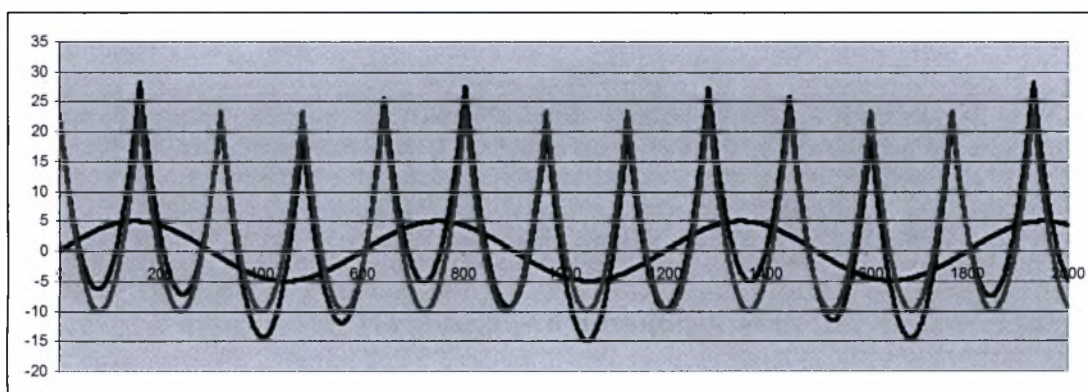
Το πρότυπο συνθετικής τραχύτητας, κανονικής τórνευσης με κυμάτωση w διάφορο του 0 και μη μηδενική φθορά σε διαφορετικά επίπεδα ΔW από 0 έως 35 μm βασίστηκε στην ομοιότητα των παρακάτω κατατομών.



Σχήμα 3.8(α):
Πραγματική κατατομή (μέτρηση)



Σχήμα 3.8(β):
Συνθετική κατατομή με κυμάτωση
(προσομοίωση)



Σχήμα 3.8(γ): Κυμάτωση και τραχύτητα.

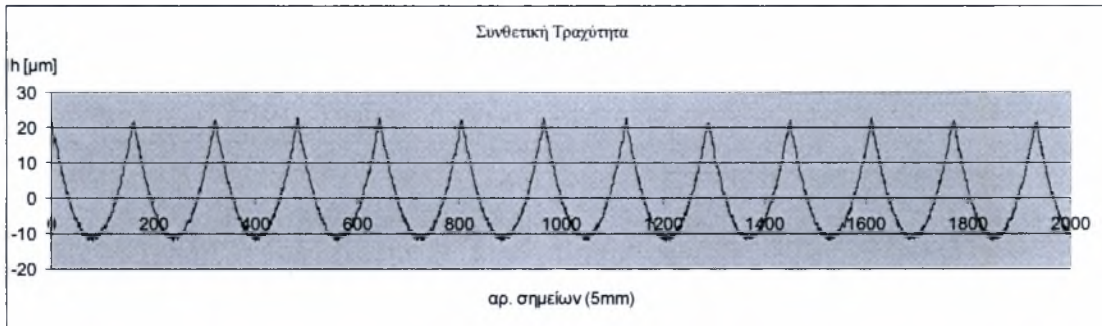
Παρατήρηση:

Στην συνέχεια θα γίνει χρήση κωδικοποίησης του τύπου $(0, 30)$ που σημαίνει $w=0\mu\text{m}$ και $\Delta W= 30\mu\text{m}$.

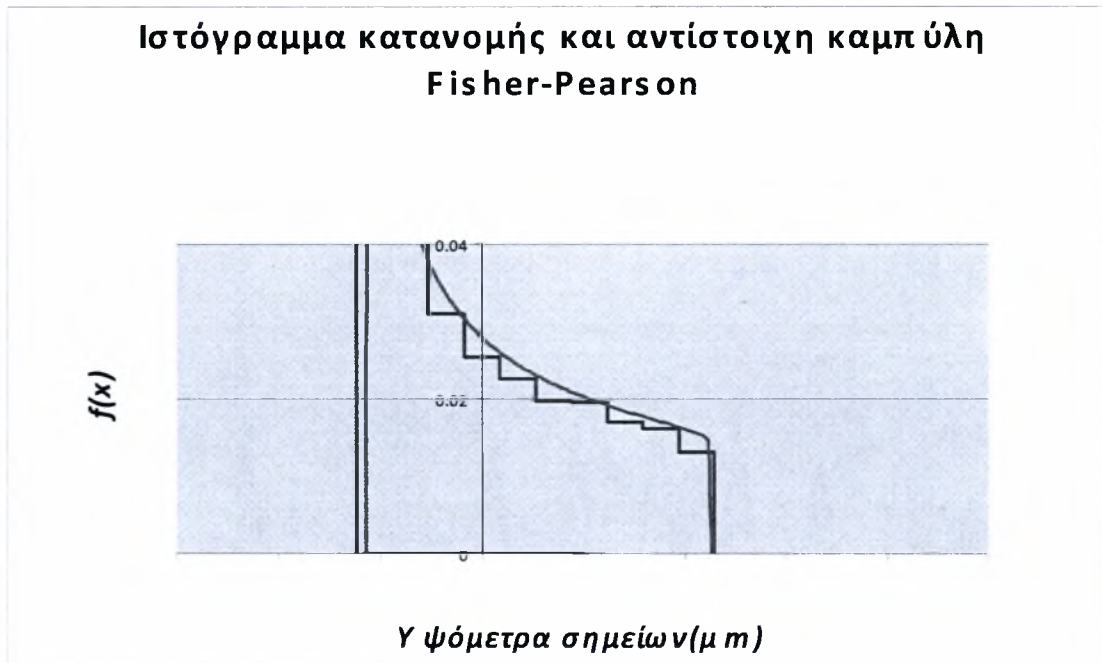
Αναλυτικός τύπος συνάρτησης κατανομής:

$$f(x)=f_0(x-\alpha_1)^{q1-1}(\alpha_2-x)^{q2-1}$$

3.1. ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ ΚΑΤΑΤΟΜΗ ΤΟΡΝΕΥΣΗΣ ΜΕ ΚΥΜΑΤΩΣΗ W=0



(α)



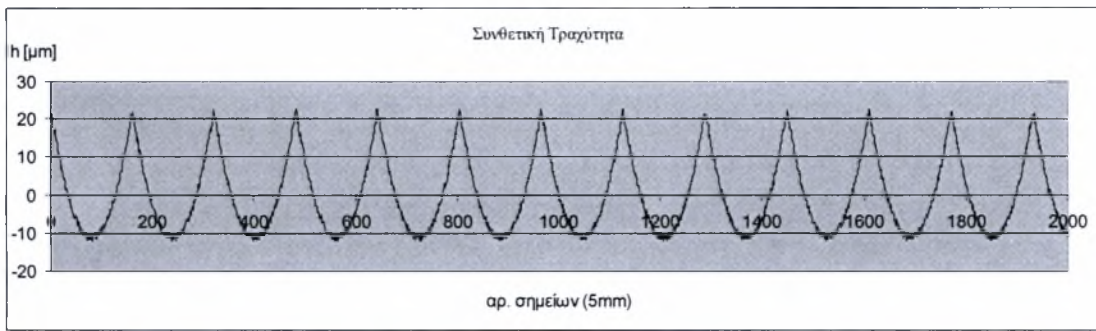
(β)

Σχήμα 3.9:

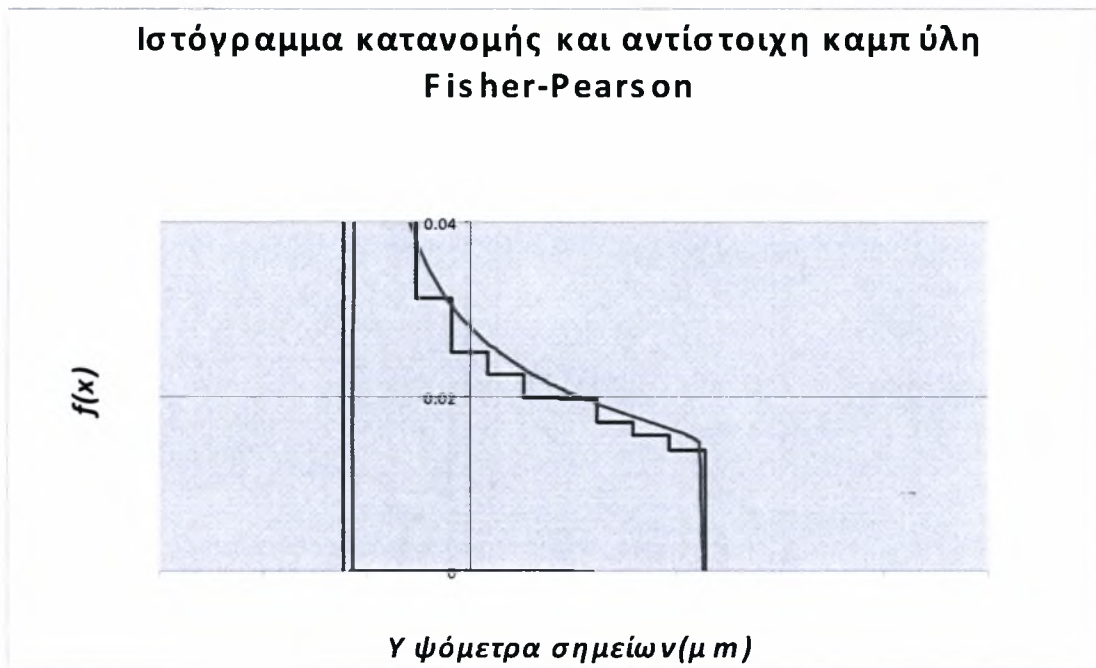
α) Συνθετική κατατομή τórνευσης με κυμάτωση και
β) Συνάρτηση κατανομής κατά Fisher-Pearson και αντίστοιχο ιστόγραμμα υψόμετρων σημείων κατατομής τórνευμένης επιφάνειας με κυμάτωση $w=0 \mu\text{m}$ και κατωφλίου φθοράς $\Delta W=30 \mu\text{m}$.

Αναλυτικός τύπος συνάρτησης κατανομής (0, 30):

$$f(x)=f_0 (x+11.326)^{0.510294-1}(22.4069-x)^{1.009548-1}$$



(α)



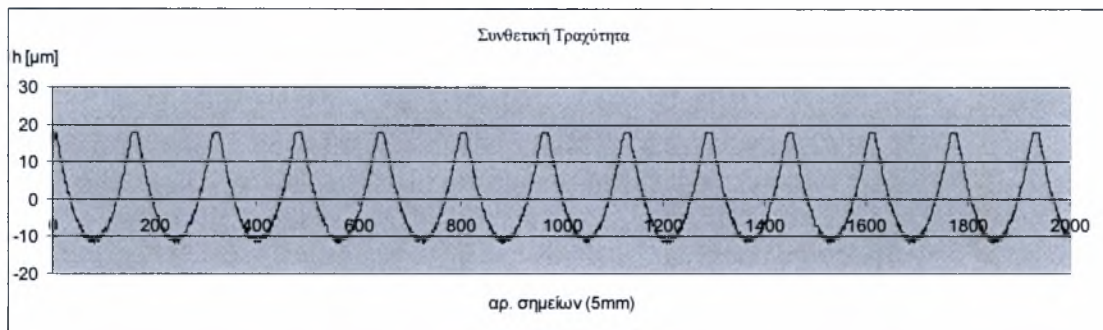
(β)

Σχήμα 3.10:

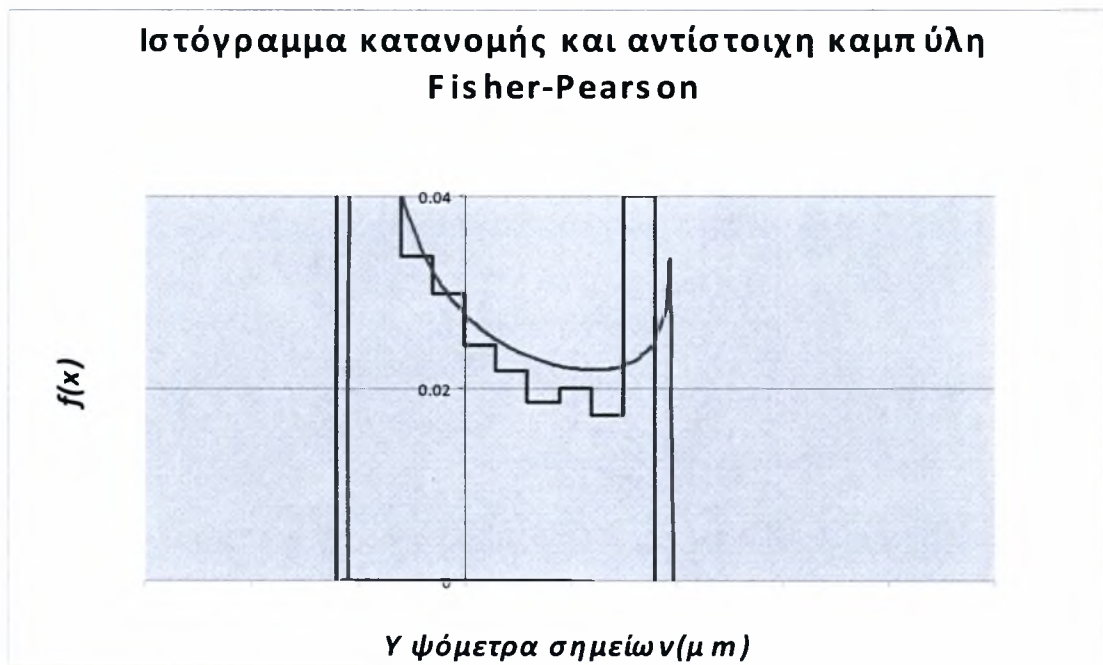
α) Συνθετική κατατομή τórνευσης με κυμάτωση και
 β) Συνάρτηση κατανομής κατά Fisher-Pearson και αντίστοιχο ιστόγραμμα υψόμετρων σημείων κατατομής τórνευμένης επιφάνειας με κυμάτωση $w=0 \mu\text{m}$ και κατοφλίου φθοράς $\Delta W=25 \mu\text{m}$.

Αναλυτικός τύπος συνάρτησης κατανομής (0, 25):

$$f(x) = f_0 (x + 11.2678)^{0.490391-1} (20,89783 - x)^{0,911666-1}$$



(α)



(β)

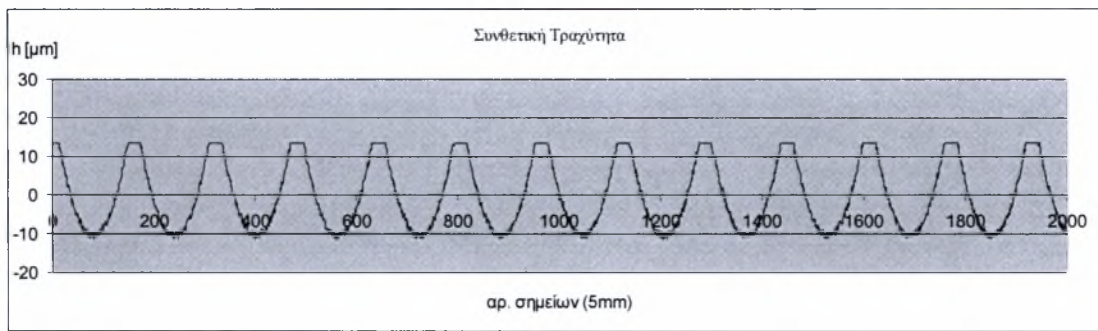
Σχήμα 3.11:

α) Συνθετική κατατομή τórνευσης με κυμάτωση και

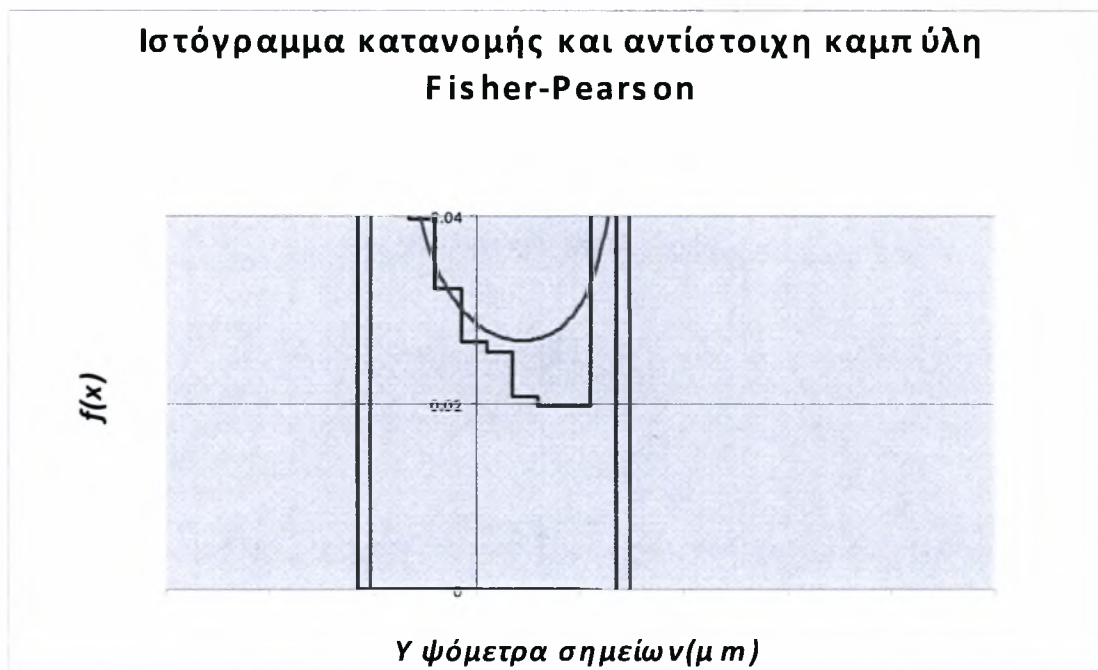
β) Συνάρτηση κατανομής κατά Fisher-Pearson και αντίστοιχο ιστόγραμμα υψόμετρων σημείων κατατομής τórνευμένης επιφάνειας με κυμάτωση $w=0 \mu\text{m}$ και κατωφλίου φθοράς $\Delta W=20 \mu\text{m}$.

Αναλυτικός τύπος συνάρτησης κατανομής (0, 20):

$$f(x) = f_0 (x + 11.2096)^{0.470488-1} (19.38876 - x)^{0.813784-1}$$



(α)



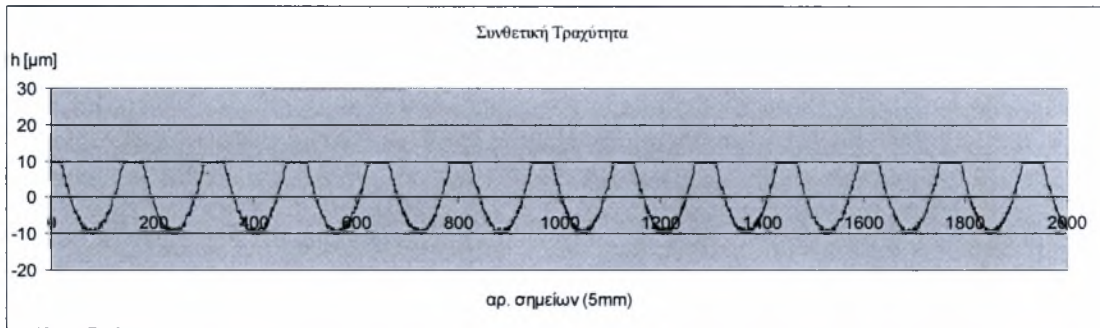
(β)

Σχήμα 3.12:

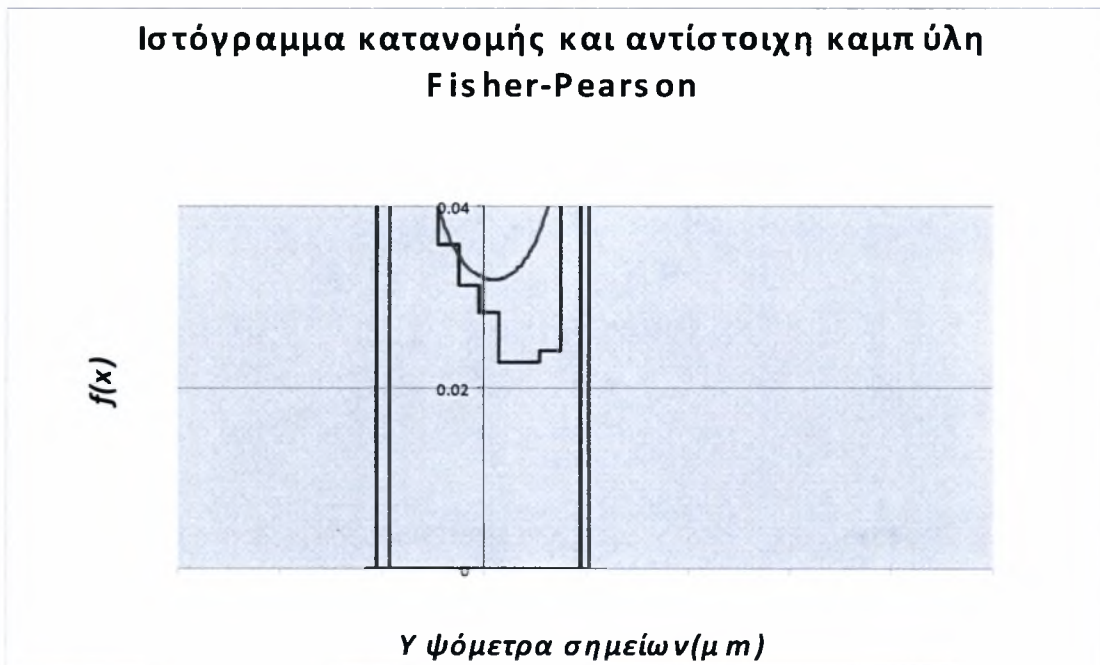
α) Συνθετική κατατομή τórνευσης με κυμάτωση και
 β) Συνάρτηση κατανομής κατά Fisher-Pearson και αντίστοιχο ιστόγραμμα
 υψόμετρων σημείων κατατομής τórνευμένης επιφάνειας με κυμάτωση $w=0 \mu\text{m}$ και
 κατωφλιού φθοράς $\Delta W=15 \mu\text{m}$.

Αναλυτικός τύπος συνάρτησης κατανομής (0, 15):

$$f(x)=f_0 (x+11.5587)^{0.450337-1}(13.35763-x)^{0.520423-1}$$



(α)



(β)

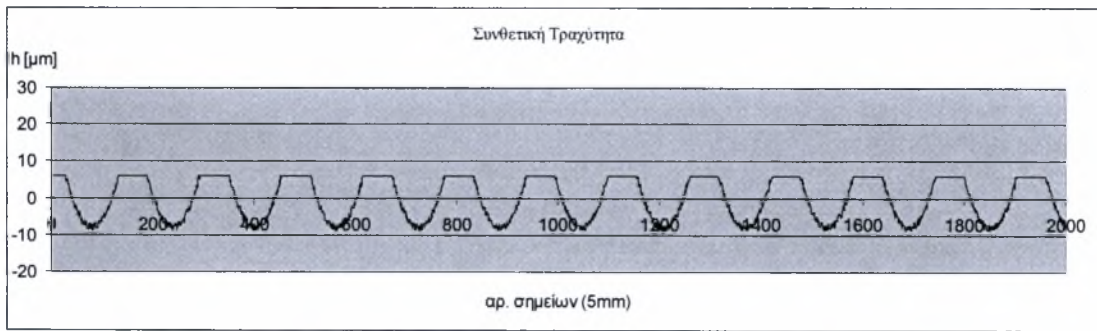
Σχήμα 3.13:

α) Συνθετική κατατομή τórνευσης με κυμάτωση και

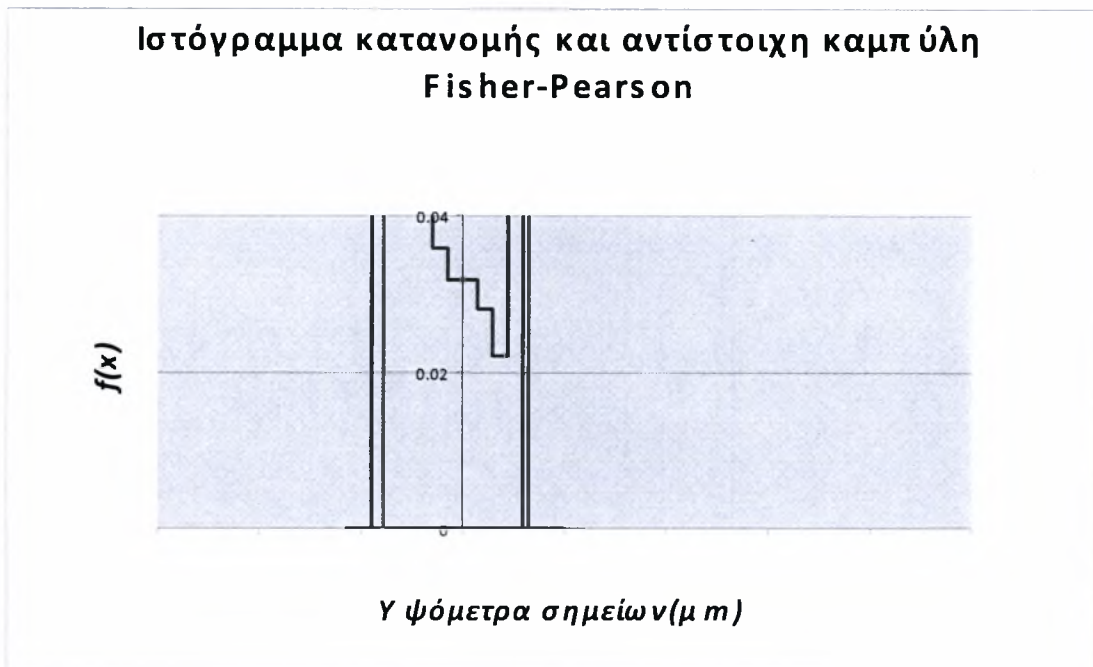
β) Συνάρτηση κατανομής κατά Fisher-Pearson και αντίστοιχο ιστόγραμμα υψόμετρων σημείων κατατομής τórνευμένης επιφάνειας με κυμάτωση $w=0 \mu\text{m}$ και κατωφλίου φθοράς $\Delta W=10 \mu\text{m}$.

Αναλυτικός τύπος συνάρτησης κατανομής (0, 10):

$$f(x)=f_0 (x+7.66)^{0.282758-1}(12.7389-x)^{0.470239-1}$$



(α)



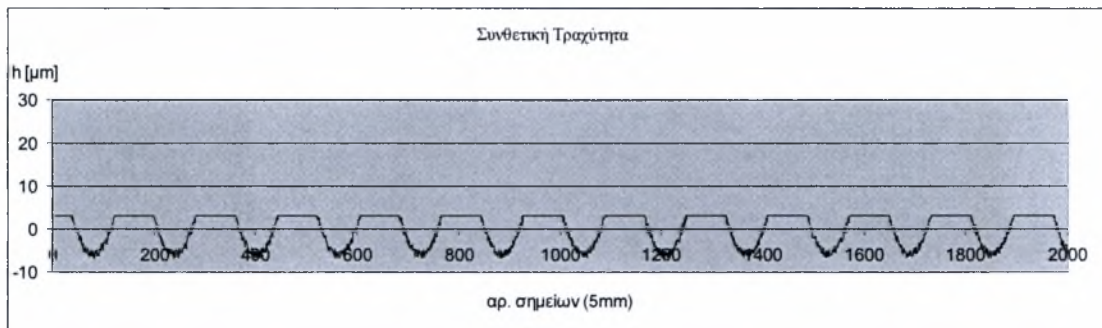
(β)

Σχήμα 3.14:

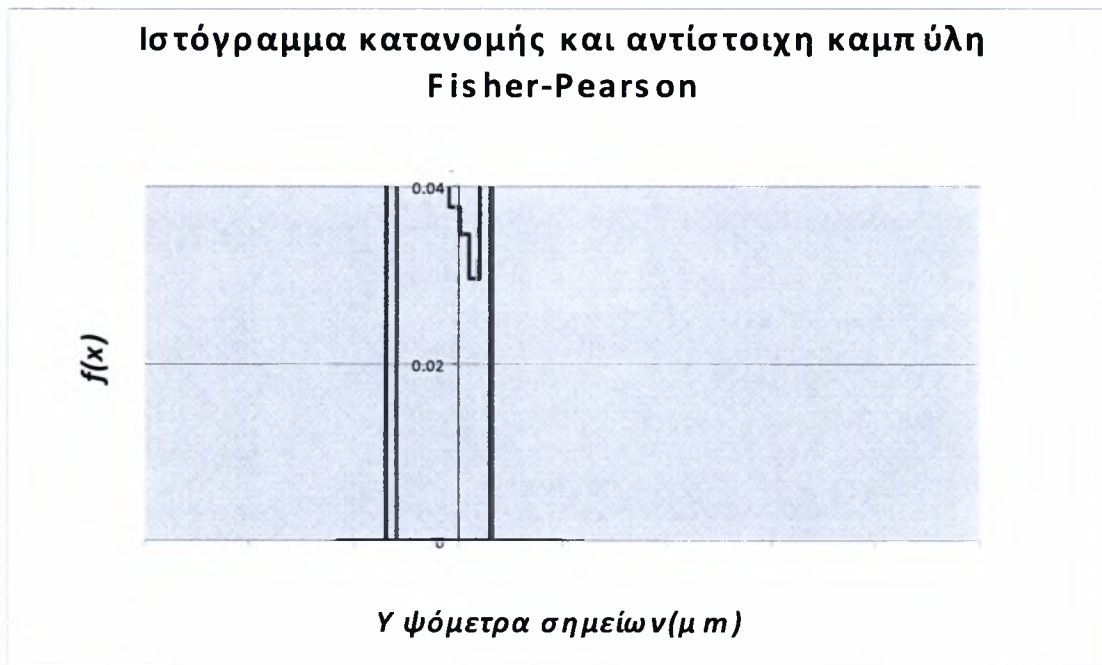
α) Συνθετική κατατομή τórνευσης με κυμάτωση και
 β) Συνάρτηση κατανομής κατά Fisher-Pearson και αντίστοιχο ιστόγραμμα
 υψόμετρων σημείων κατατομής τórνευμένης επιφάνειας με κυμάτωση $w=0 \mu\text{m}$ και
 κατωφλίου φθοράς $\Delta W=5 \mu\text{m}$.

Αναλυτικός τύπος συνάρτησης κατανομής (0, 5):

$$f(x) = f_0 (x + 14.0582)^{0.127689-1} (3.72655 - x)^{0.481701-1}$$



(α)



(β)

Σχήμα 3.15:

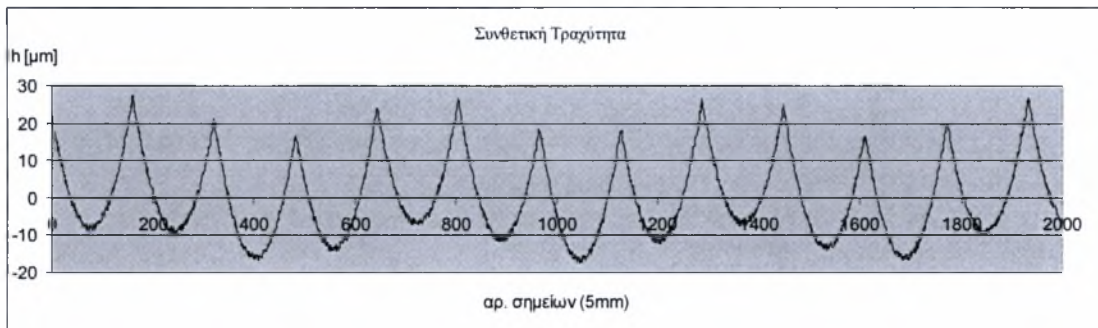
α) Συνθετική κατατομή τórνευσης με κυμάτωση και

β) Συνάρτηση κατανομής κατά Fisher-Pearson και αντίστοιχο ιστόγραμμα υψόμετρων σημείων κατατομής τórνευμένης επιφάνειας με κυμάτωση $w=0 \mu\text{m}$ και καταφλίου φθοράς $\Delta W=0 \mu\text{m}$.

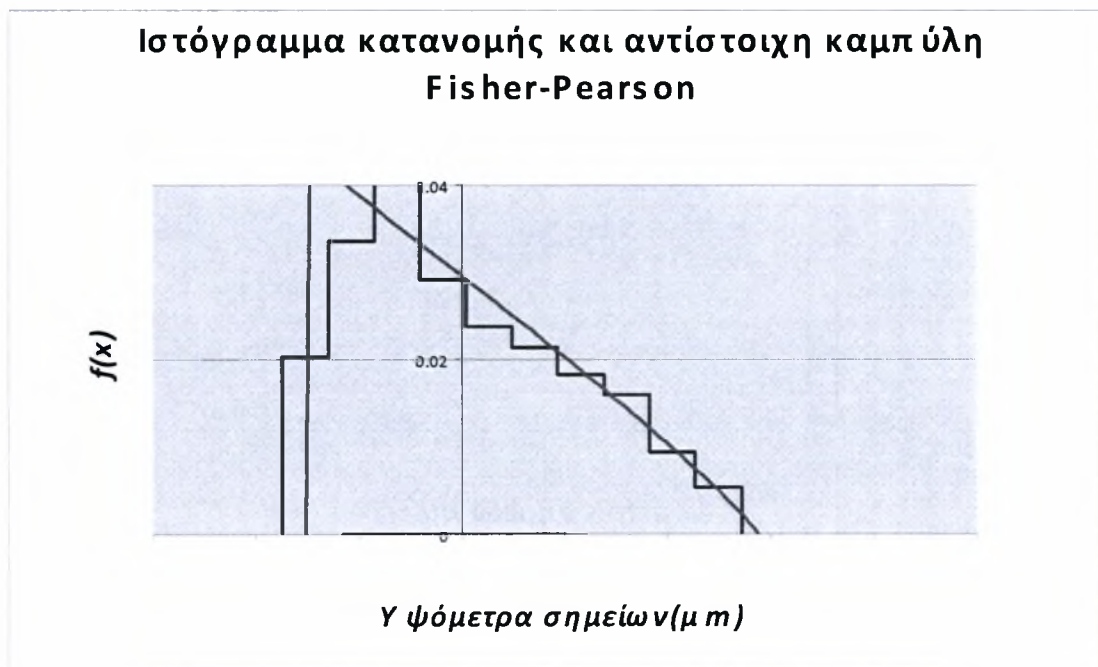
Αναλυτικός τύπος συνάρτησης κατανομής $(0, 0)$:

$$f(x) = f_0 (x + 10.45998)^{0.087738-1} (2.01945 - x)^{0.454449-1}$$

3.2. ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ ΚΑΤΑΤΟΜΗ ΤΟΡΝΕΥΣΗΣ ΜΕ ΚΥΜΑΤΩΣΗ W=5



(α)



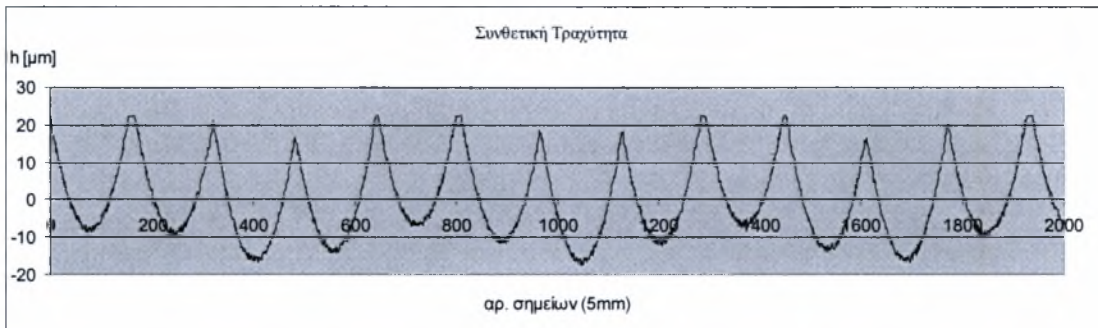
(β)

Σχήμα 3.16:

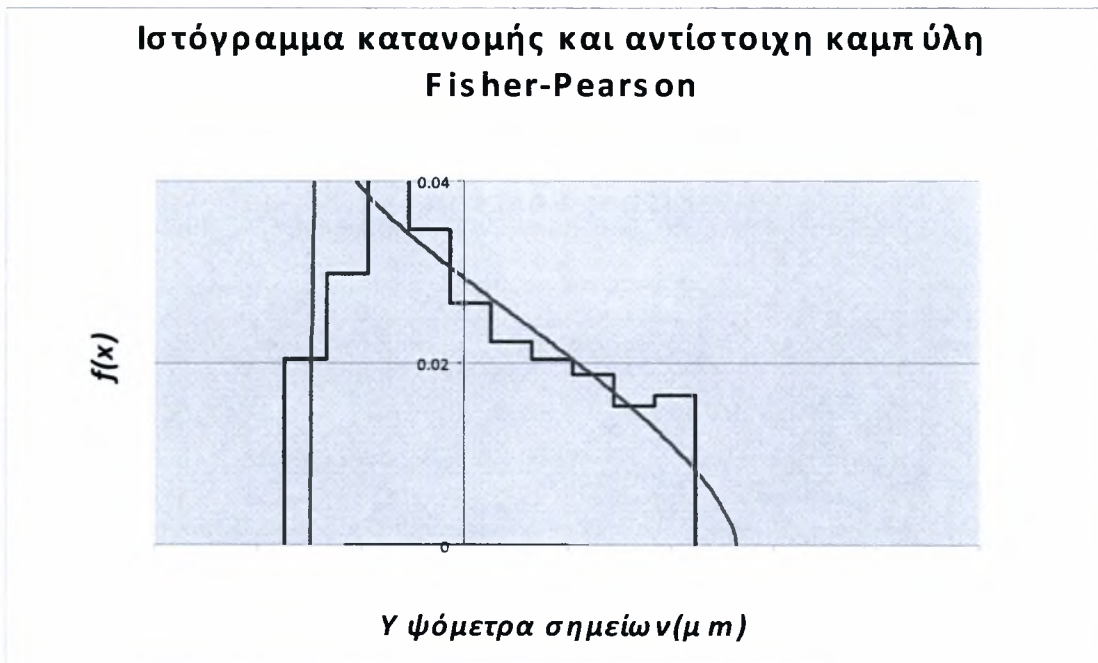
α) Συνθετική κατατομή τórνευσης με κυμάτωση και
β) Συνάρτηση κατανομής κατά Fisher-Pearson και αντίστοιχο ιστόγραμμα υψόμετρων σημείων κατατομής τórνευμένης επιφάνειας με κυμάτωση $w=5 \mu\text{m}$ και κατωφλίου φθοράς $\Delta W=30 \mu\text{m}$.

Αναλυτικός τύπος συνάρτησης κατανομής (5, 30):

$$f(x) = f_0 (x + 15.343)^{1.011603-1} (28.87277 - x)^{1.903547-1}$$



(α)



(β)

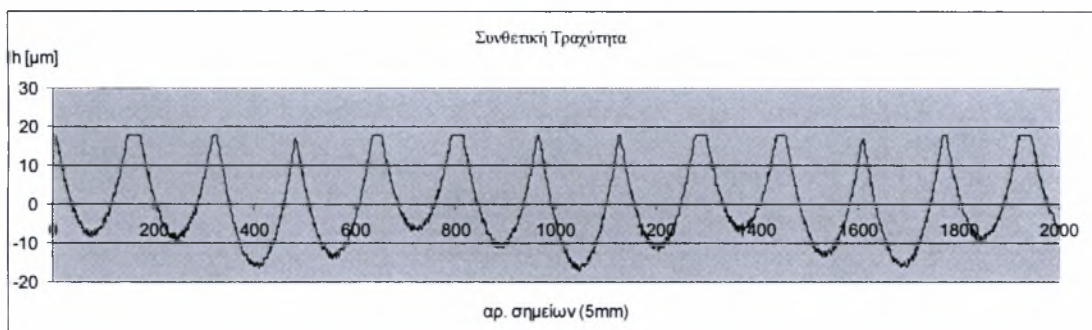
Σχήμα 3.17:

α) Συνθετική κατατομή τórνευσης με κυμάτωση και

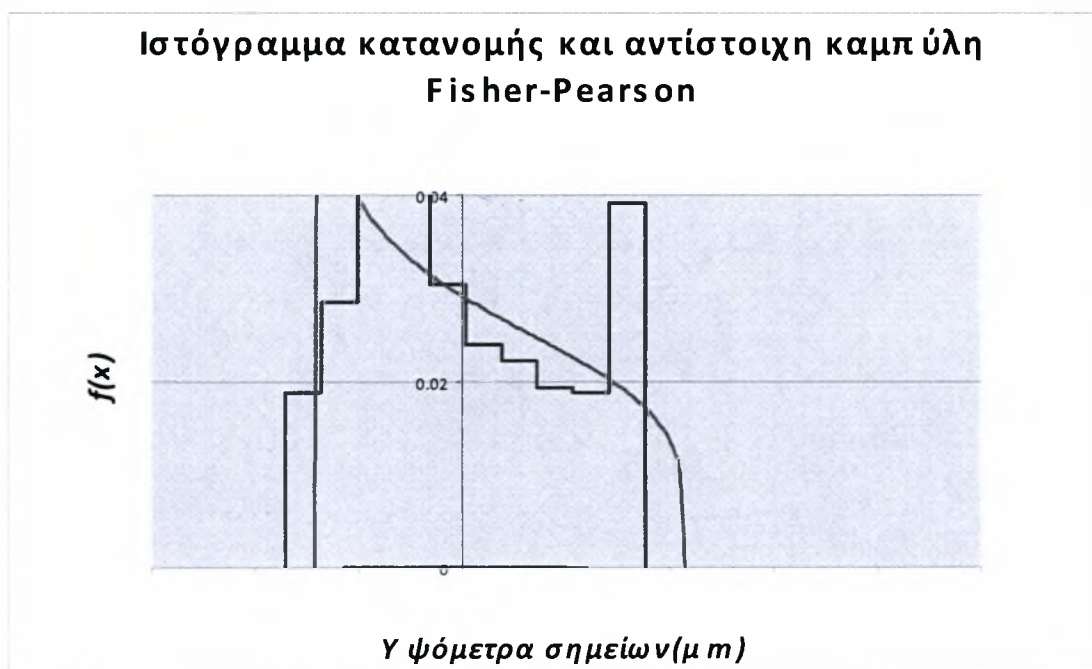
β) Συνάρτηση κατανομής κατά Fisher-Pearson και αντίστοιχο ιστόγραμμα υψόμετρων σημείων κατατομής τórνευμένης επιφάνειας με κυμάτωση $w=5 \mu\text{m}$ και κατωφλίου φθοράς $\Delta W=25 \mu\text{m}$.

Αναλυτικός τύπος συνάρτησης κατανομής (5, 25):

$$f(x) = f_0 (x + 15.2651)^{0,9511555-1} (24.94753 - x)^{1,5682725-1}$$



(α)



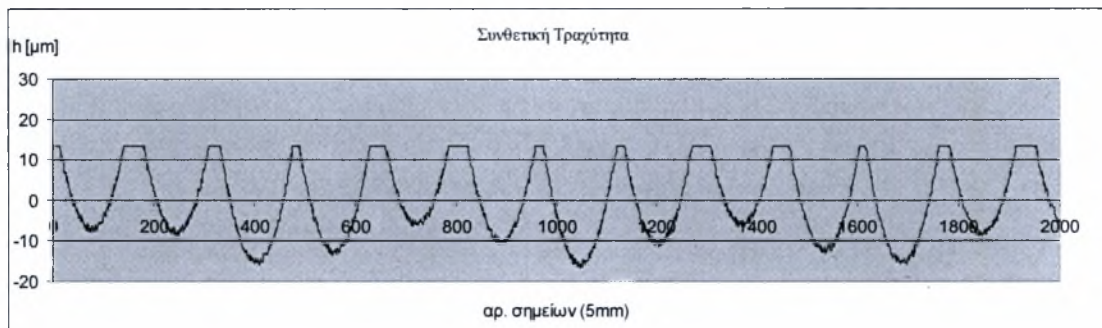
(α)

Σχήμα 3.18:

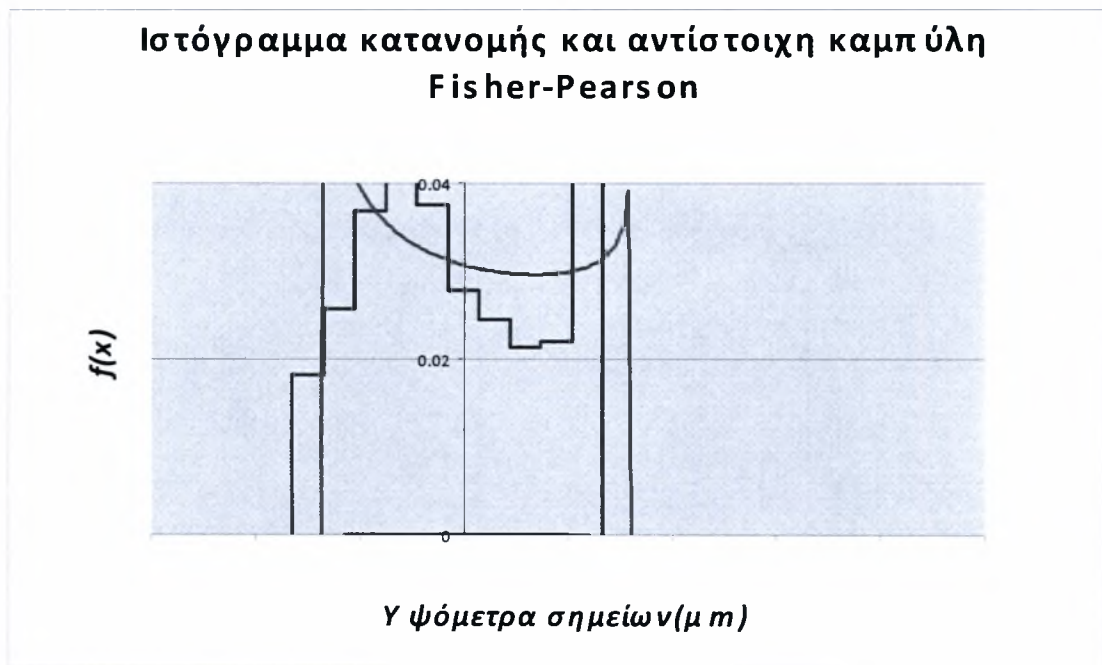
α) Συνθετική κατατομή τórνευσης με κυμάτωση και
 β) Συνάρτηση κατανομής κατά Fisher-Pearson και αντίστοιχο ιστόγραμμα
 υψόμετρων σημείων κατατομής τórνευμένης επιφάνειας με κυμάτωση $w=5 \mu\text{m}$ και
 καταφλίου φθοράς $\Delta W=20 \mu\text{m}$.

Αναλυτικός τύπος συνάρτησης κατανομής (5, 20):

$$f(x) = f_0 (x + 15.1863)^{0.890708-1} (21.02229 - x)^{1.232998-1}$$



(α)



(β)

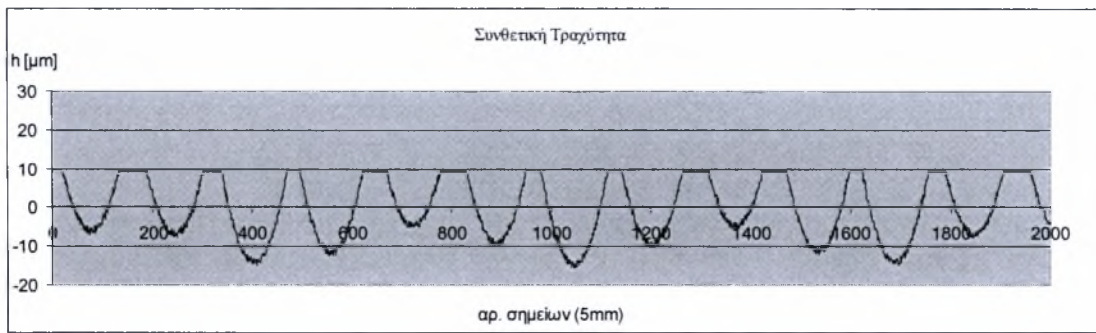
Σχήμα 3.19:

α) Συνθετική κατατομή τórνευσης με κυμάτωση και

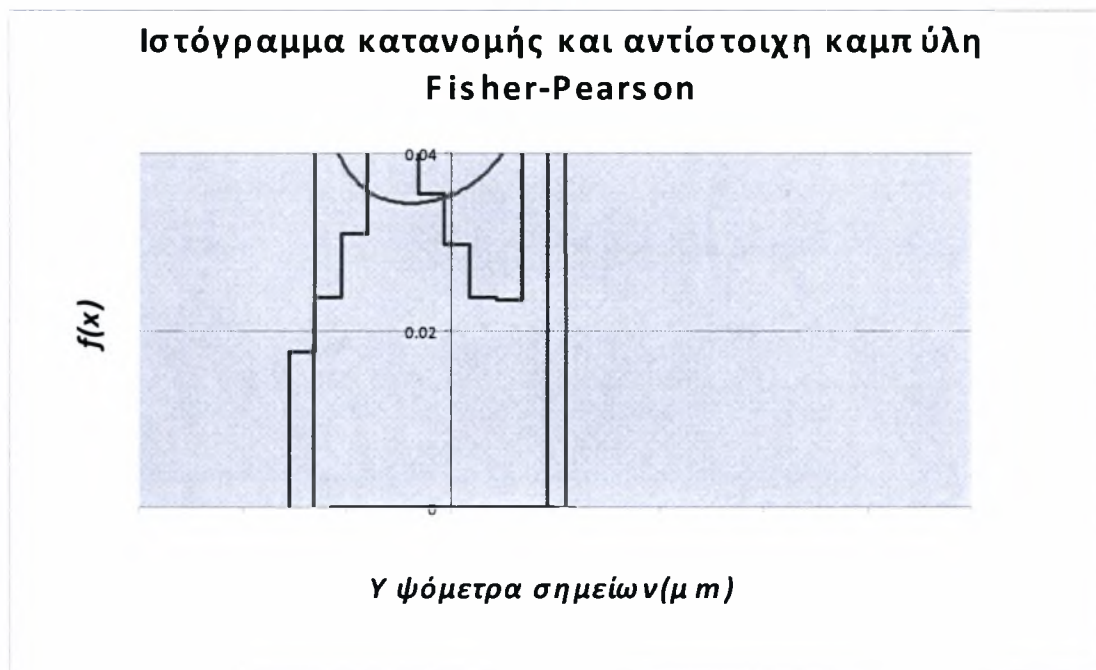
β) Συνάρτηση κατανομής κατά Fisher-Pearson και αντίστοιχο ιστόγραμμα υψόμετρων σημείων κατατομής τórνευμένης επιφάνειας με κυμάτωση $w=5 \mu\text{m}$ και κατωφλίου φθοράς $\Delta W=15 \mu\text{m}$.

Αναλυτικός τύπος συνάρτησης κατανομής (5, 15):

$$f(x) = f_0 (x + 14.1895)^{0.81345-1} (16.36481 - x)^{0.938156-1}$$



(α)



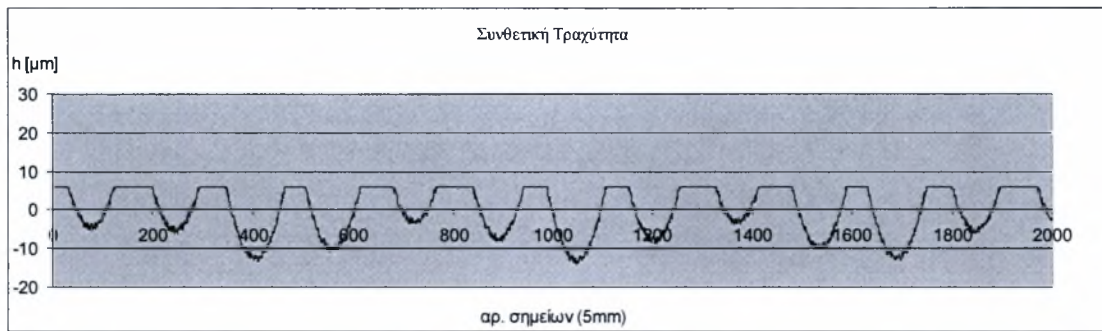
(β)

Σχήμα 3.20:

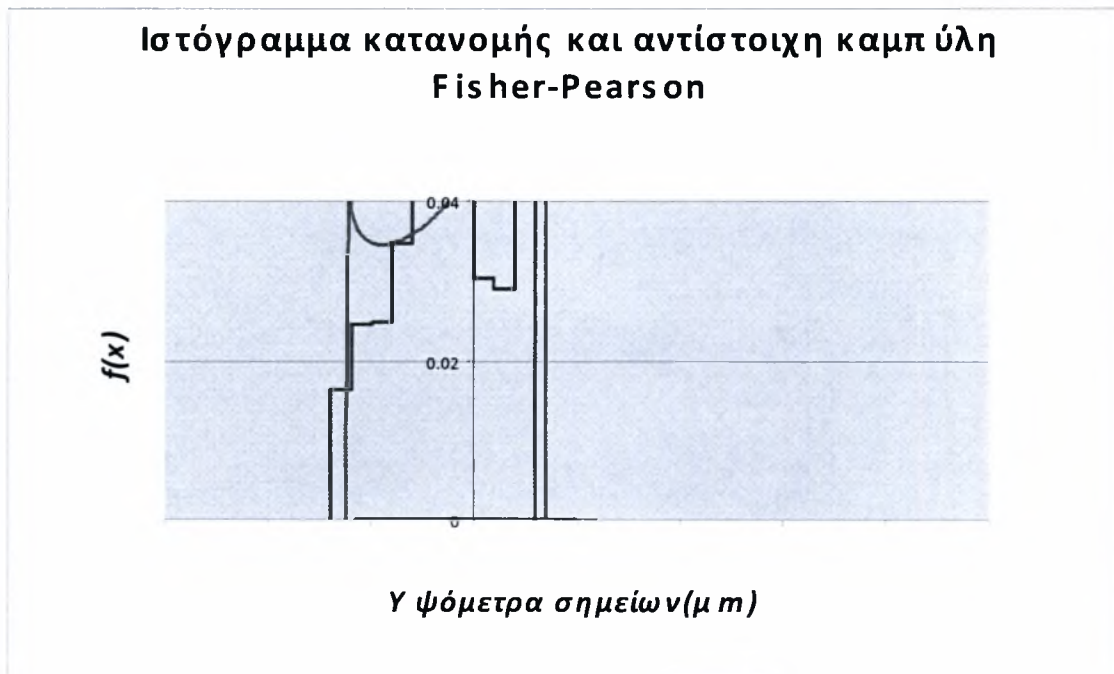
α) Συνθετική κατατομή τórνευσης με κυμάτωση και
 β) Συνάρτηση κατανομής κατά Fisher-Pearson και αντίστοιχο ιστόγραμμα
 υψόμετρων σημείων κατατομής τórνευμένης επιφάνειας με κυμάτωση $w=5 \mu\text{m}$ και
 καταφλίου φθοράς $\Delta W=10 \mu\text{m}$.

Αναλυτικός τύπος συνάρτησης κατανομής (5, 10):

$$f(x) = f_0 (x + 18.57978)^{0.48271-1} (8.38127 - x)^{1.070081-1}$$



(α)



(β)

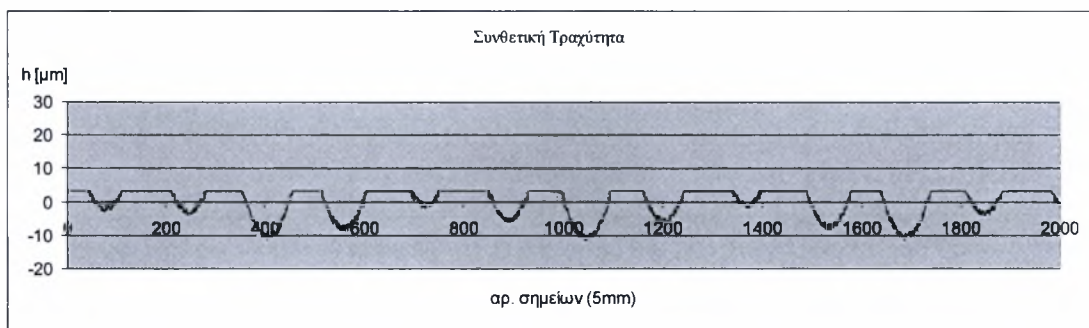
Σχήμα 3.21:

α) Συνθετική κατατομή τórνευσης με κυμάτωση και

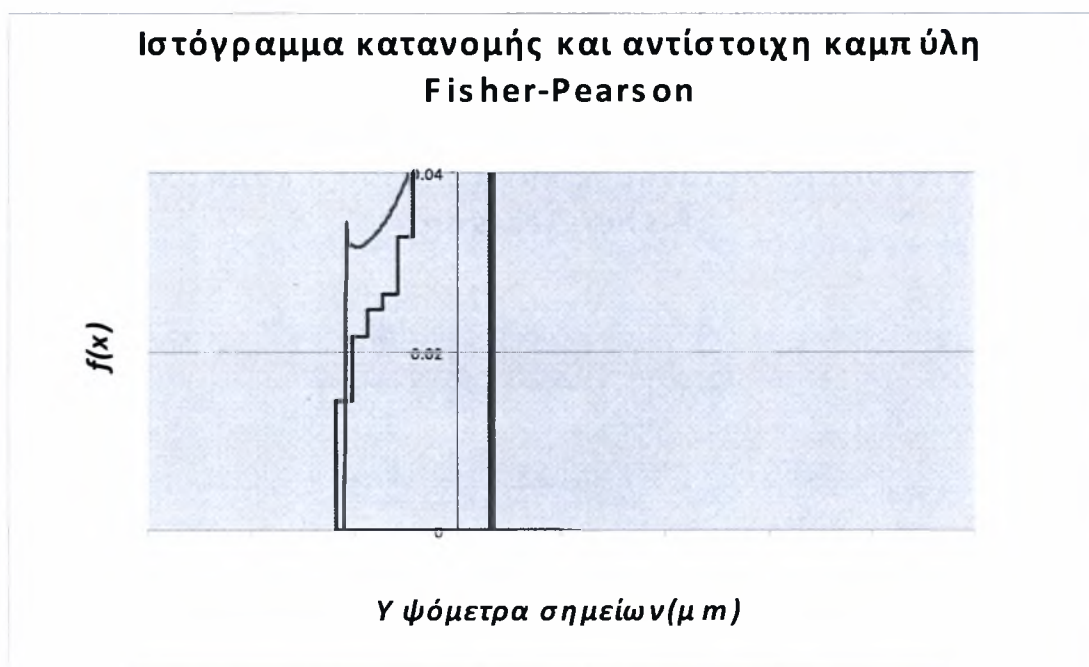
β) Συνάρτηση κατανομής κατά Fisher-Pearson και αντίστοιχο ιστόγραμμα υψόμετρων σημείων κατατομής τórνευμένης επιφάνειας με κυμάτωση $w=5 \mu m$ και κατωφλίου φθοράς $\Delta W=5 \mu m$.

Αναλυτικός τύπος συνάρτησης κατανομής (5, 5):

$$f(x) = f_0 (x + 20.26498)^{0.267782-1} (4.54931 - x)^{1.192839-1}$$



(α)



(β)

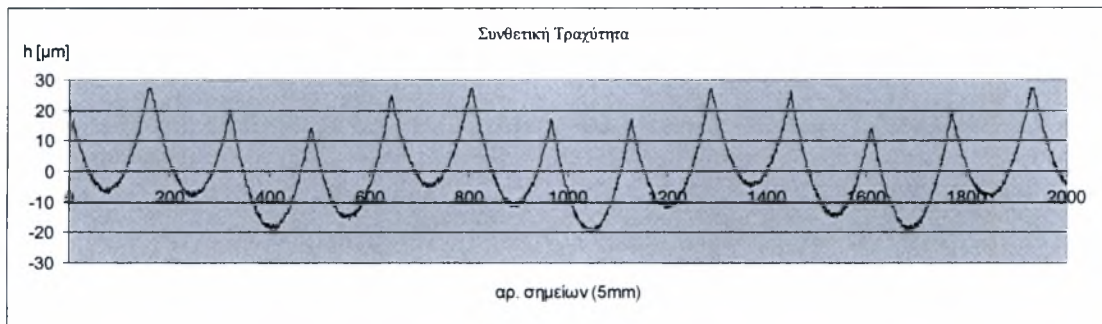
Σχήμα 3.22:

α) Συνθετική κατατομή τórνευσης με κυμάτωση και
 β) Συνάρτηση κατανομής κατά Fisher-Pearson και αντίστοιχο ιστόγραμμα
 υψόμετρων σημείων κατατομής τórνευμένης επιφάνειας με κυμάτωση $w=5 \mu\text{m}$ και
 κατωφλίου φθοράς $\Delta W=0 \mu\text{m}$.

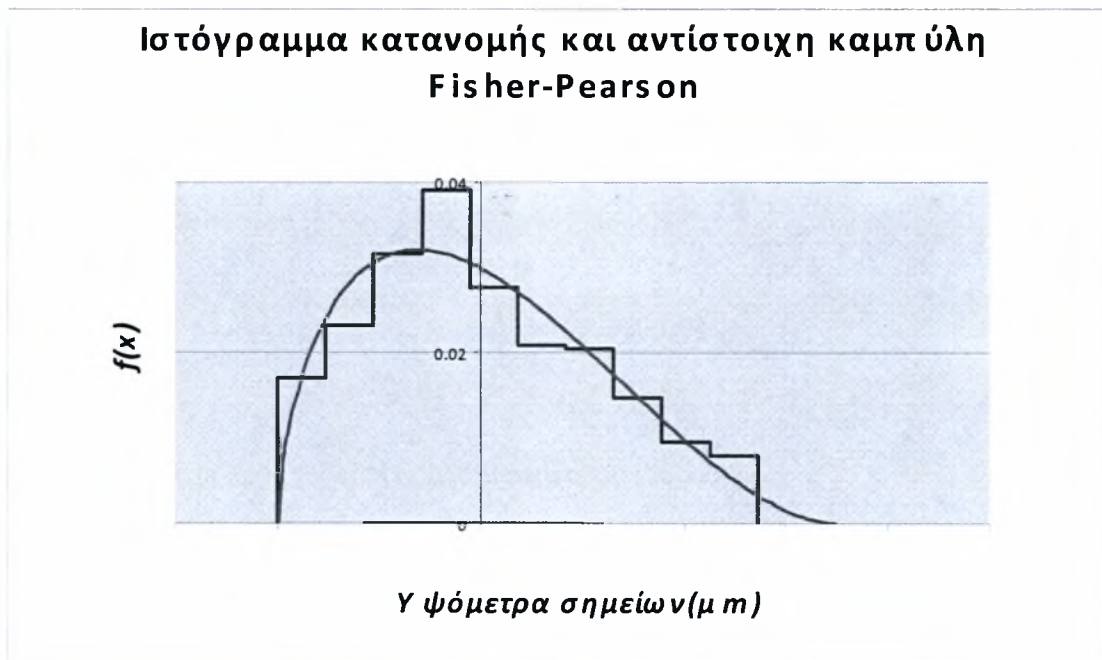
Αναλυτικός τύπος συνάρτησης κατανομής (5, 0):

$$f(x) = f_0 (x + 15.62181)^{0.190269-1} (2.67115 - x)^{1.112758-1}$$

3.3. ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ ΚΑΤΑΤΟΜΗ ΤΟΡΝΕΥΣΗΣ ΜΕ ΚΥΜΑΤΩΣΗ W=7,5



(α)



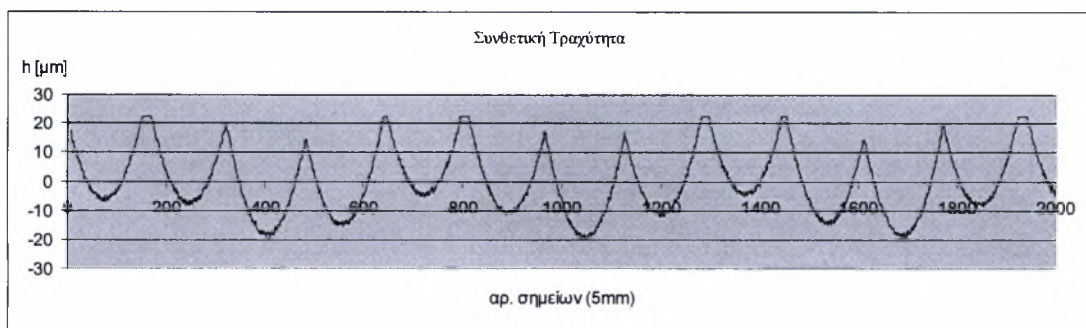
(β)

Σχήμα 3.23:

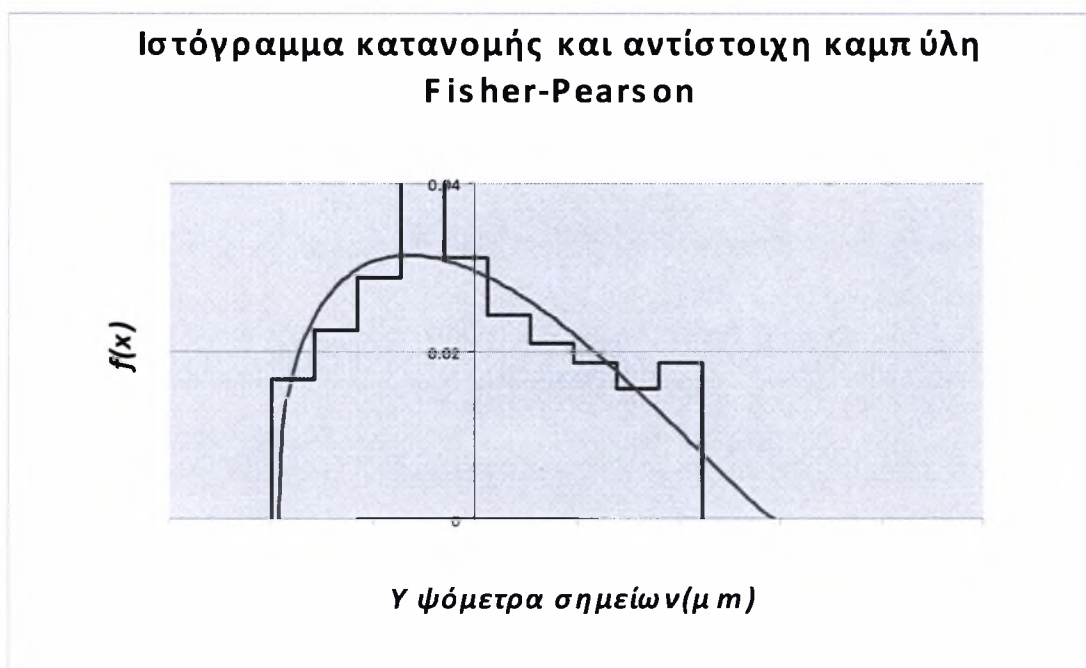
α) Συνθετική κατατομή τórνευσης με κυμάτωση και
β) Συνάρτηση κατανομής κατά Fisher-Pearson και αντίστοιχο ιστόγραμμα υψόμετρων σημείων κατατομής τórνευμένης επιφάνειας με κυμάτωση $w=7,5 \mu\text{m}$ και καταφλίου φθοράς $\Delta W=30 \mu\text{m}$.

Αναλυτικός τύπος συνάρτησης κατανομής (7.5, 30):

$$f(x) = f_0 (x + 19.8528)^{1.588723-1} (34.90556 - x)^{2.793328-1}$$



(α)



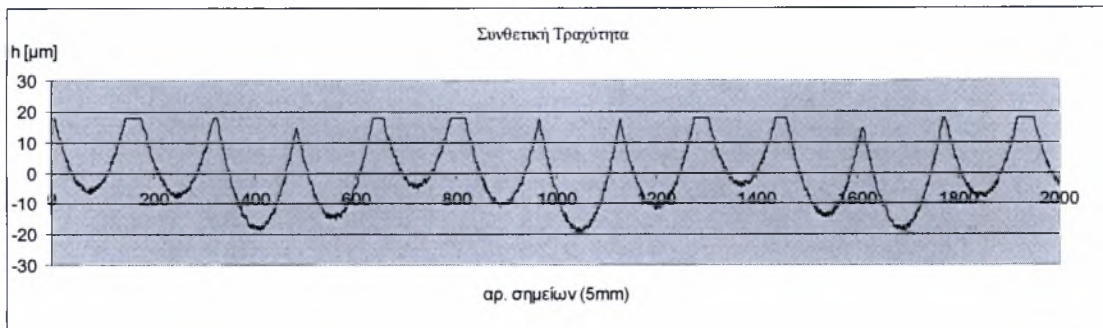
(β)

Σχήμα 3.24:

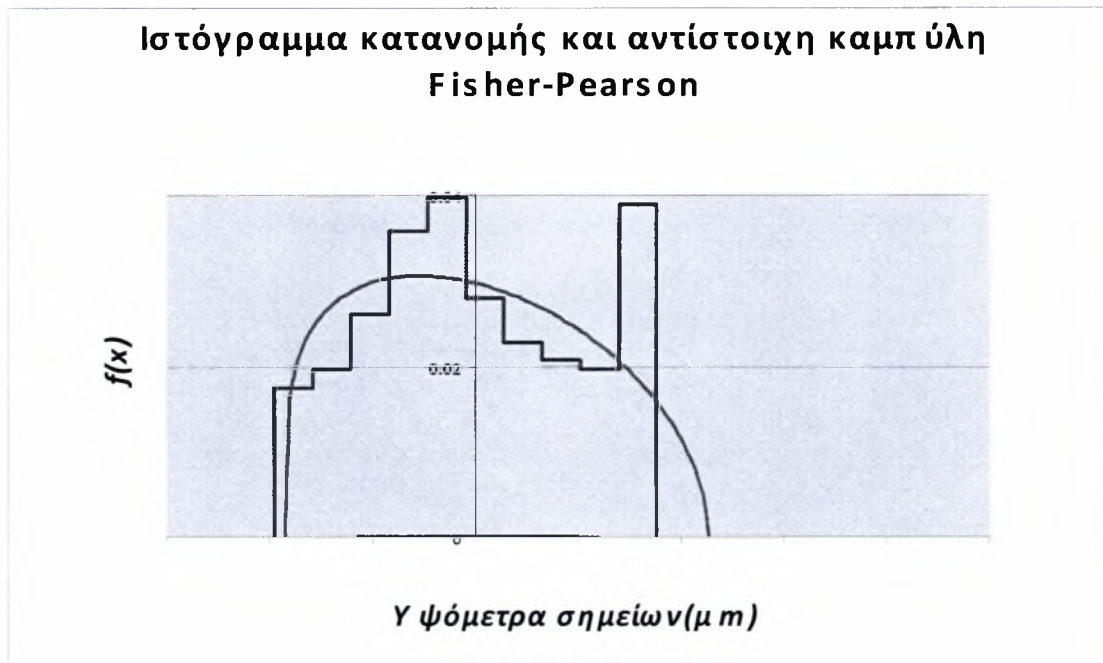
α) Συνθετική κατατομή τórνευσης με κυμάτωση και
 β) Συνάρτηση κατανομής κατά Fisher-Pearson και αντίστοιχο ιστόγραμμα
 υψόμετρων σημείων κατατομής τórνευμένης επιφάνειας με κυμάτωση $w=7,5 \mu\text{m}$ και
 κατωφλίου φθοράς $\Delta W=25 \mu\text{m}$.

Αναλυτικός τύπος συνάρτησης κατανομής (7.5, 25):

$$f(x) = f_0 (x + 19.82625)^{1.4676835-1} (28.24016 - x)^{2.130351-1}$$



(α)



(β)

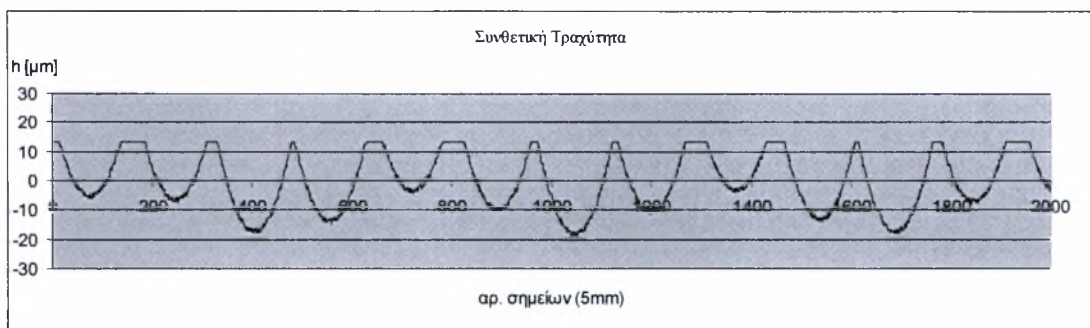
Σχήμα 3.25:

α) Συνθετική κατατομή τórνευσης με κυμάτωση και

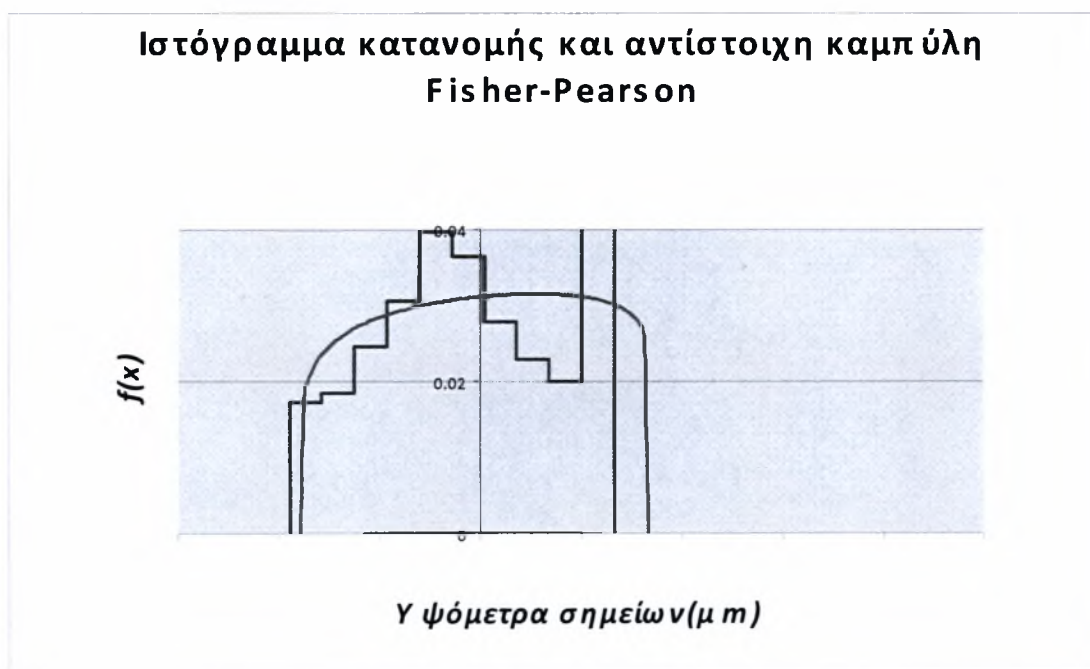
β) Συνάρτηση κατανομής κατά Fisher-Pearson και αντίστοιχο ιστόγραμμα υψόμετρων σημείων κατατομής τórνευμένης επιφάνειας με κυμάτωση $w=7,5 \mu m$ και κατωφλίου φθοράς $\Delta W=20 \mu m$.

Αναλυτικός τύπος συνάρτησης κατανομής (7.5, 20):

$$f(x)=f_0 (x+19.7997)^{1.346644-1}(21.57476-x)^{1.467374-1}$$



(α)



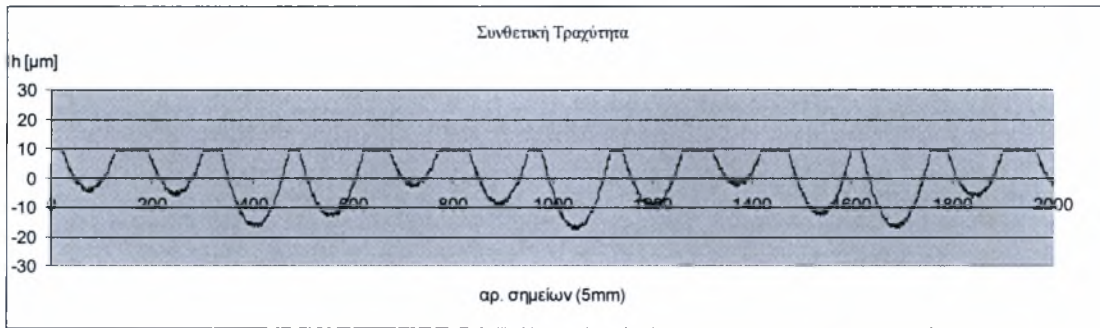
(β)

Σχήμα 3.26:

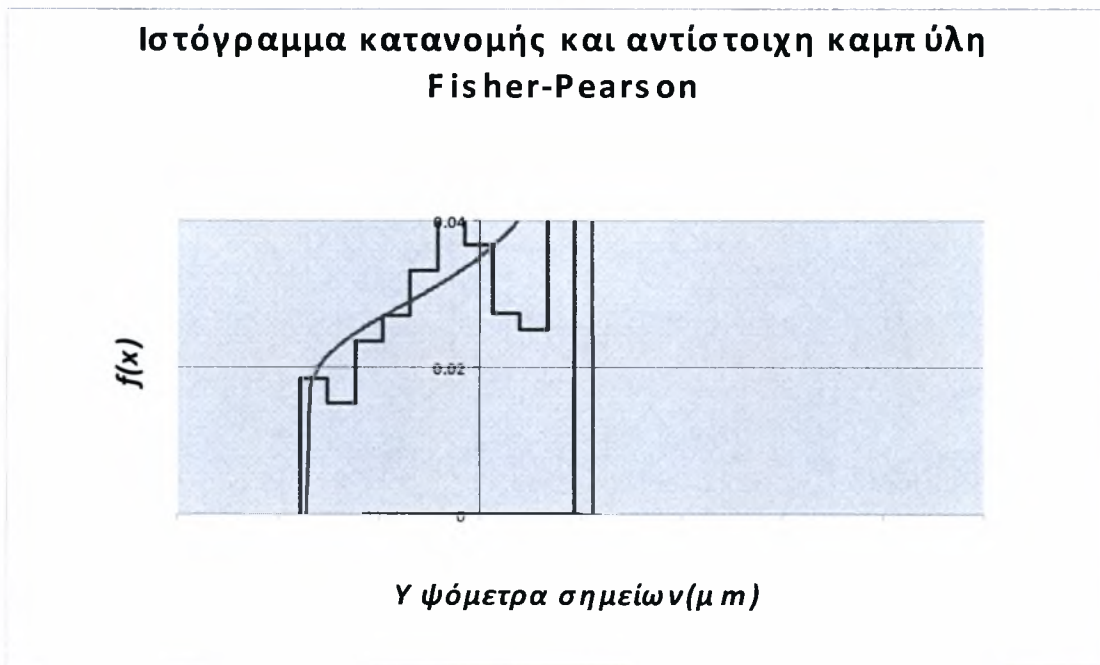
α) Συνθετική κατατομή τórνευσης με κυμάτωση και
 β) Συνάρτηση κατανομής κατά Fisher-Pearson και αντίστοιχο ιστόγραμμα
 υψόμετρων σημείων κατατομής τórνευμένης επιφάνειας με κυμάτωση $w=7,5 \mu m$ και
 καταφλίου φθοράς $\Delta W=15 \mu m$.

Αναλυτικός τύπος συνάρτησης κατανομής (7.5, 15):

$$f(x) = f_0 (x + 21.27551)^{0.909543-1} (14.2769-x)^{1.355408-1}$$



(α)



(β)

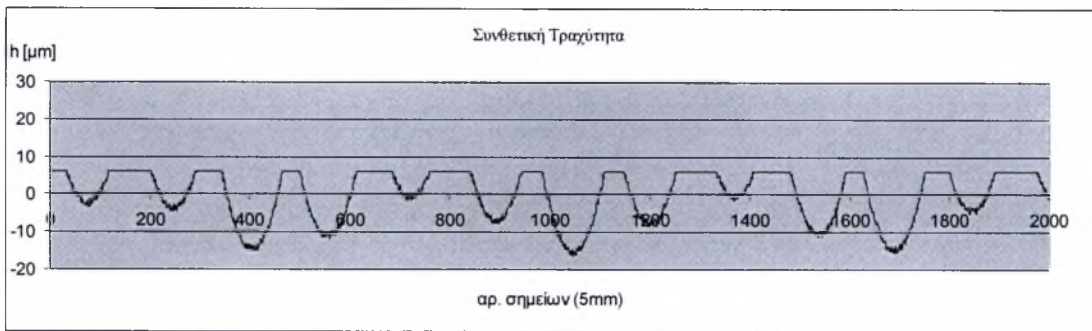
Σχήμα 3.27:

α) Συνθετική κατατομή τórνευσης με κυμάτωση και

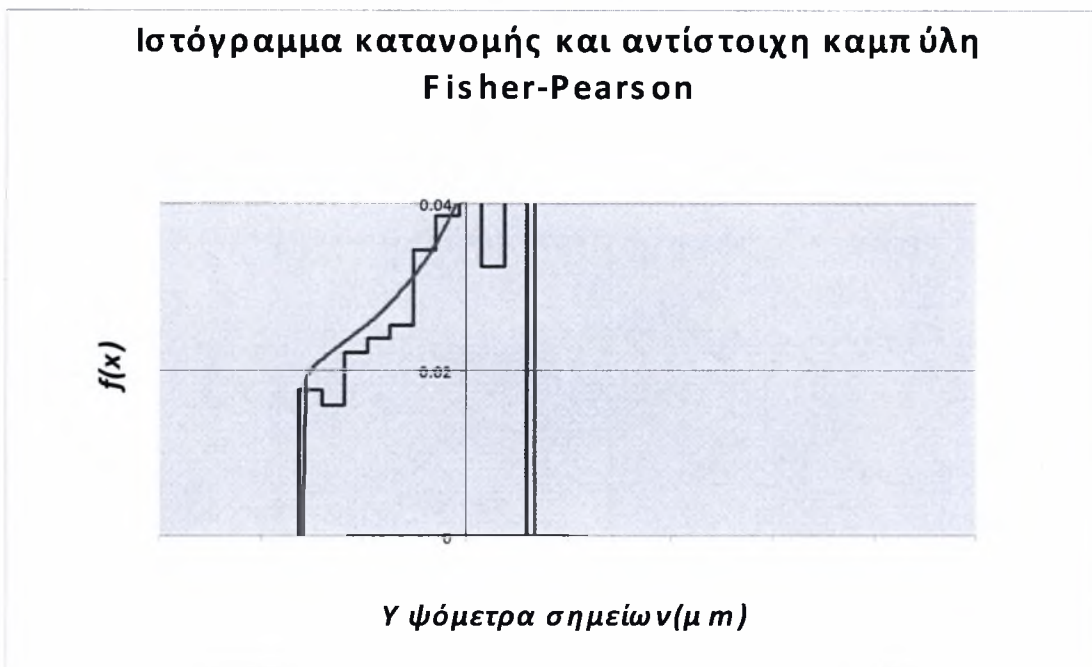
β) Συνάρτηση κατανομής κατά Fisher-Pearson και αντίστοιχο ιστόγραμμα υψόμετρων σημείων κατατομής τórνευμένης επιφάνειας με κυμάτωση $w=7,5 \mu\text{m}$ και κατωφλίου φθοράς $\Delta W=10 \mu\text{m}$.

Αναλυτικός τύπος συνάρτησης κατανομής (7.5, 10):

$$f(x) = f_0 (x+23.11837)^{0.511016-1} (8.60848-x)^{1.372351-1}$$



(α)



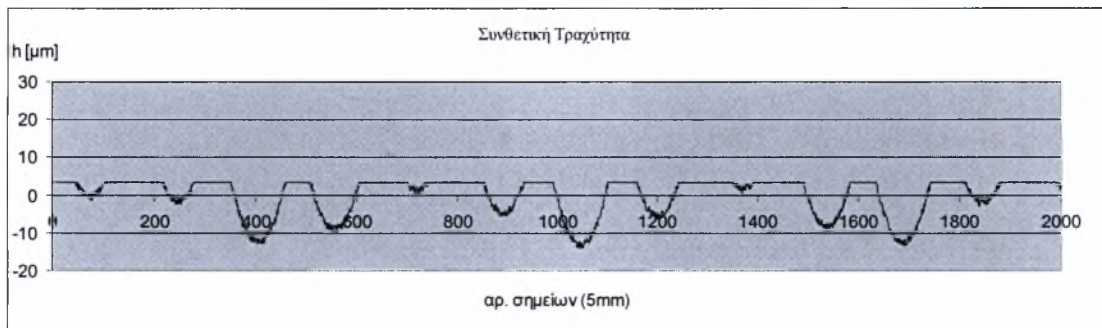
(β)

Σχήμα 3.28:

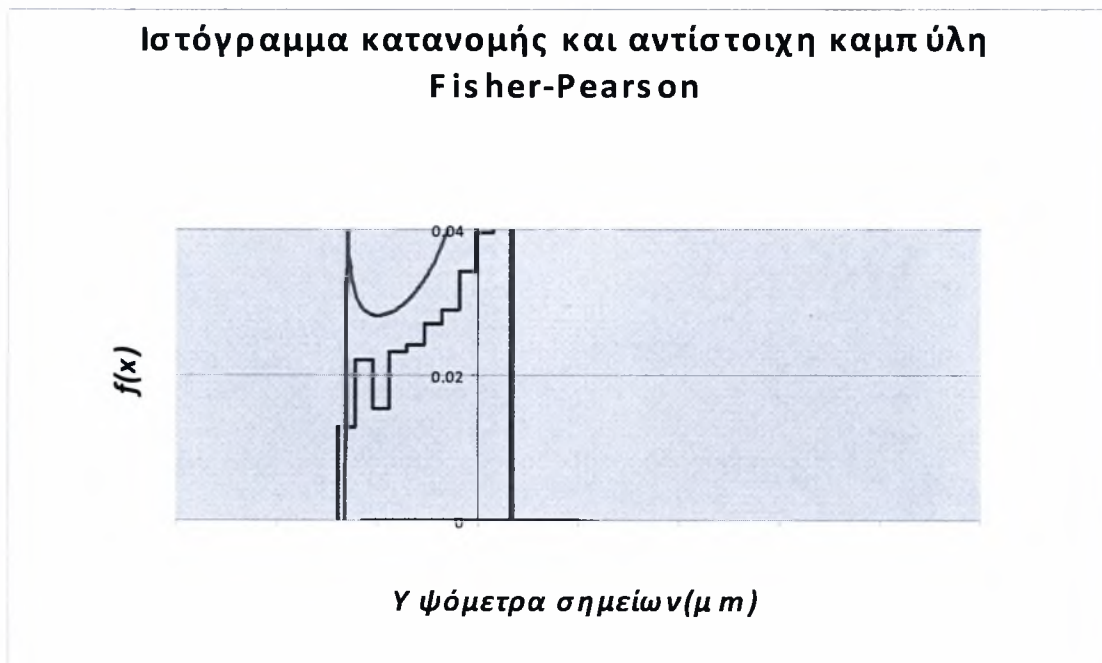
α) Συνθετική κατατομή τórνευσης με κυμάτωση και
 β) Συνάρτηση κατανομής κατά Fisher-Pearson και αντίστοιχο ιστόγραμμα
 υψόμετρων σημείων κατατομής τórνευμένης επιφάνειας με κυμάτωση $w=7,5 \mu\text{m}$ και
 κατωφλίου φθοράς $\Delta W=5 \mu\text{m}$.

Αναλυτικός τύπος συνάρτησης κατανομής (7.5, 5):

$$f(x) = f_0 (x + 23.59895)^{0.256629-1} (4.76395 - x)^{1.27125-1}$$



(α)



(β)

Σχήμα 3.29:

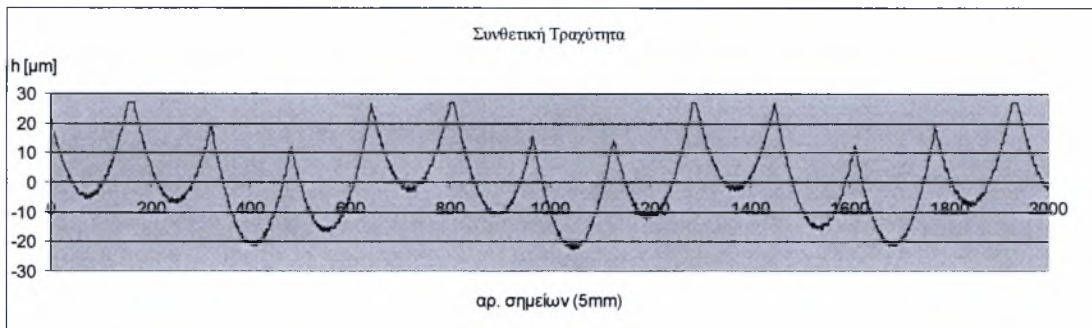
α) Συνθετική κατατομή τórνευσης με κυμάτωση και

β) Συνάρτηση κατανομής κατά Fisher-Pearson και αντίστοιχο ιστόγραμμα υψόμετρων σημείων κατατομής τórνευμένης επιφάνειας με κυμάτωση $w=7,5 \mu\text{m}$ και κατωφλίου φθοράς $\Delta W=0 \mu\text{m}$.

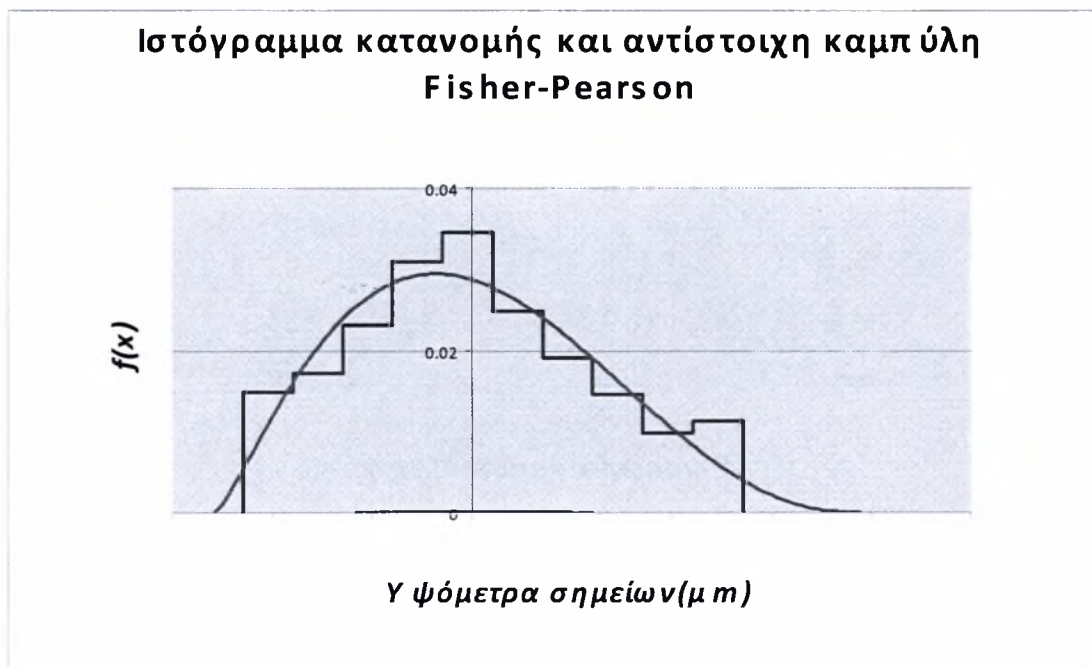
Αναλυτικός τύπος συνάρτησης κατανομής (7.5, 0):

$$f(x) = f_0 (x + 17.73265)^{0.146828-1} (2.79445 - x)^{0.931724-1}$$

3.4. ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ ΚΑΤΑΤΟΜΗ ΤΟΡΝΕΥΣΗΣ ΜΕ ΚΥΜΑΤΩΣΗ W=10



(α)



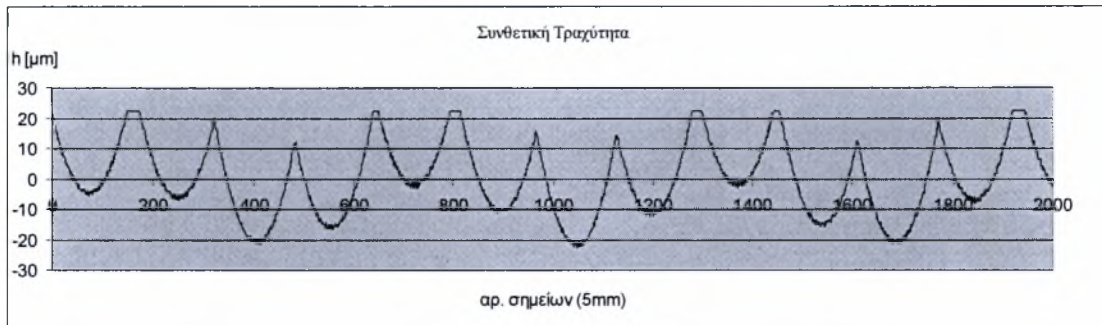
(β)

Σχήμα 3.30:

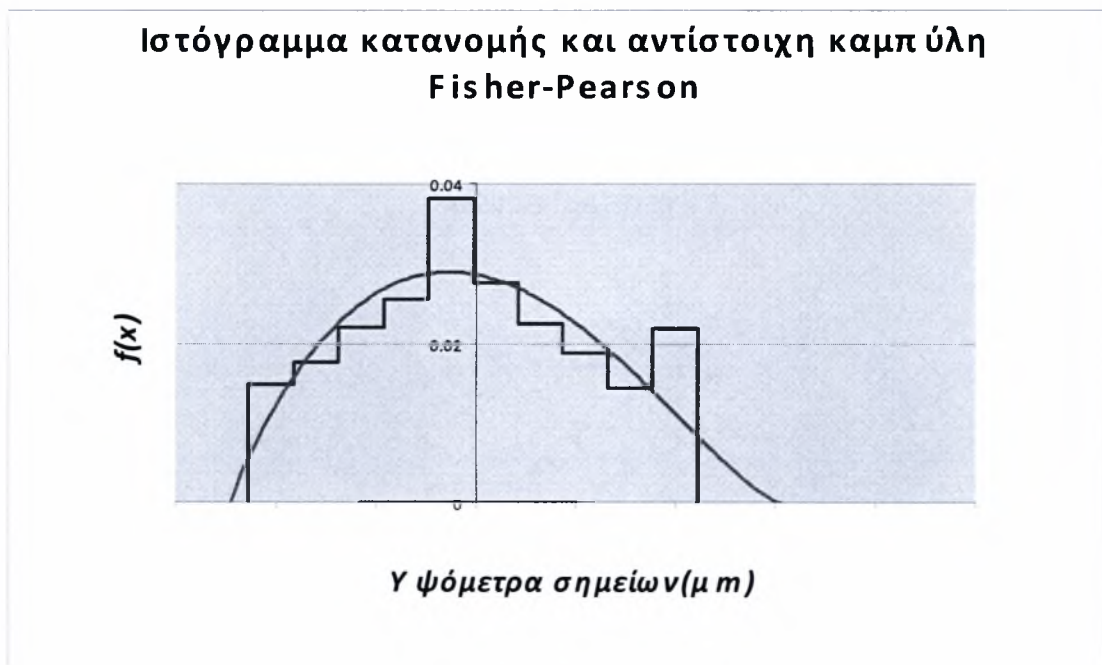
α) Συνθετική κατατομή τórνευσης με κυμάτωση και
β) Συνάρτηση κατανομής κατά Fisher-Pearson και αντίστοιχο ιστόγραμμα υψόμετρων σημείων κατατομής τórνευμένης επιφάνειας με κυμάτωση $w=10 \mu m$ και κατωφλίου φθοράς $\Delta W=30 \mu m$.

Αναλυτικός τύπος συνάρτησης κατανομής (10, 30):

$$f(x) = f_0 (x + 25.7569)^{2.26894-1} (38.87152 - x)^{3.424216-1}$$



(α)



(β)

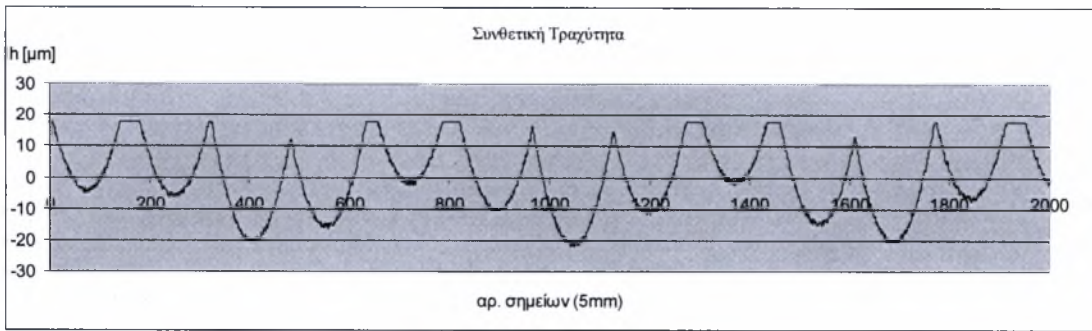
Σχήμα 3.31:

α) Συνθετική κατατομή τórνευσης με κυμάτωση και

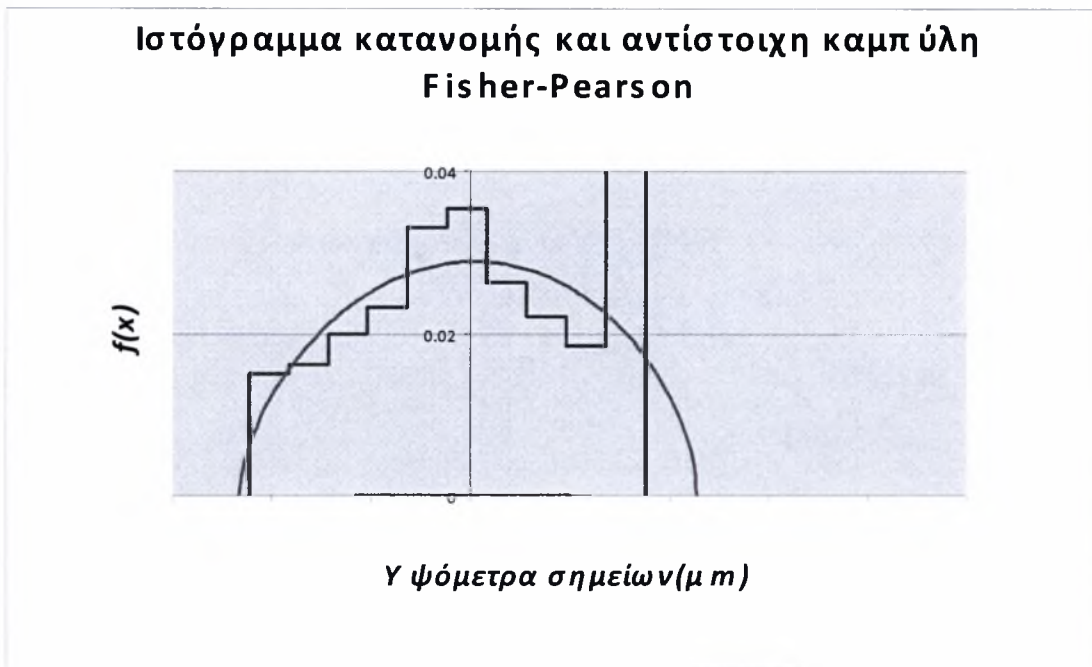
β) Συνάρτηση κατανομής κατά Fisher-Pearson και αντίστοιχο ιστόγραμμα υψόμετρων σημείων κατατομής τórνευμένης επιφάνειας με κυμάτωση $w=10 \mu\text{m}$ και κατωφλίου φθοράς $\Delta W=25 \mu\text{m}$.

Αναλυτικός τύπος συνάρτησης κατανομής (10, 25):

$$f(x) = f_0 (x + 23.43395)^{1.873772-1} (32.23285 - x)^{2.608411-1}$$



(α)



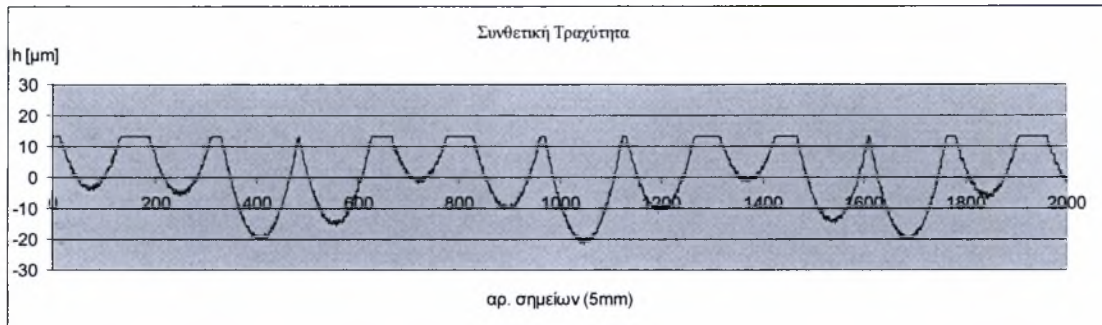
(β)

Σχήμα 3.32:

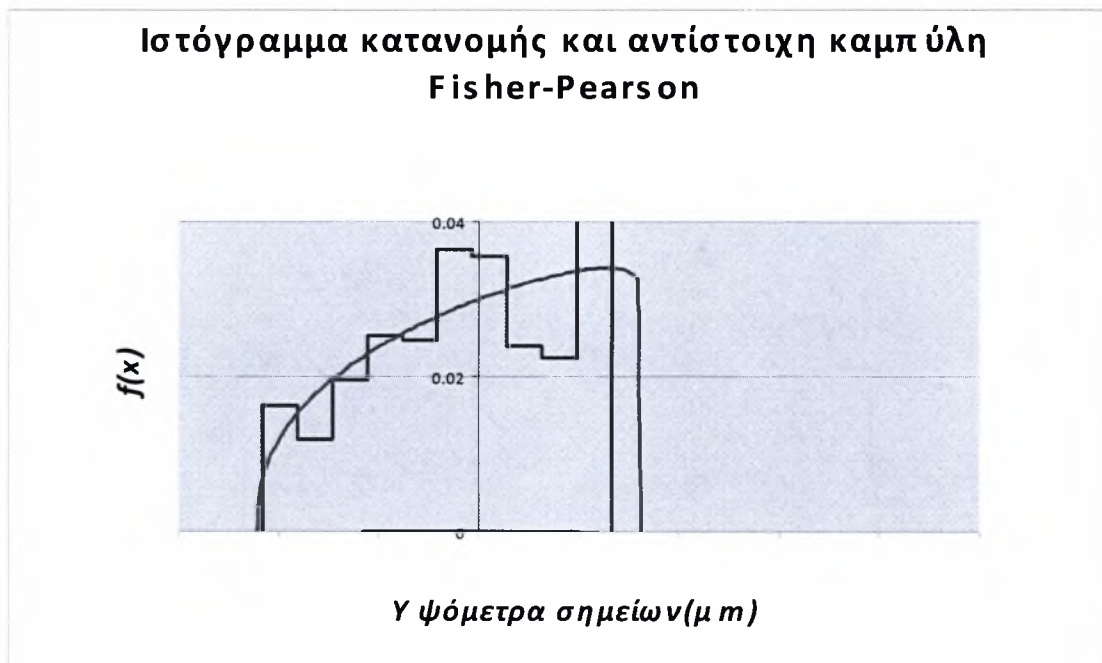
α) Συνθετική κατατομή τórνευσης με κυμάτωση και
 β) Συνάρτηση κατανομής κατά Fisher-Pearson και αντίστοιχο ιστόγραμμα
 υψόμετρων σημείων κατατομής τórνευμένης επιφάνειας με κυμάτωση $w=10 \mu m$ και
 κατωφλίου φθοράς $\Delta W=20 \mu m$.

Αναλυτικός τύπος συνάρτησης κατανομής (10, 20):

$$f(x) = f_0 (x + 21.111)^{1.478604-1} (25.59418 - x)^{1.792606-1}$$



(α)



(β)

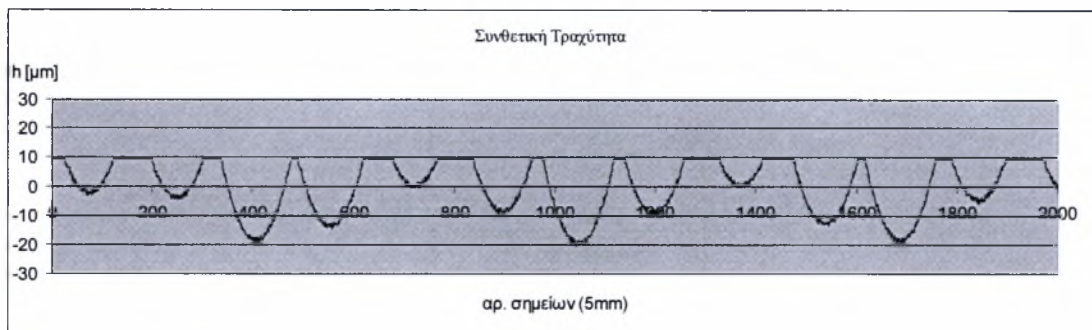
Σχήμα 3.33:

α) Συνθετική κατατομή τórνευσης με κυμάτωση και

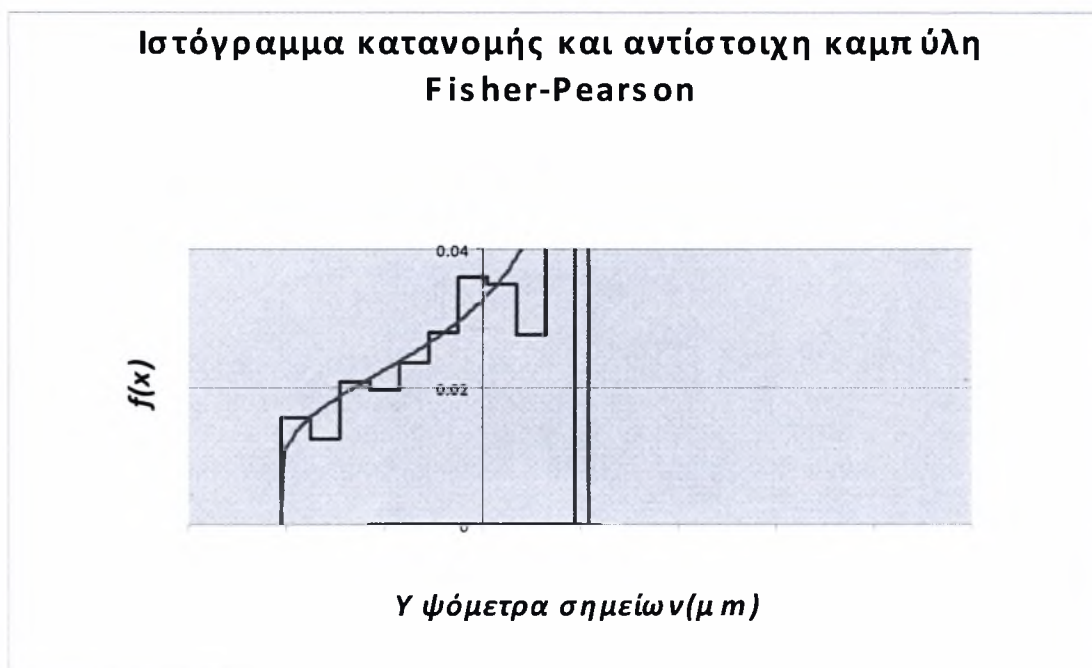
β) Συνάρτηση κατανομής κατά Fisher-Pearson και αντίστοιχο ιστόγραμμα υψόμετρων σημείων κατατομής τórνευμένης επιφάνειας με κυμάτωση $w=10 \mu m$ και καταφλίου φθοράς $\Delta W=15 \mu m$.

Αναλυτικός τύπος συνάρτησης κατανομής (10, 15):

$$f(x) = f_0 (x + 26.52997)^{0.853341-1} (13.8761-x)^{1.631519-1}$$



(α)



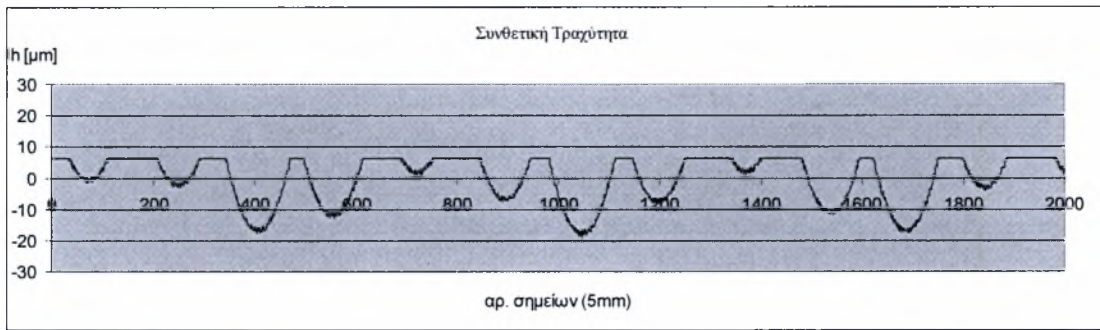
(β)

Σχήμα 3.34:

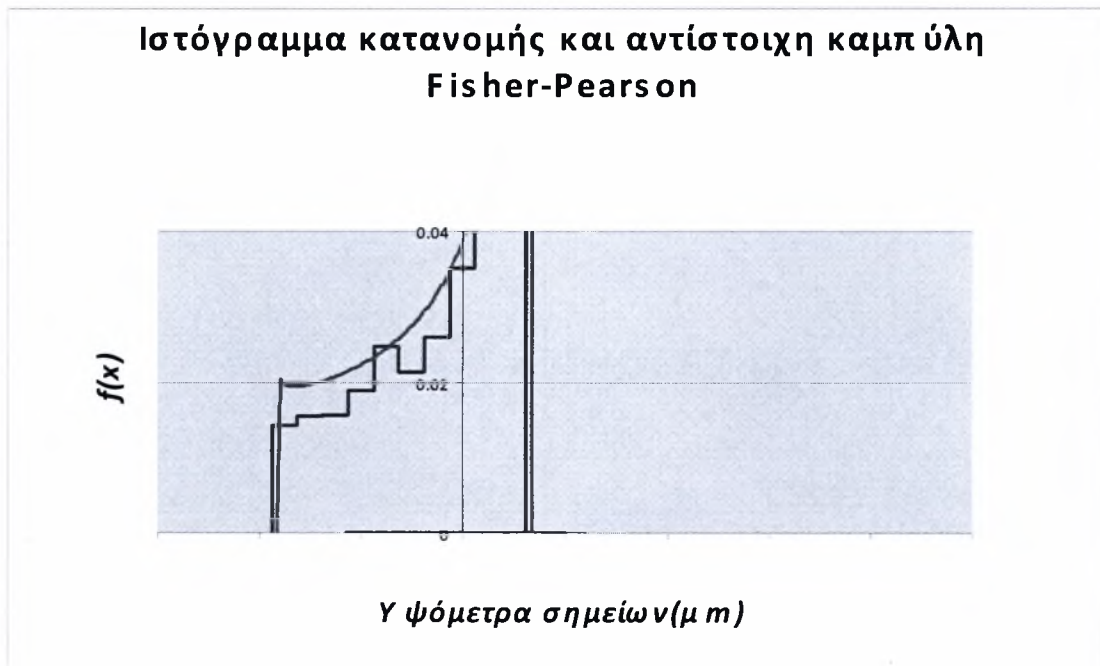
α) Συνθετική κατατομή τórνευσης με κυμάτωση και
 β) Συνάρτηση κατανομής κατά Fisher-Pearson και αντίστοιχο ιστόγραμμα
 υψόμετρων σημείων κατατομής τórνευμένης επιφάνειας με κυμάτωση $w=10 \mu m$ και
 κατωφλίου φθοράς $\Delta W=10 \mu m$.

Αναλυτικός τύπος συνάρτησης κατανομής (10, 10):

$$f(x) = f_0 (x + 27.23527)^{0.449169-1} (8.50542 - x)^{1.438287-1}$$



(α)



(β)

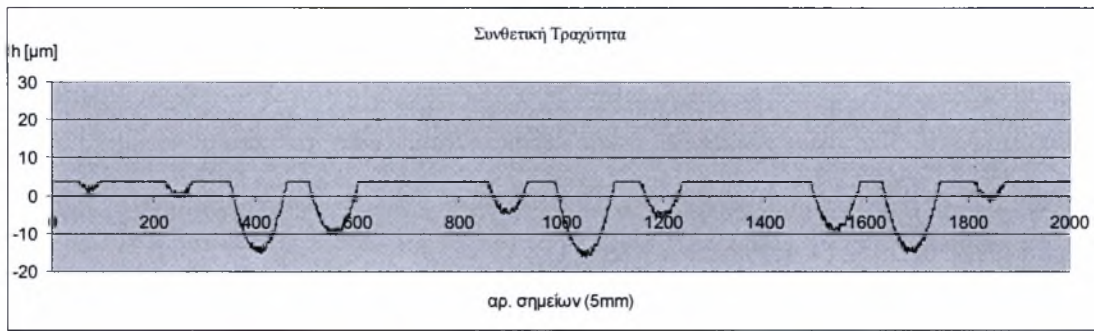
Σχήμα 3.35:

α) Συνθετική κατατομή τórνευσης με κυμάτωση και

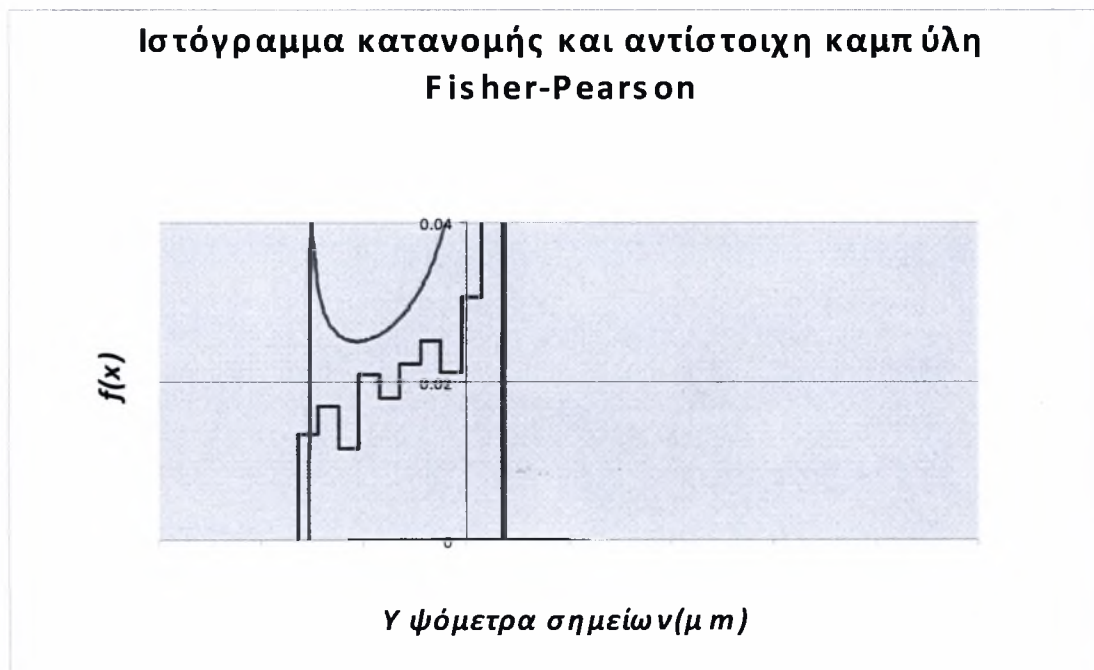
β) Συνάρτηση κατανομής κατά Fisher-Pearson και αντίστοιχο ιστόγραμμα υψόμετρων σημείων κατατομής τórνευμένης επιφάνειας με κυμάτωση $w=10 \mu\text{m}$ και κατωφλίου φθοράς $\Delta W=5 \mu\text{m}$.

Αναλυτικός τύπος συνάρτησης κατανομής (10, 5):

$$f(x) = f_0 (x + 26.34699)^{0.21225-1} (4.8694 - x)^{1.148426-1}$$



(α)



(β)

Σχήμα 3.36:

α) Συνθετική κατατομή τórνευσης με κυμάτωση και

β) Συνάρτηση κατανομής κατά Fisher-Pearson και αντίστοιχο ιστόγραμμα υψόμετρων σημείων κατατομής τórνευμένης επιφάνειας με κυμάτωση $w=10 \mu m$ και κατωφλίου φθοράς $\Delta W=0 \mu m$.

Αναλυτικός τύπος συνάρτησης κατανομής (10, 0):

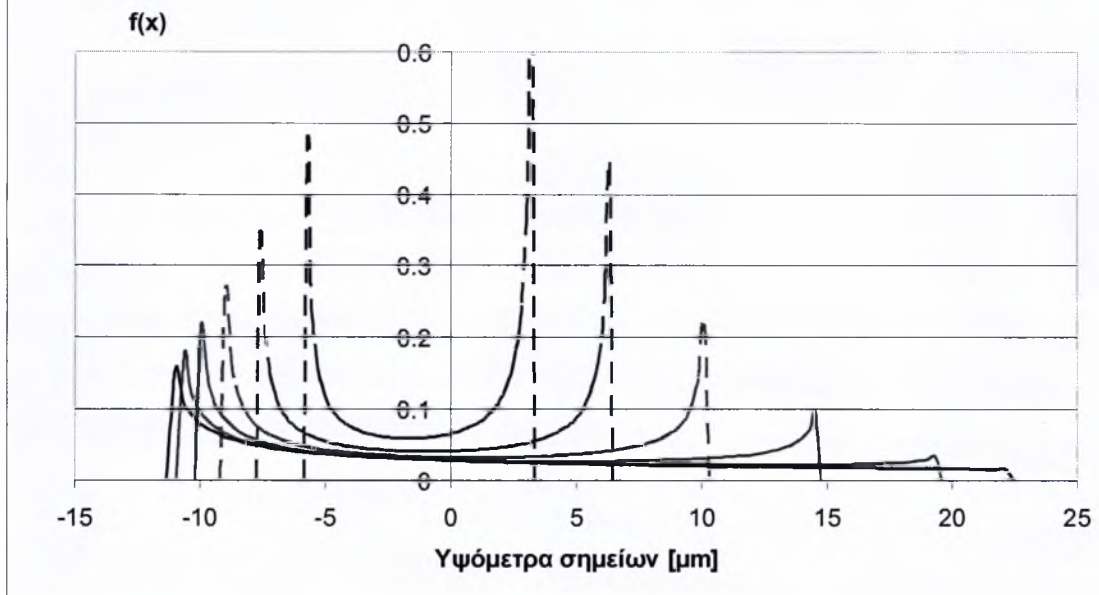
$$f(x)=f_0 (x+20.27174)^{0.124931-1} (3.04617-x)^{0.831395-1}$$

Στην συνέχεια δίνονται διαγράμματα συγκεντρωτικού χαρακτήρα που εμφανίζουν την μεταβολή της μορφής των καμπύλων Fisher-Pearson για κάθε τιμή της κυμάτωσης w . Τα διαγράμματα αυτά εμφανίζουν και τις τρεις μορφές των φραγμένων καμπυλών σύμφωνα με το σύστημα Fisher-Pearson, δηλαδή τύπου κώδονα (Λ), τύπου J ή L καθώς και τύπου U.

Υπόμνημα:

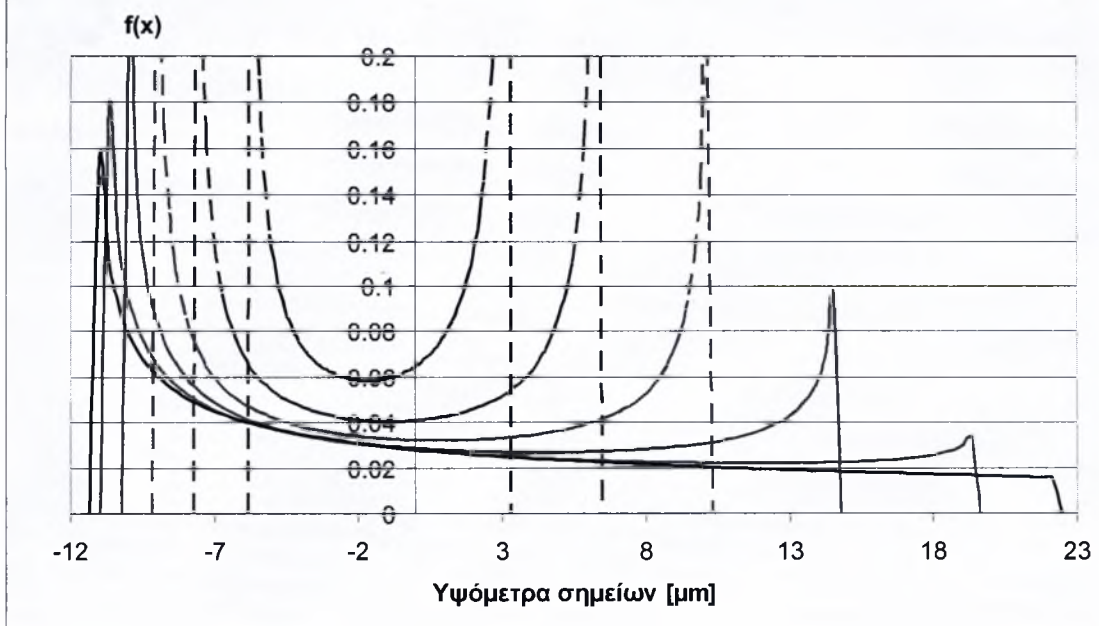
- $\Delta W = 30 \mu\text{m}$ – μαύρο διακεκομμένο
- $\Delta W = 25 \mu\text{m}$ – μπλε διακεκομμένο
- $\Delta W = 20 \mu\text{m}$ – κόκκινο διακεκομμένο
- $\Delta W = 15 \mu\text{m}$ – πράσινο
- $\Delta W = 10 \mu\text{m}$ – κόκκινο
- $\Delta W = 5 \mu\text{m}$ – μπλε
- $\Delta W = 0 \mu\text{m}$ – μαύρο

**Συγκρητικό Διάγραμμα κατανομών υψομέτρων
σημείων κατατομής για $w=0 \mu\text{m}$ και για $\Delta W=30, 25, 20,$
 $15, 10, 5, 0 \mu\text{m}$**



(α)

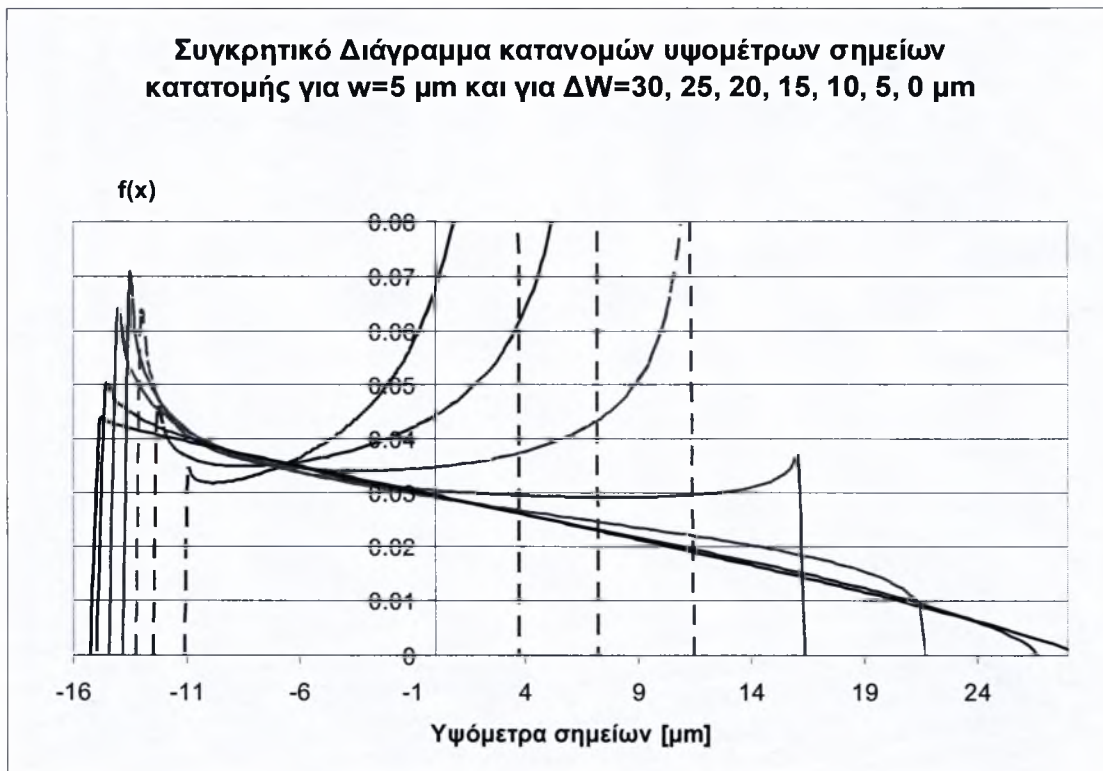
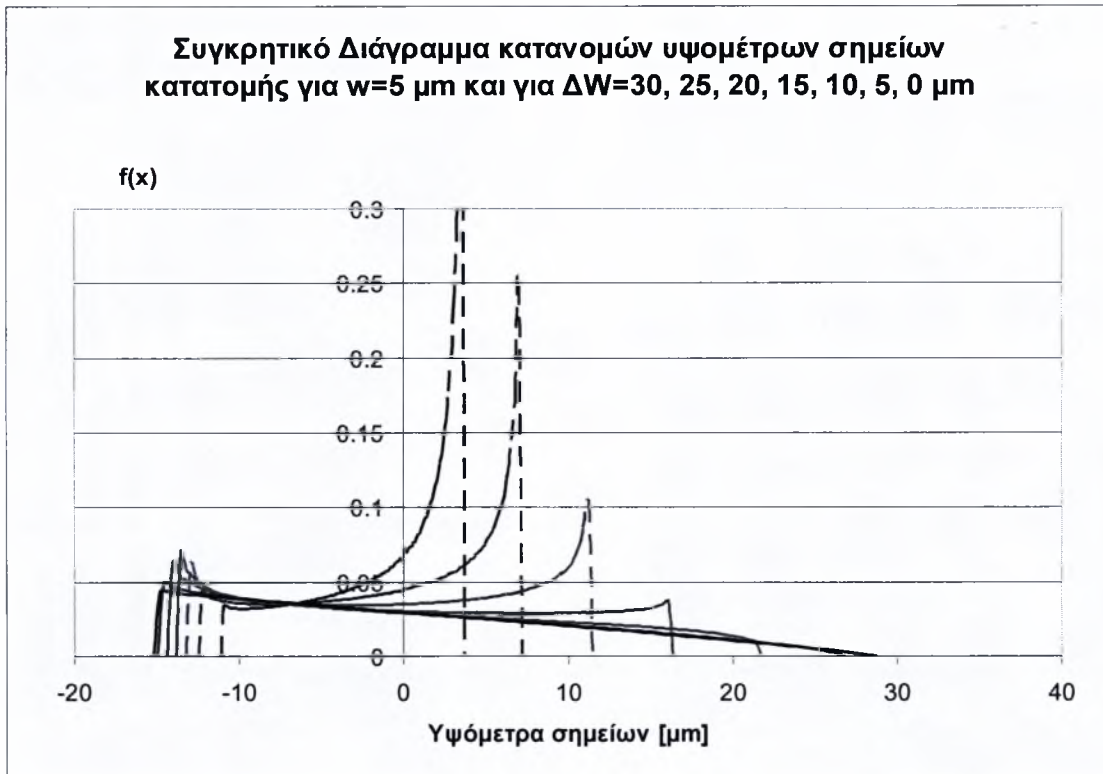
**Συγκρητικό Διάγραμμα κατανομών υψομέτρων
σημείων κατατομής για $w=0 \mu\text{m}$ και για $\Delta W=30, 25, 20,$
 $15, 10, 5, 0 \mu\text{m}$**



(β)

Σχήμα 3.37:

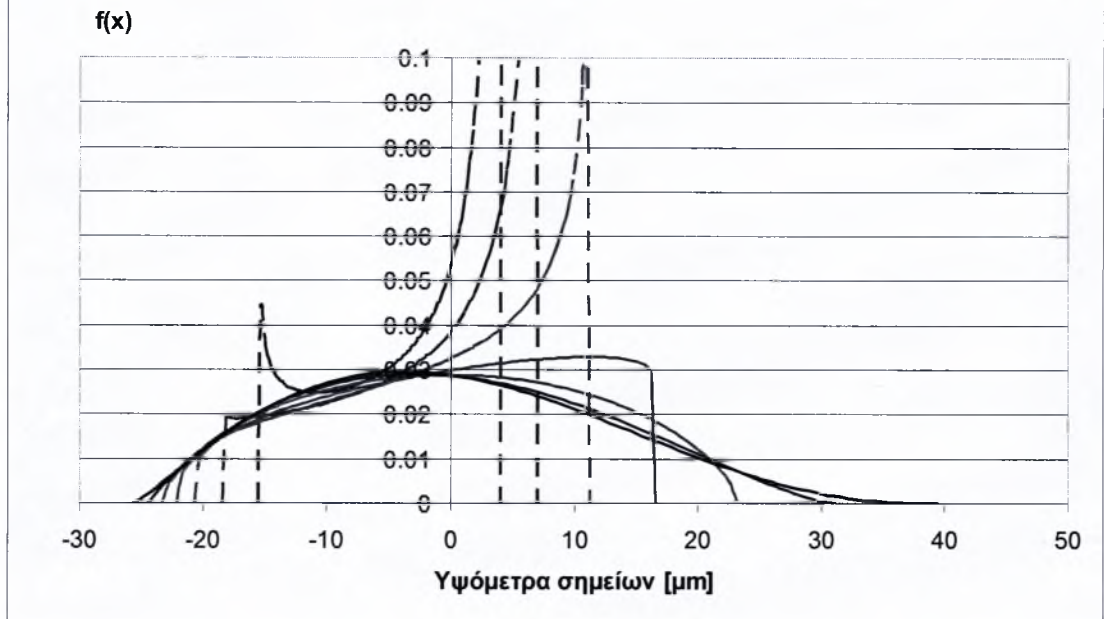
(α) Διάγραμμα καμπυλών κατανομών για $w=0$ και για ΔW από 0 μέχρι 30 και
(β) λεπτομερέστατη απεικόνιση.



Σχήμα 3.38:

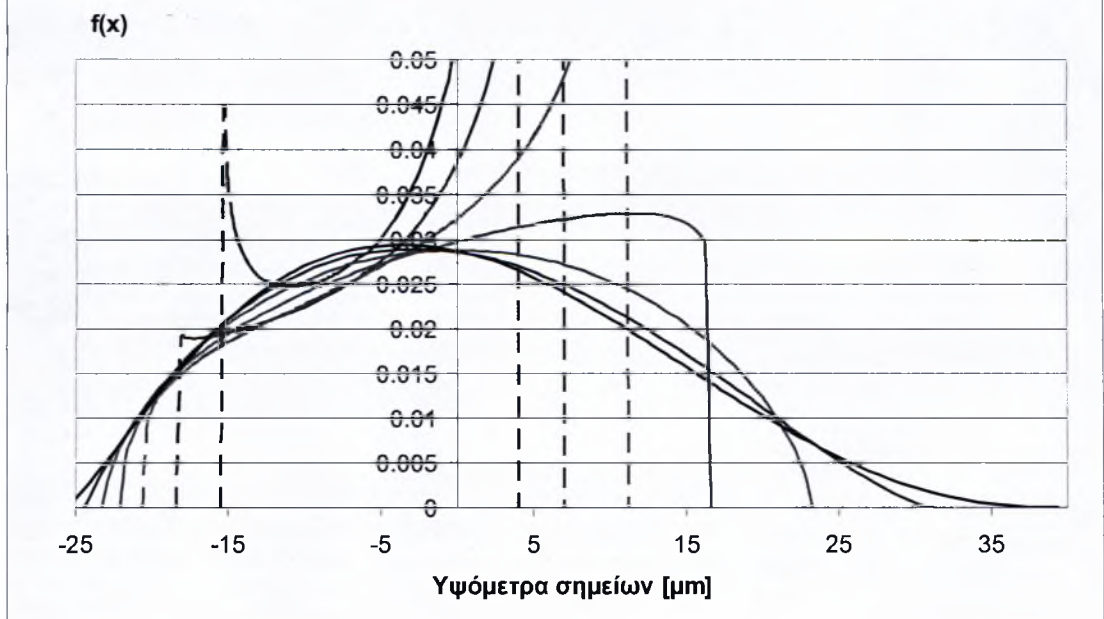
(α) Διάγραμμα καμπυλών κατανομών για $w=5$ και για ΔW από 0 μέχρι 30 και
(β) λεπτομερέστατη απεικόνιση.

Συγκρητικό Διάγραμμα κατανομών υψομέτρων σημείων
κατατομής για $w=10 \mu\text{m}$ και για $\Delta W=30, 25, 20, 15, 10, 5, 0$
 μm



(α)

Συγκρητικό Διάγραμμα κατανομών υψομέτρων σημείων
κατατομής για $w=10 \mu\text{m}$ και για $\Delta W=30, 25, 20, 15, 10, 5, 0$
 μm



(β)

Σχήμα 3.39:

(α) Διάγραμμα καμπυλών κατανομών για $w=10$ και για ΔW από 0 μέχρι 30 και
(β) λεπτομερέστατη απεικόνιση.

Ακολουθούν διαγράμματα μεταβολής των βασικών παραμέτρων της φραγμένης συνάρτησης Fisher-Pearson (k , q_1 , q_2 , α_1 , α_2 κτλ.).

Υπόμνημα:

$w= 10 \mu\text{m}$ – μαύρο διακεκομμένο

$w= 9 \mu\text{m}$ – μπλε διακεκομμένο

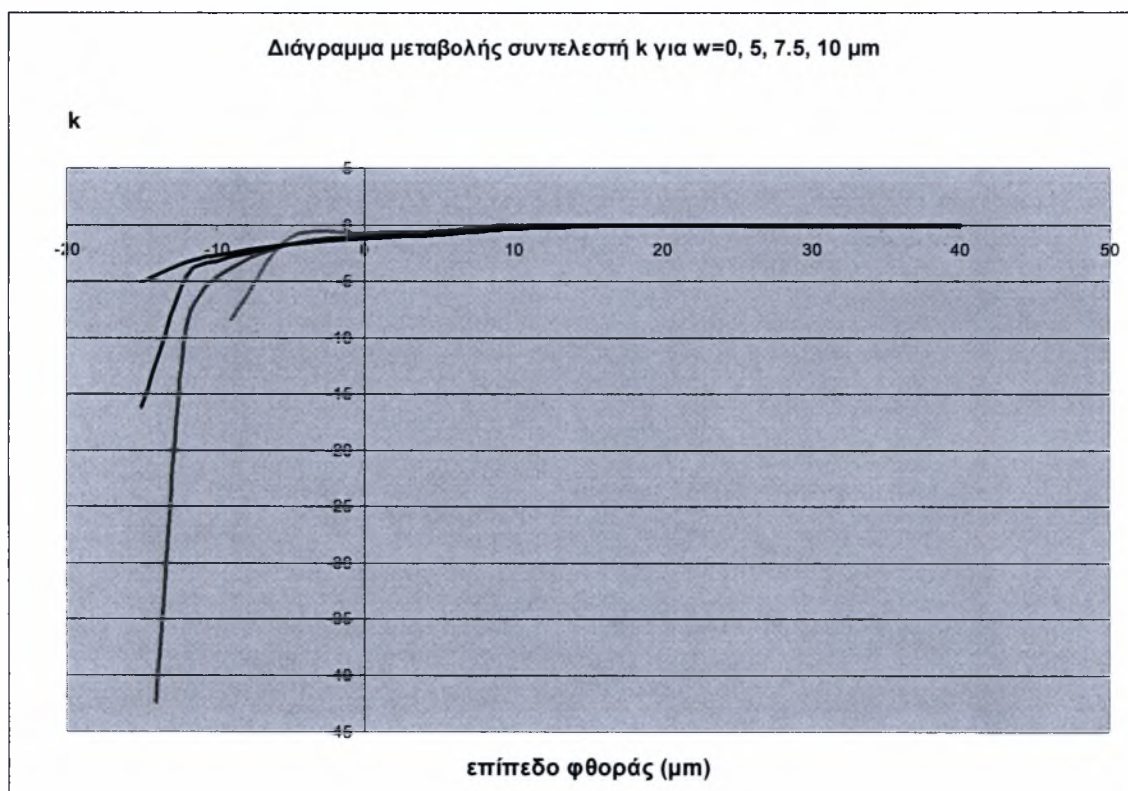
$w= 7.5 \mu\text{m}$ – κόκκινο διακεκομμένο

$w= 6 \mu\text{m}$ – πράσινο

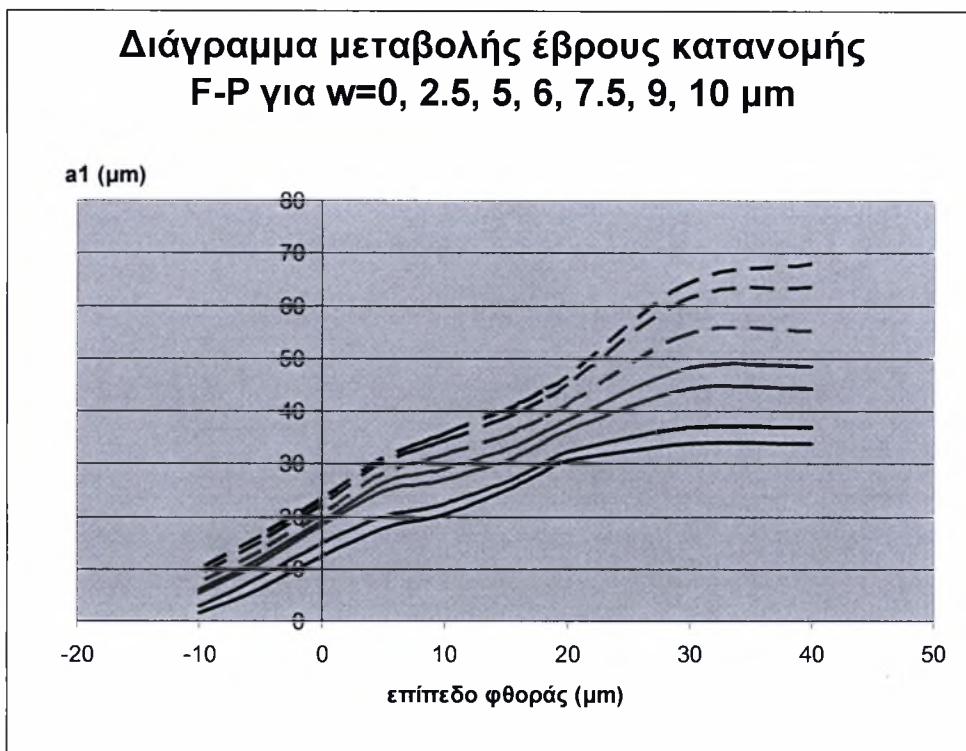
$w= 5 \mu\text{m}$ – κόκκινο

$w= 2.5 \mu\text{m}$ – μπλε

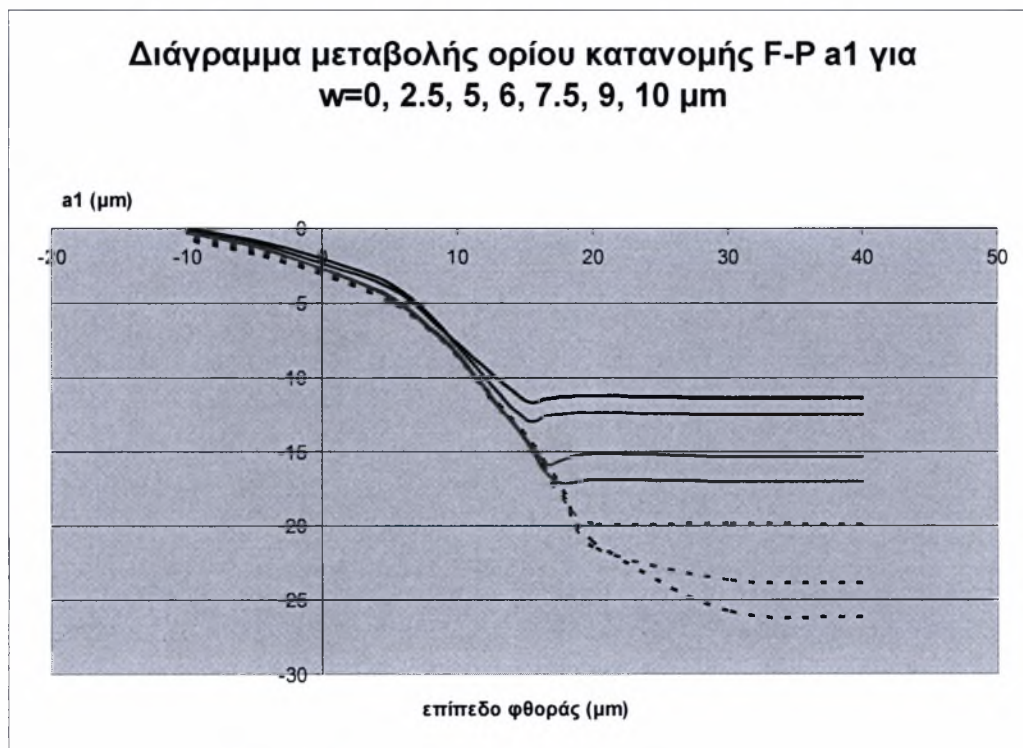
$w= 0 \mu\text{m}$ – μαύρο



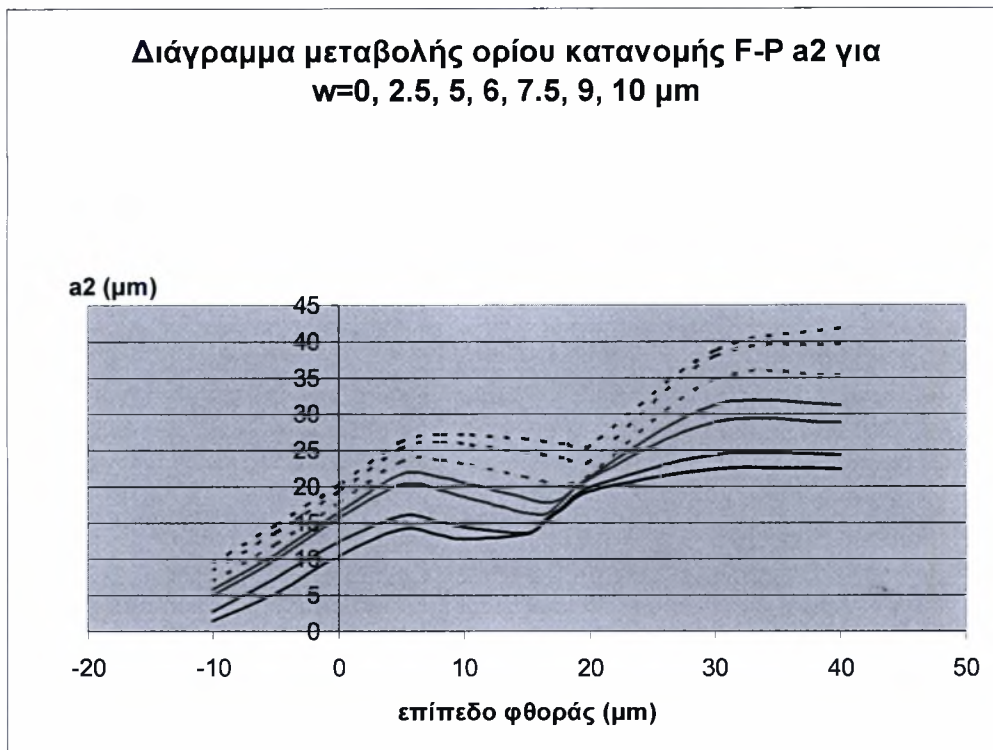
Σχήμα 3.40: Διάγραμμα μεταβολής k με κυμάτωση $w=0, 5, 7.5, 10 \mu\text{m}$.



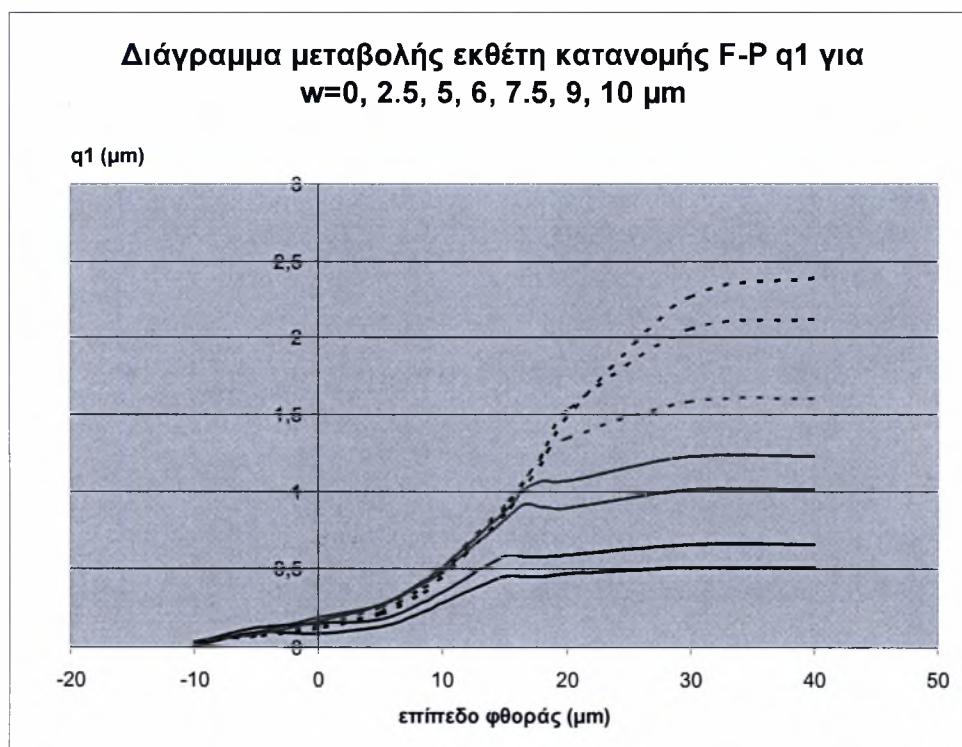
Σχήμα 3.41: Διάγραμμα μεταβολής έβρους κατανομής κατά Fisher-Pearson με κυμάτωση $w=0, 2.5, 5, 6, 7.5, 9, 10 \mu\text{m}$.



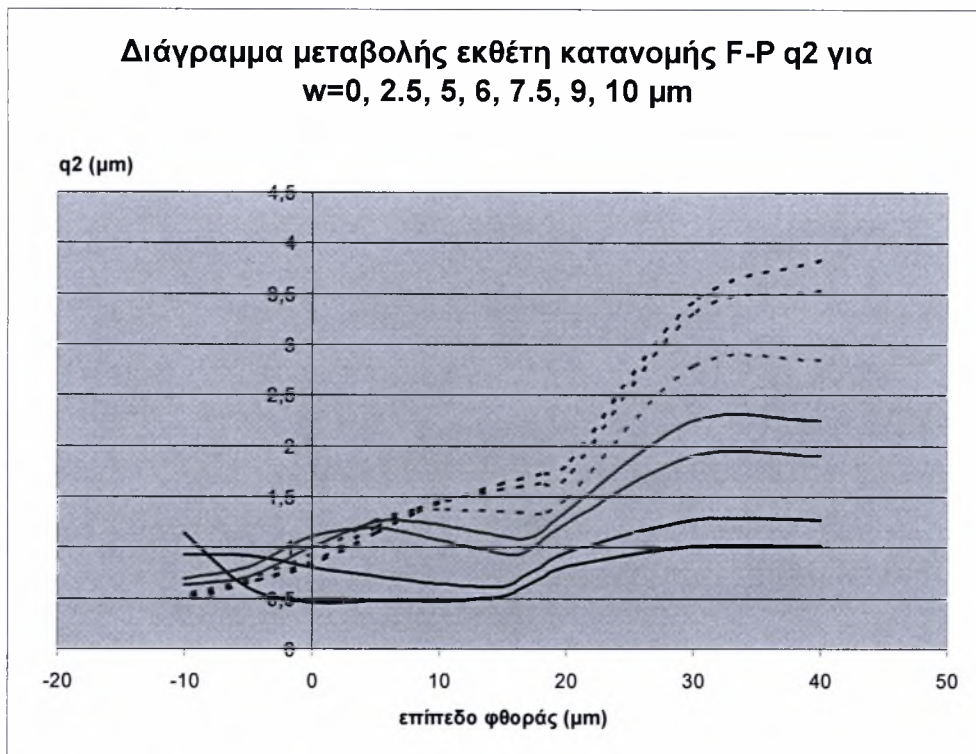
Σχήμα 3.42: Διάγραμμα μεταβολής ορίου κατανομής κατά Fisher-Pearson a_1 με κυμάτωση $w=0, 2.5, 5, 6, 7.5, 9, 10 \mu\text{m}$.



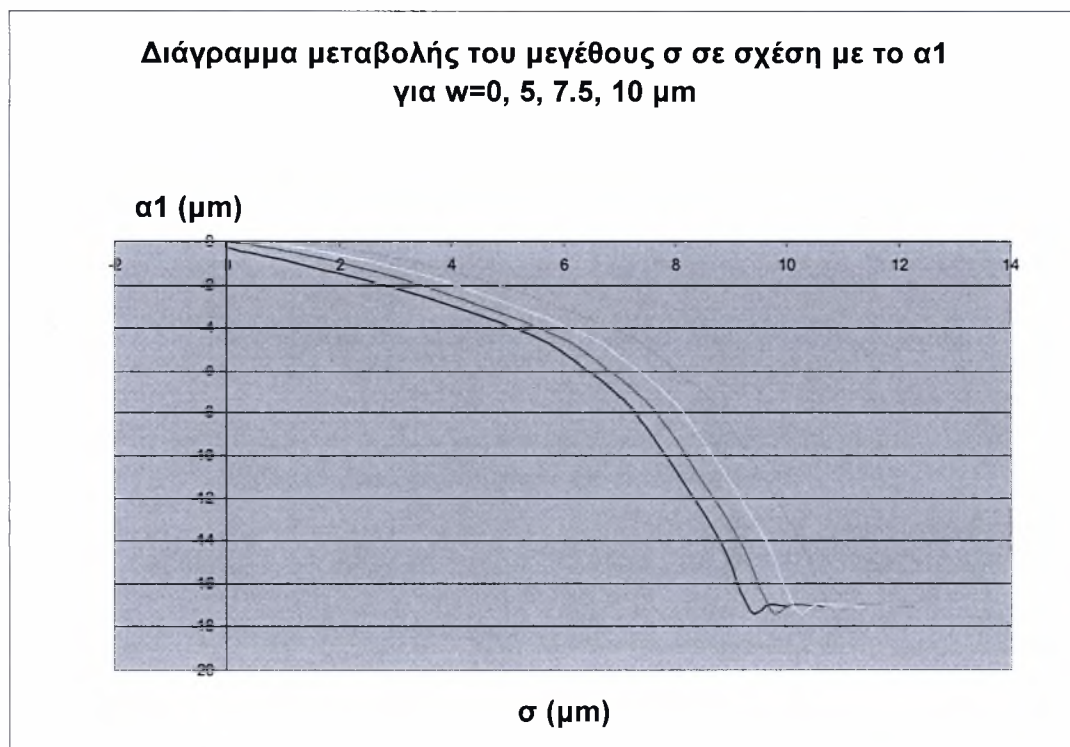
Σχήμα 3.43: Διάγραμμα μεταβολής ορίου κατανομής κατά Fisher-Pearson a_2 με κυμάτωση $w=0, 2.5, 5, 6, 7.5, 9, 10 \mu\text{m}$.



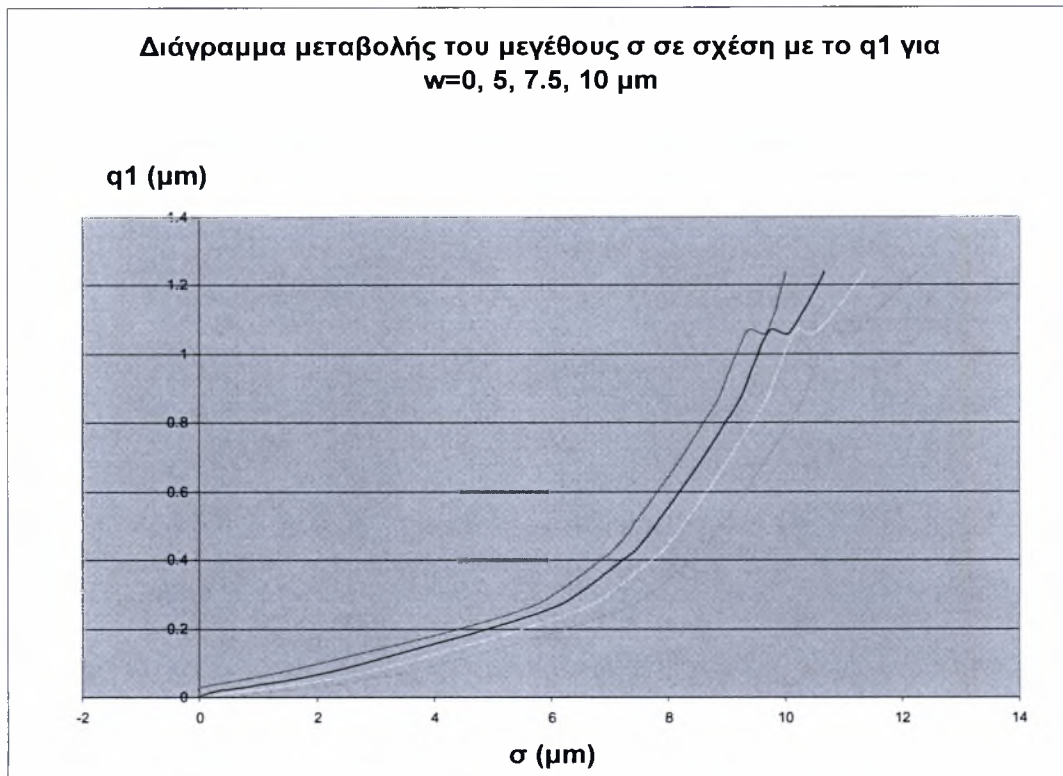
Σχήμα 3.44: Διάγραμμα μεταβολής εκθέτη κατανομής κατά Fisher-Pearson q_1 με κυμάτωση $w=0, 2.5, 5, 6, 7.5, 9, 10 \mu\text{m}$.



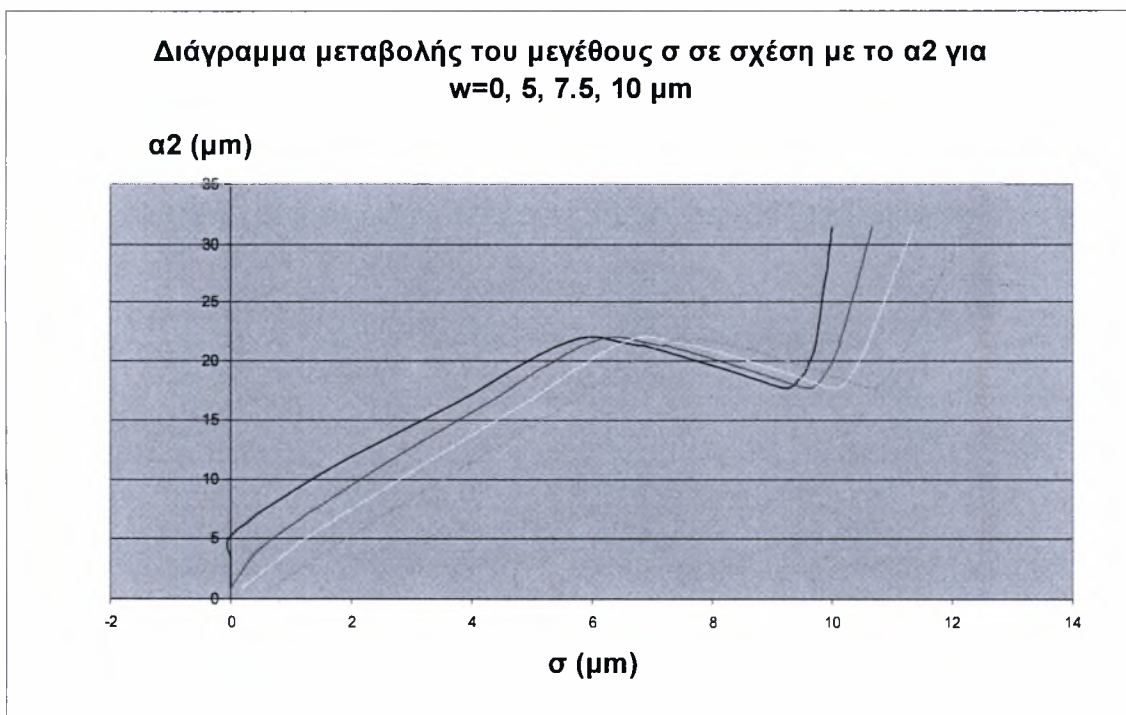
Σχήμα 3.45: Διάγραμμα μεταβολής εκθέτη κατανομής κατά Fisher-Pearson q_2 με κυμάτωση $w=0, 2.5, 5, 6, 7.5, 9, 10 \mu\text{m}$.



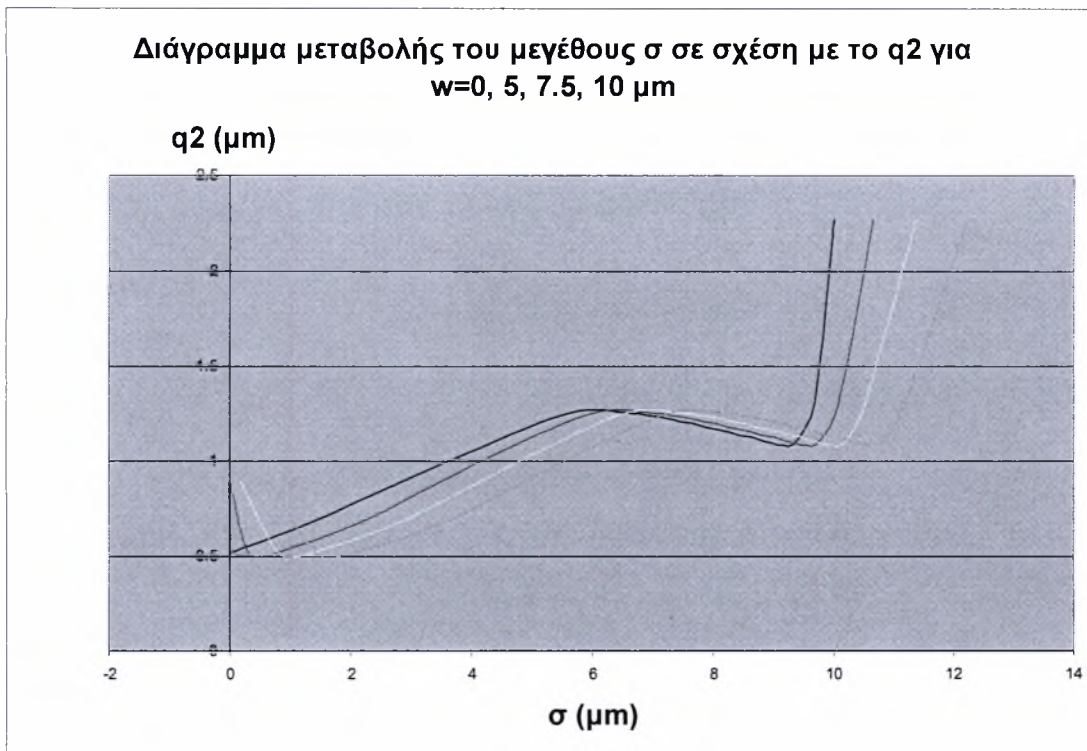
Σχήμα 3.46: Διάγραμμα μεταβολής ορίου κατανομής κατά Fisher-Pearson α_1 με κυμάτωση $w=0, 5, 7.5, 10 \mu\text{m}$ συναρτήσει της τυπικής απόκλισης σ της κατανομής.



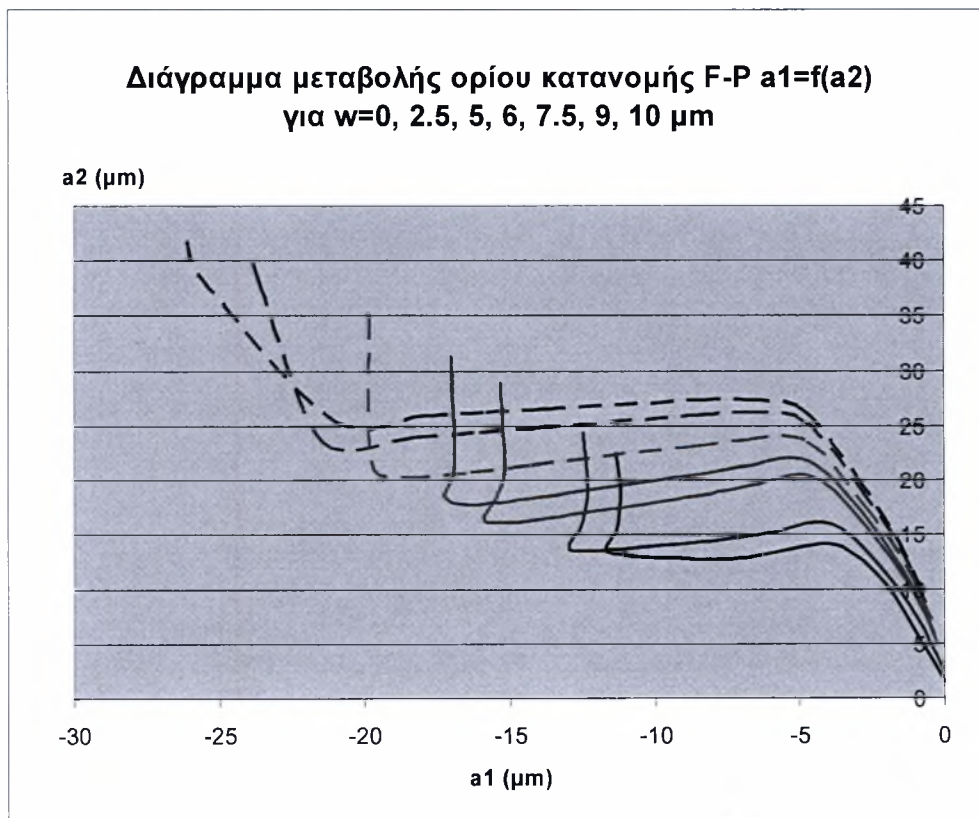
Σχήμα 3.47: Διάγραμμα μεταβολής εκθέτη κατανομής κατά Fisher-Pearson q_1 με κυμάτωση $w=0, 5, 7.5, 10 \mu\text{m}$ συναρτήσει της τυπικής απόκλισης σ της κατανομής.



Σχήμα 3.48: Διάγραμμα μεταβολής ορίου κατανομής κατά Fisher-Pearson α_2 με κυμάτωση $w=0, 5, 7.5, 10 \mu\text{m}$ συναρτήσει της τυπικής απόκλισης σ της κατανομής.

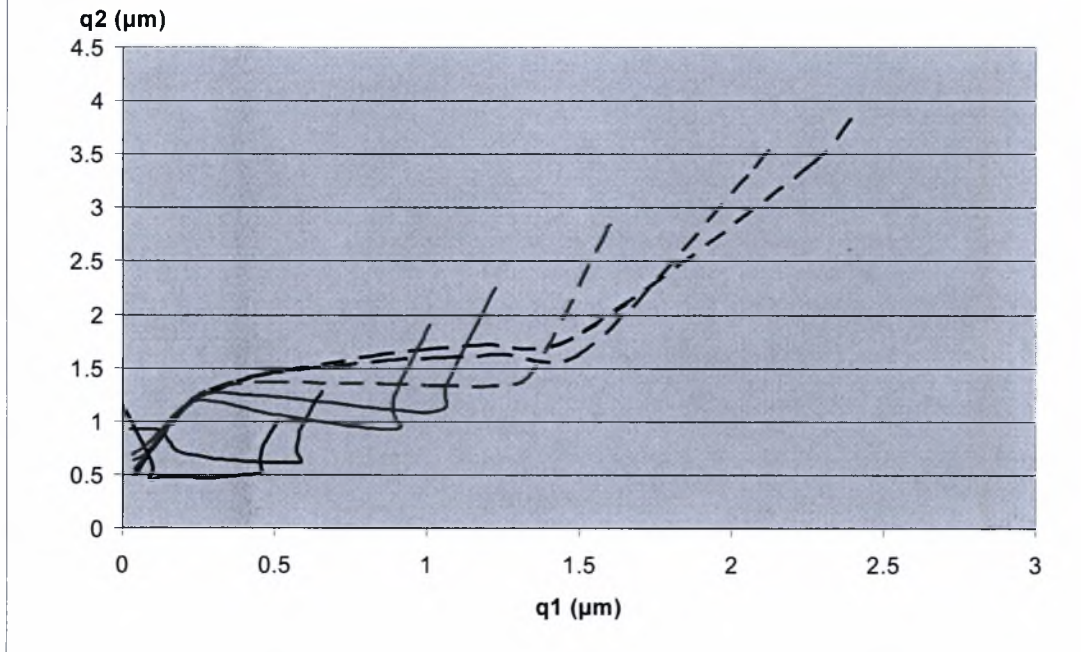


Σχήμα 3.49: Διάγραμμα μεταβολής εκθέτη κατανομής κατά Fisher-Pearson q_2 με κυμάτωση $w=0, 5, 7.5, 10 \mu\text{m}$ συναρτήσει της τυπικής απόκλισης σ της κατανομής.



Σχήμα 3.50: Διάγραμμα μεταβολής ορίου κατανομής κατά Fisher-Pearson $a_1=f(a_2)$ με κυμάτωση $w=0, 2.5, 5, 6, 7.5, 9, 10 \mu\text{m}$.

**Διάγραμμα μεταβολής εκθετών κατανομής
F-P $q_1=f(q_2)$ για $w=0, 2.5, 5, 6, 7.5, 9, 10 \mu\text{m}$**



Σχήμα 3.51: Διάγραμμα μεταβολής εκθετών κατανομής κατά Fisher-Pearson $q_1=f(q_2)$ με κυμάτωση $w=0, 2.5, 5, 6, 7.5, 9, 10 \mu\text{m}$.

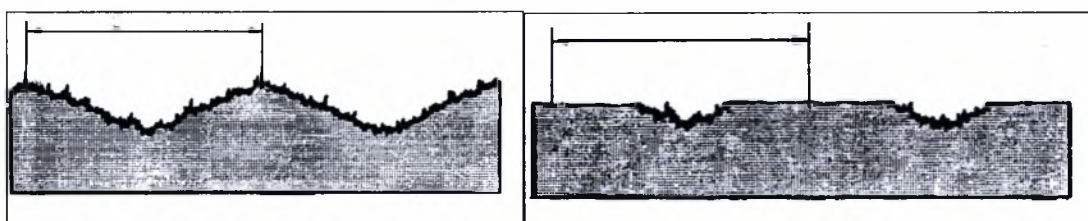
3.5. Εφαρμογή

Διαδικασία εκτίμησης παραμέτρων κατεργασίας και σταδίου φθοράς φθαρμένων τεμαχίων που προέρχεται από κανονική διαμήκη τórνευση.

Στην διαδικασία που παρουσιάζεται η οποία έχει ήδη εισαχθεί κατά την εκπόνηση προηγούμενης διπλωματικής εργασίας, έχουν ληφθεί όπως άλλωστε αυτό είχε κριθεί απαραίτητο σειρά πολυωνύμων προσέγγισης 6^η τάξεως. Κατά την ανάπλαση και επανάχρηση των καμπυλών για μεγαλύτερη ακρίβεια έγινε χρήση αυξημένων αριθμών δεκαδικών ψηφίων για τους συντελεστές των πολυωνύμων. Έτσι θεωρούμε ότι τα διαγράμματα-χάρτες των παραμέτρων που σχετίζονται με τις κατανομές Fisher-Pearson είναι ακριβή και εύχρηστα.

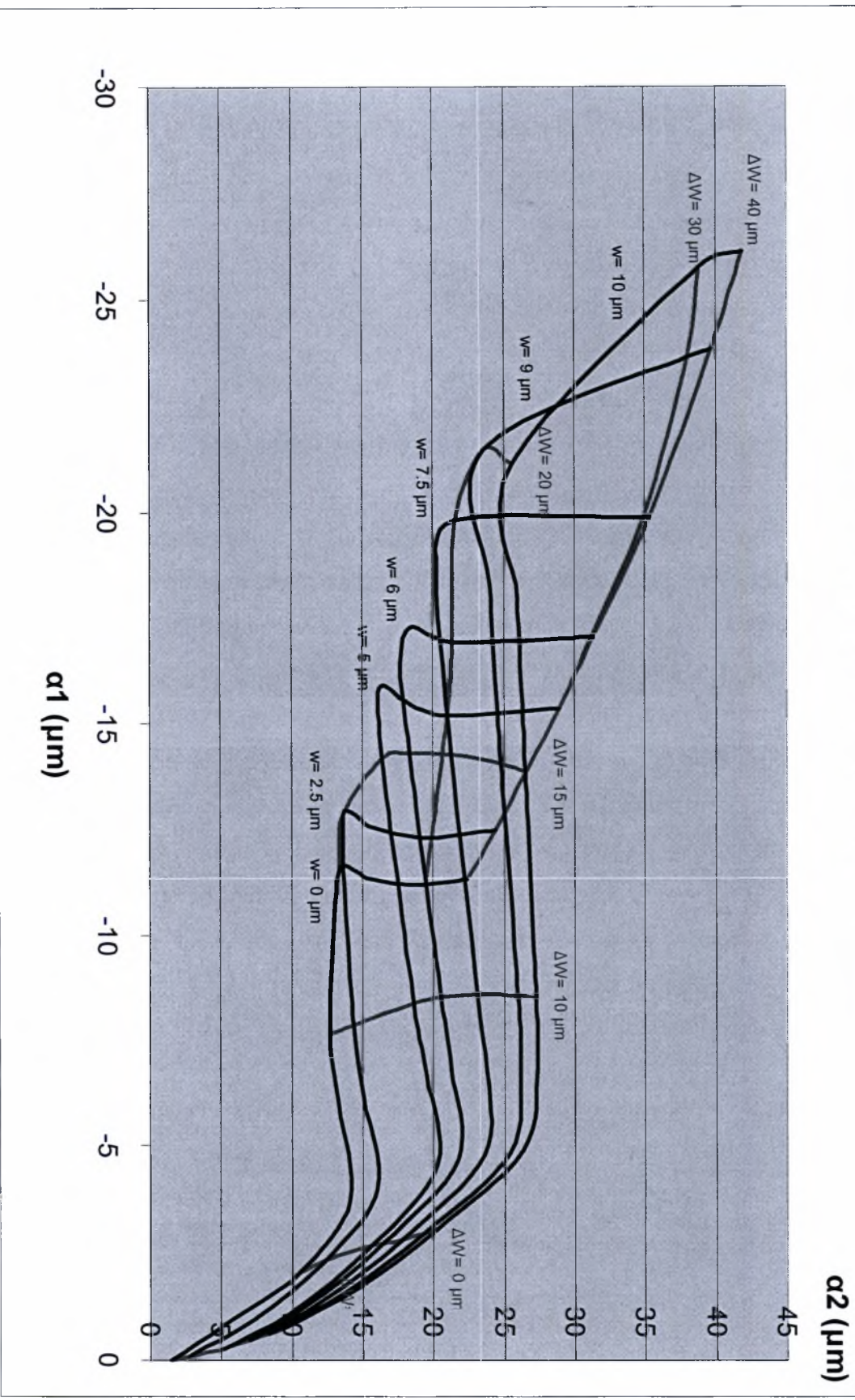
Παρατηρώντας την μορφή των διαγραμμάτων βλέπουμε ότι στα διαγράμματα που αφορούν στους εκθέτες, q_1 και q_2 , καθώς και στα όρια, a_1 και a_2 , της φραγμένης συνάρτησης Fisher-Pearson είναι δυνατόν αμέσως να προσδιοριστεί με βάση την τιμή των αντιστοιχών συντελεστών το πεδίο διακύμανσης της κυμάτωσης w καθώς και το επίπεδο φθοράς ΔW . Αυτή η διαδικασία αποτελεί ένα πρώτο βήμα όπως φαίνεται στα διαγράμματα που ακολουθούν. Για εν συνεχεία επέκτασης της μεθόδου στην μελέτη άλλων τεχνολογικών επιφανειών. Με κίτρινη γραμμή έχει καθοριστεί η τιμή αντίστοιχα των q_1 , q_2 και a_1 , a_2 που έχουν προέλθει από στατιστική ανάλυση μετρήσεις κατατομής με τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά αγνώστων λοιπόν στοιχείων (αρχικής κυμάτωσης και επιπέδου φθοράς). Η περιοχή του σημείου (q_1 , q_2) καθώς και (a_1 , a_2) περικλείεται από δυο καμπύλες ισοκυμάτωσης w_{\min} , w_{\max} καθώς και δύο καμπύλες ισοφθοράς ΔW_{\min} , ΔW_{\max} που καθορίζουν τελικά τα όρια των ζητούμενων χαρακτηριστικών της επιφάνειας υπό μελέτη.

Η διαδικασία αυτή καθίσταται προφανείς κατά την χρήση των διαγραμμάτων-χαρτών που ακολουθούν.



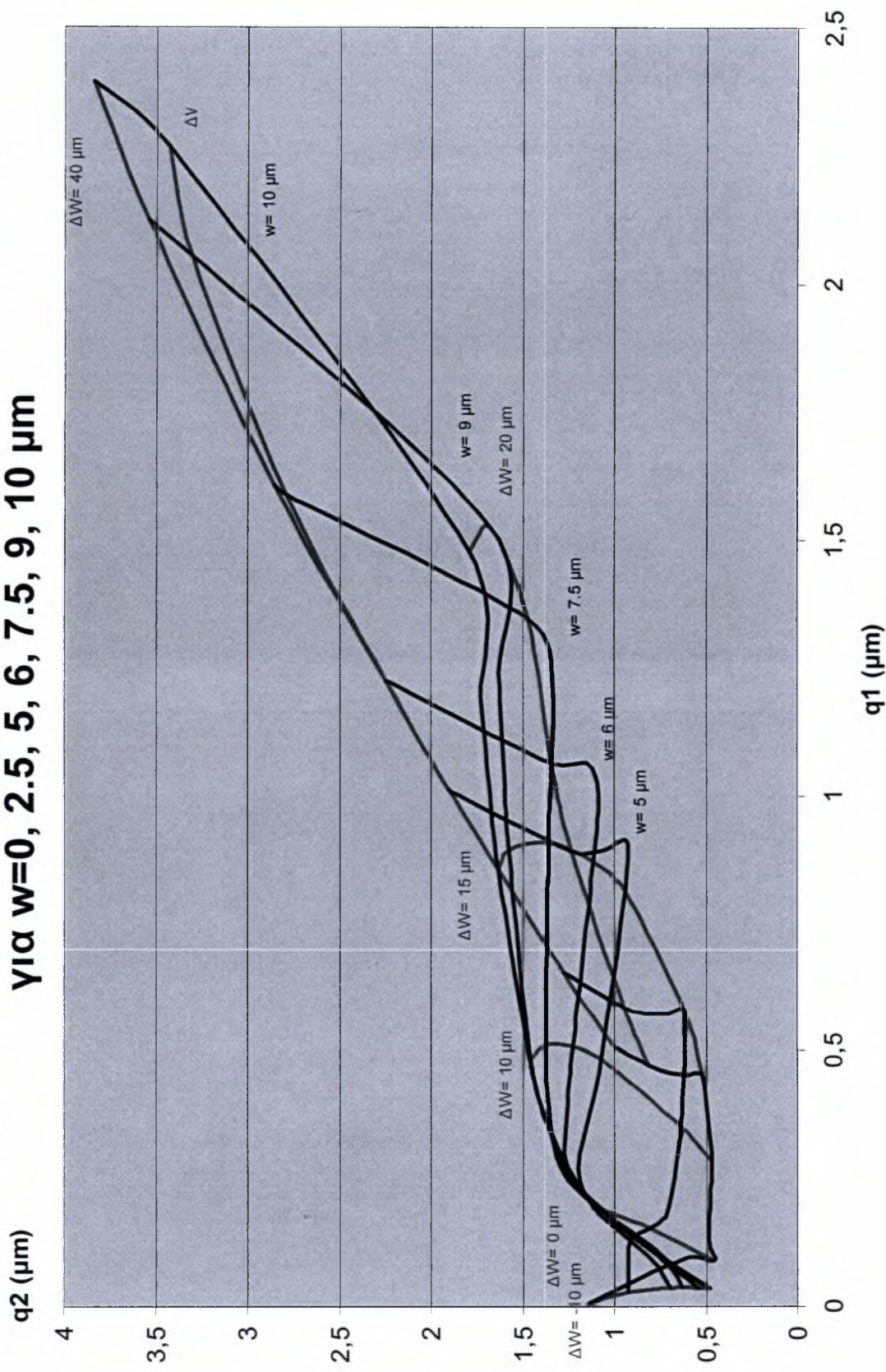
Σχήμα 3.52: Τομές μη φθαρμένης και φθαρμένης αντίστοιχα τεχνολογικής επιφάνειας που προέρχονται από διαμήκη τórνευση.

Διάγραμμα μεταβολής οπίου κατανομής F-P $\alpha_1=f(\alpha_2)$ για $w=0$, 2.5, 5, 6, 7.5, 9, 10 μm



Σχήμα 3.53 (α): Διάγραμμα μεταβολής οπίου κατανομής Fisher - Pearson $\alpha_1=f(\alpha_2)$ για $w=0, 2.5, 5, 6, 7.5, 9, 10 \mu\text{m}$.

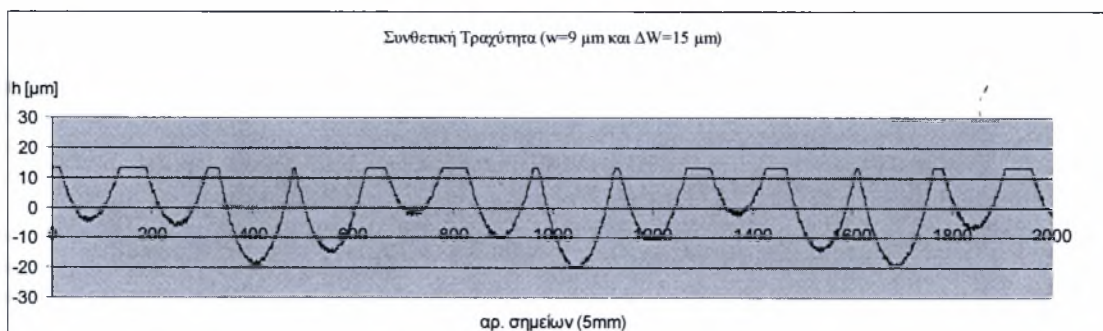
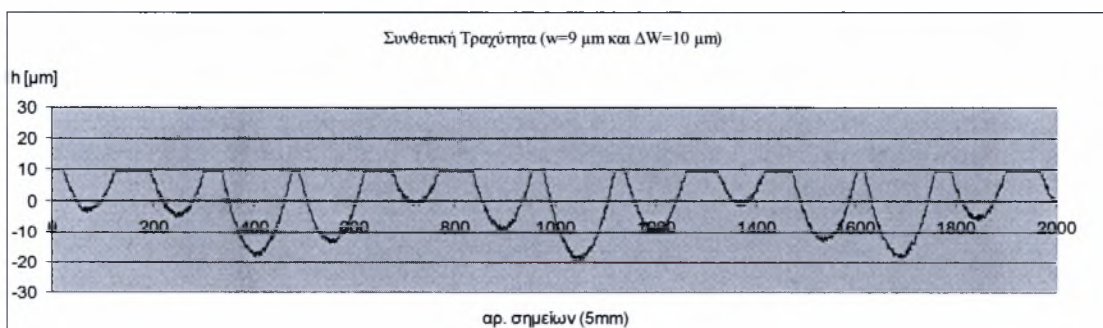
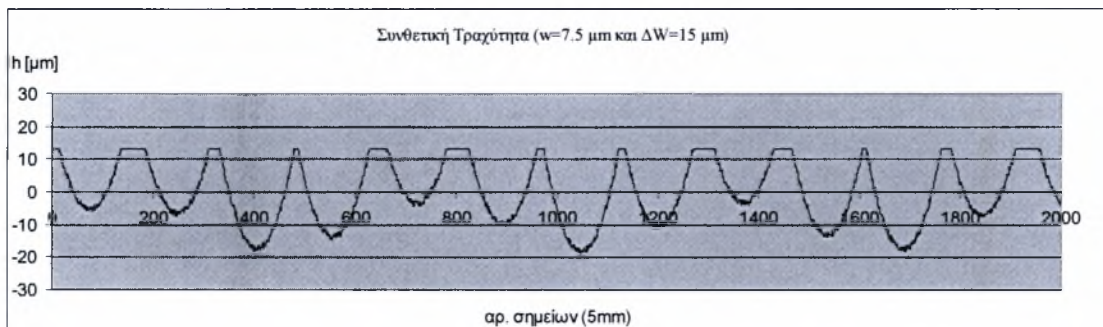
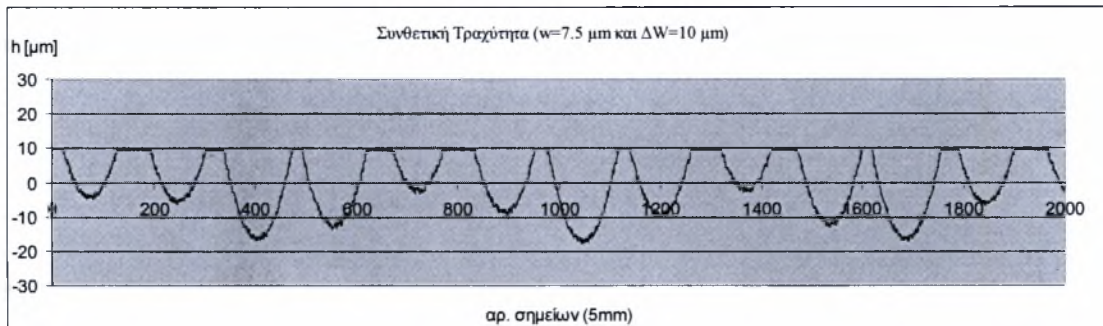
Διάγραμμα μεταβολής εκθετών κατανομής F-P $q_1=f(q_2)$ για $w=0, 2.5, 5, 6, 7.5, 9, 10 \mu\text{m}$

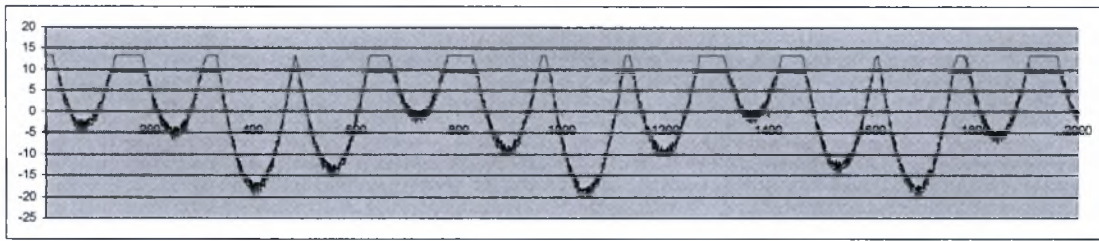


Σχήμα 3.53 (β): Διάγραμμα μεταβολής εκθετών κατανομής Fisher - Pearson $q_1=f(q_2)$ για $w=0, 2.5, 5, 6, 7.5, 9, 10 \mu\text{m}$.

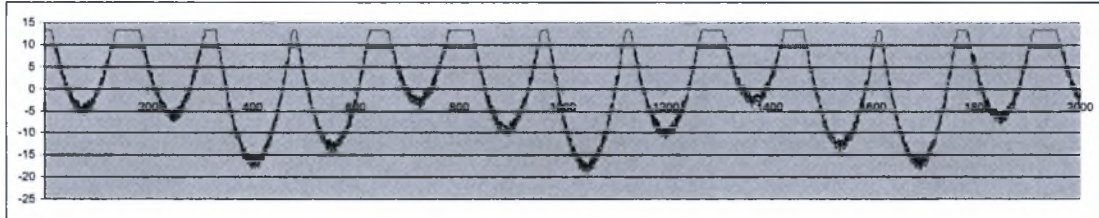
Στο πρώτο διάγραμμα (Σχήμα 3.53 (α)) βλέπουμε ότι για $\alpha_1 = -11 \mu\text{m}$ και $\alpha_2 = 23 \mu\text{m}$ ο σταυρός πέφτει ανάμεσα στο $w_{\min} = 7.5 \mu\text{m}$ και $w_{\max} = 9 \mu\text{m}$ και ανάμεσα στο $\Delta W_{\min} = 10 \mu\text{m}$ και $\Delta W_{\max} = 15 \mu\text{m}$.

Στο δεύτερο διάγραμμα (Σχήμα 3.53 (β)) βλέπουμε ότι για $q_1 = 0.7 \mu\text{m}$ και $q_2 = 1.4 \mu\text{m}$ ο σταυρός πέφτει ανάμεσα στο $w_{\min} = 7.5 \mu\text{m}$ και $w_{\max} = 9 \mu\text{m}$ και ανάμεσα στο $\Delta W_{\min} = 10 \mu\text{m}$ και $\Delta W_{\max} = 15 \mu\text{m}$.





Το κόκκινο είναι για κυμάτωση $w=9\ \mu\text{m}$ και για επίπεδο φθοράς $\Delta W=10\ \mu\text{m}$ και το μαύρο είναι για κυμάτωση $w=9\ \mu\text{m}$ και για επίπεδο φθοράς $\Delta W=15\ \mu\text{m}$.



Το κόκκινο είναι για κυμάτωση $w=7,5\ \mu\text{m}$ και για επίπεδο φθοράς $\Delta W=15\ \mu\text{m}$ και το μαύρο είναι για κυμάτωση $w=7,5\ \mu\text{m}$ και για επίπεδο φθοράς $\Delta W=10\ \mu\text{m}$.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

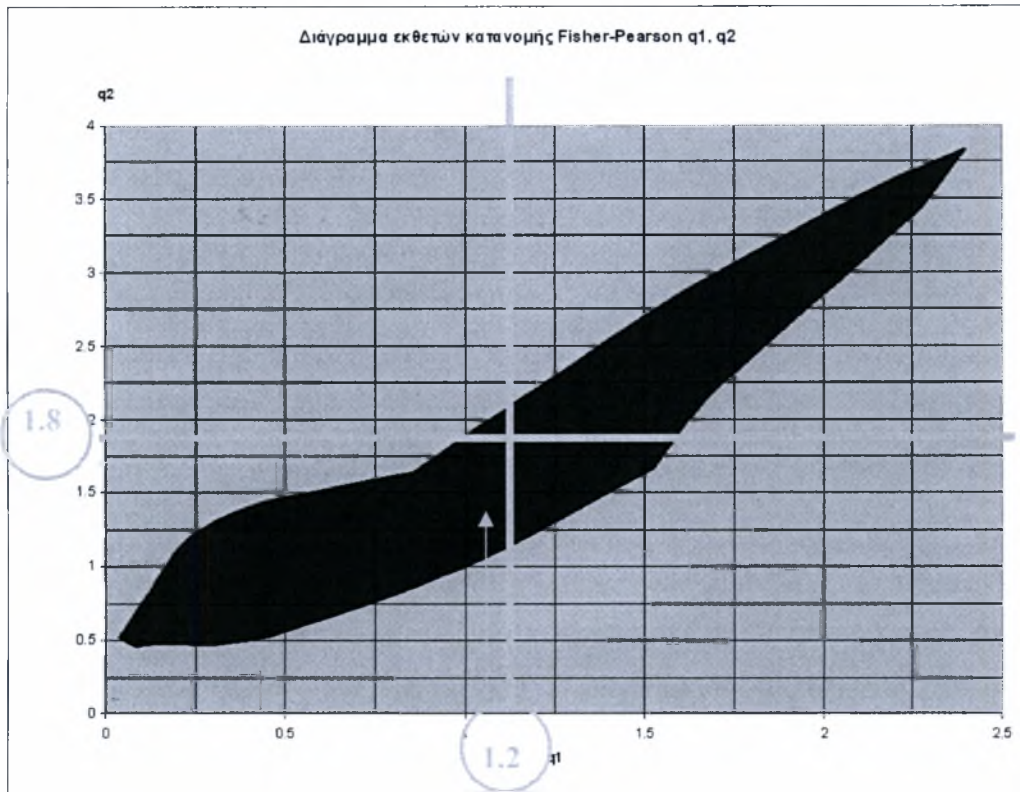


4.1. Συμπεράσματα

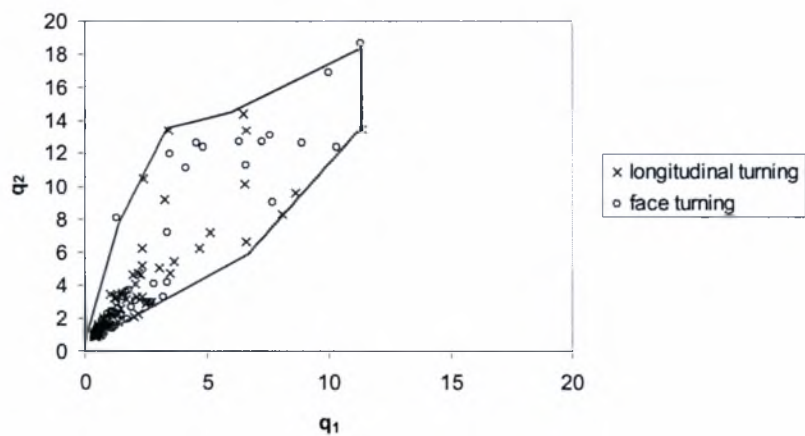
Από την παρούσα διπλωματική εργασία προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα με βάση τα οποία πιστεύουμε ότι η παρούσα μεθοδολογία που ακολουθήθηκε μπορεί να εφαρμοστεί και για άλλες τεχνολογικές επιφάνειες που προέρχονται από διαφορετικού τύπου κατεργασίες.

- 1) Η κατατομή που προέρχεται από κανονική τόννευση χαρακτηρίζεται από περιορισμένου έβρους κυμάτωση. Κατά κανόνα παρουσιάζει συγκεκριμένη μορφολογία η οποία περιγράφεται από το σύστημα Fisher-Pearson με φραγμένη άνω και κάτω συνάρτηση κατανομής υψομέτρων.
- 2) Η ύπαρξη κυμάτωσης περιορισμένου έβρους μέχρι 10 μm δεν αλλάζει την κατηγορία της καμπύλης κατανομής, δηλαδή αυτή παραμένει φραγμένη.
- 3) Από τις παραμέτρους οι οποίες χαρακτηρίζουν την κατανομή Fisher-Pearson δύο από αυτές α_1 , q_1 χαρακτηρίζουν κυρίως την περιοχή των κοιλάδων της κατατομής ενώ αντίστοιχα οι παράμετροι α_2 , q_2 χαρακτηρίζουν την περιοχή των λόφων και την περιοχή 'οροπεδίων' σε περιπτώσεις φθαρμένης επιφάνειας. Για κατανομές τύπου τόννευμένης επιφάνειας κάτω από κανονικές συνθήκες τα ζεύγη τιμών q_1 , q_2 ή α_1 , α_2 καθορίζουν μονοσήμαντα το ζεύγος τιμών w , ΔW .

4.2. Διαμήκης τórνευση

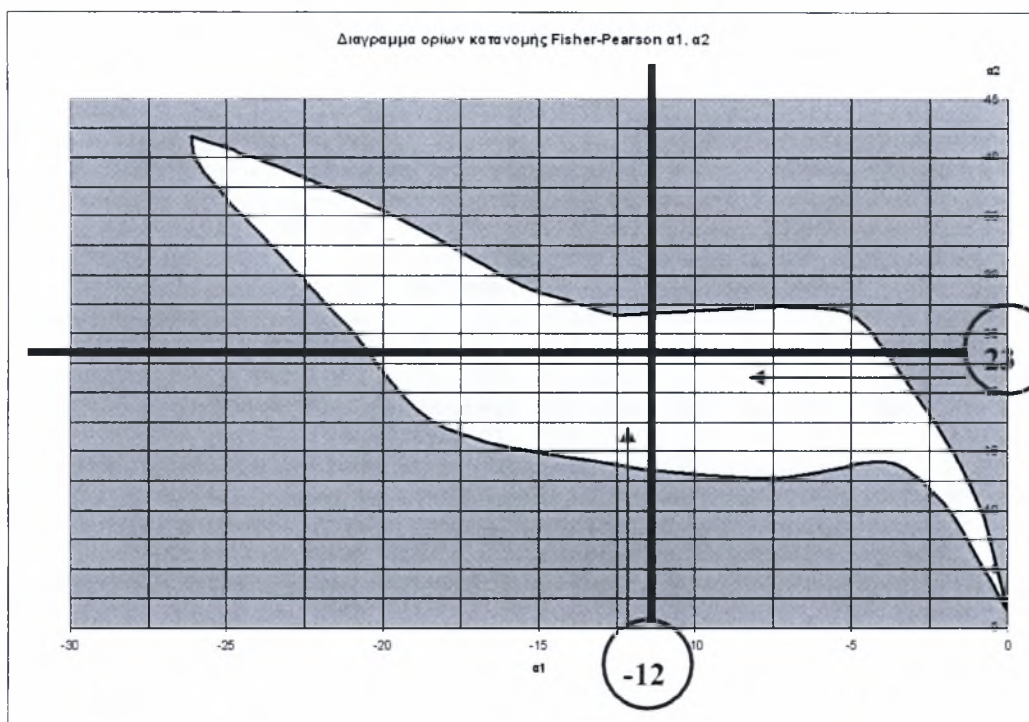


Σχήμα 4.1: Διάγραμμα πεδίου ορισμού εκθετών q_1 , q_2 της κατανομής Fisher-Pearson αντίστοιχα.



x: διαμήκης τórνευση
o: μετωπική τórνευση

Σχήμα 4.2: Διάγραμμα μεταβολής εκθετών κατανομής κατά Fisher-Pearson $q_1=f(q_2)$ από δεδομένα του εργαστηρίου κατεργασιών (Γ. Πετρόπουλος).



Σχήμα 4.3: Διάγραμμα πεδίου ορισμού άνω και κάτω ορίων, α_1 και α_2 , της κατανομής Fisher-Pearson αντίστοιχα.

Υπόμνημα:

$w = 10 \mu\text{m}$ – βιολετί

$w = 9 \mu\text{m}$ – σκούρο μπλε

$w = 7.5 \mu\text{m}$ – πορτοκαλί

$w = 6 \mu\text{m}$ – πράσινο

$w = 5 \mu\text{m}$ – κόκκινο

$w = 2.5 \mu\text{m}$ – μπλε

$w = 0 \mu\text{m}$ – μαύρο

$\Delta W = 40 \mu\text{m}$ – βιολετί διακεκομμένο

$\Delta W = 30 \mu\text{m}$ – σκούρο μπλε διακεκομμένο

$\Delta W = 20 \mu\text{m}$ – πορτοκαλί διακεκομμένο

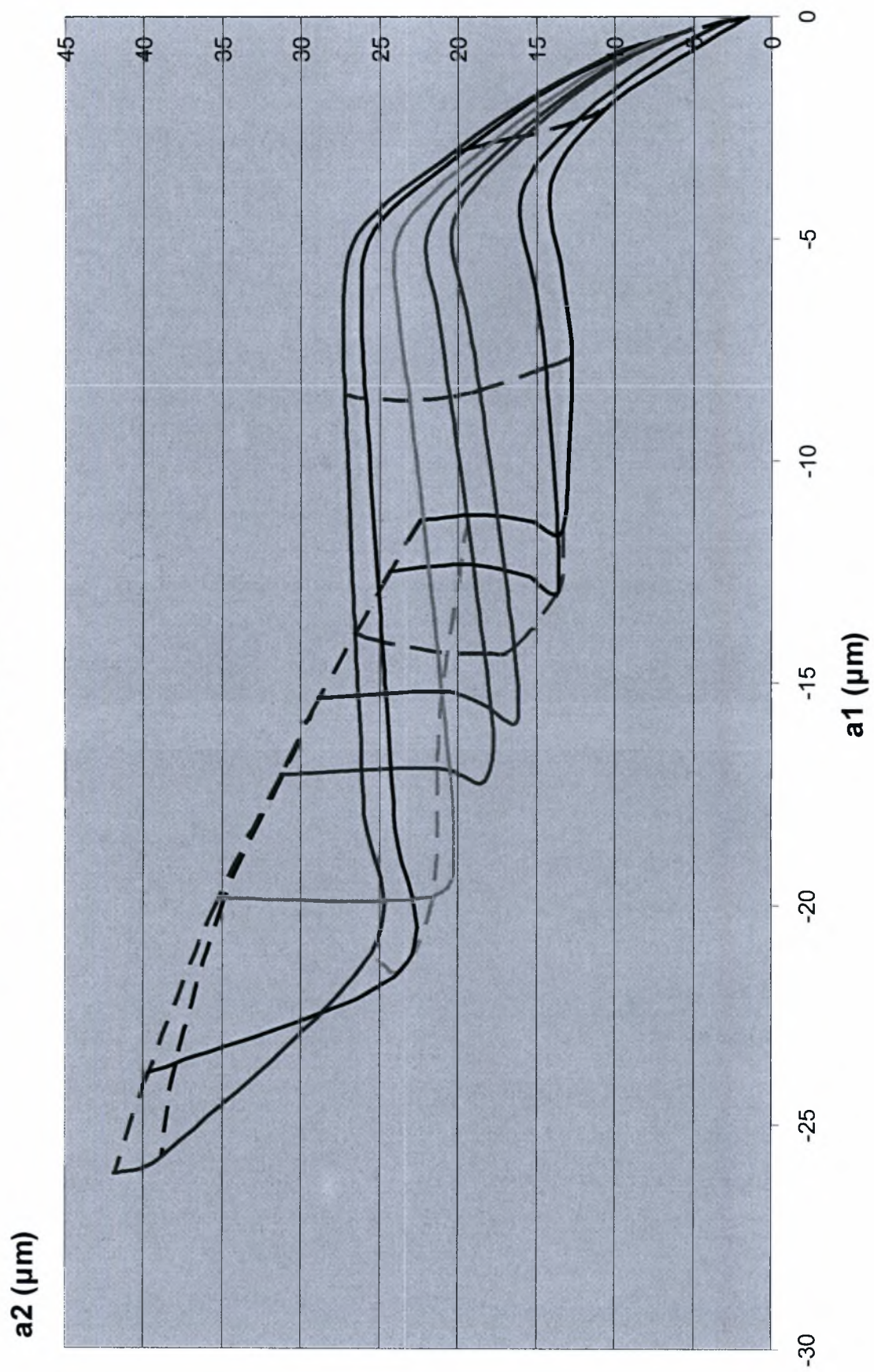
$\Delta W = 15 \mu\text{m}$ – πράσινο διακεκομμένο

$\Delta W = 10 \mu\text{m}$ – κόκκινο διακεκομμένο

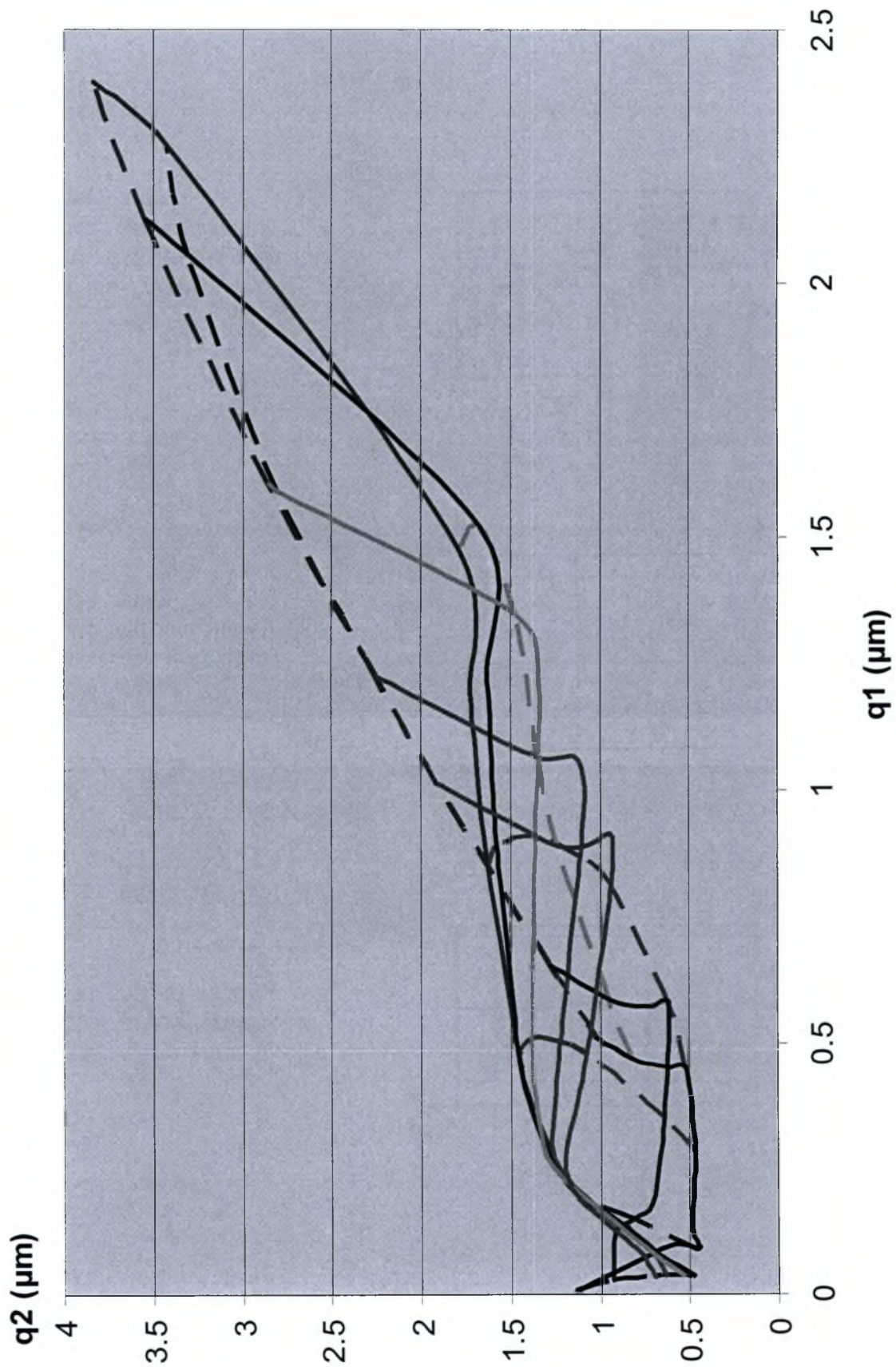
$\Delta W = 0 \mu\text{m}$ – μπλε διακεκομμένο

$\Delta W = -10 \mu\text{m}$ – μαύρο διακεκομμένο

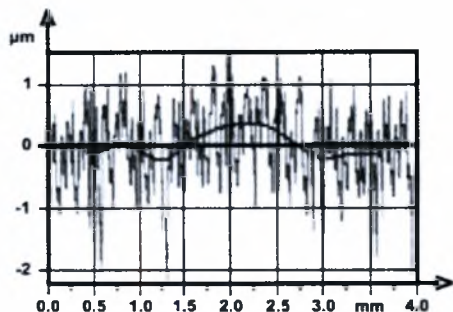
Διάγραμμα μεταβολής ορίου κατανομής F-P $a_1=f(a_2)$ για $w=0$, 2.5, 5, 6, 7.5, 9, 10 μm



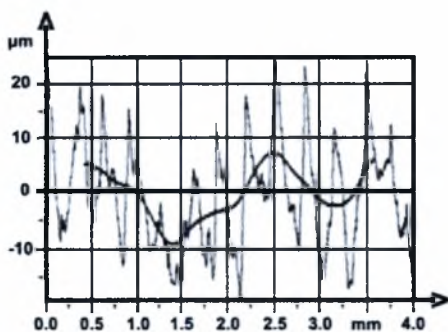
Διάγραμμα μεταβολής ορίου κατανομής F-P $q_1=f(q_2)$ για $w=0$, 2.5, 5, 6, 7.5, 9, 10 μm



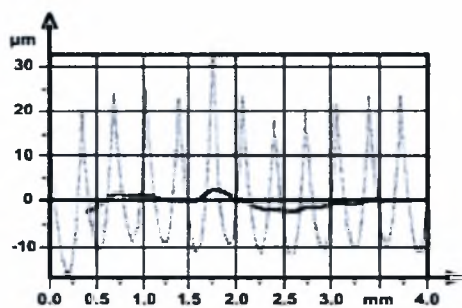
4.2. Προοπτικές



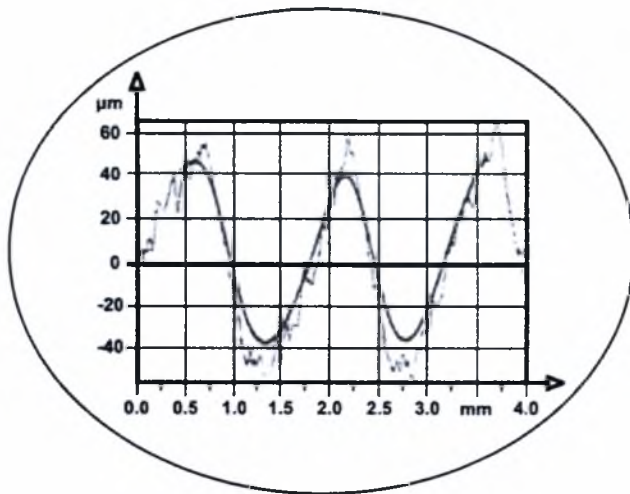
Σχήμα 4.4:
Χαρακτηριστικά περιγράμματα
τορνευμένης επιφάνειας με πολύ
χαμηλή πρόωση.



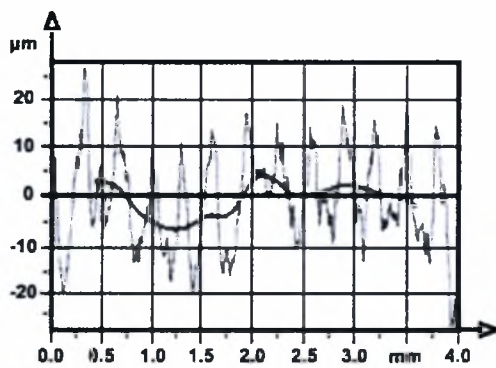
Σχήμα 4.5:
Χαρακτηριστικά περιγράμματα
τορνευμένης επιφάνειας παρουσία
ψευδόκοψης.



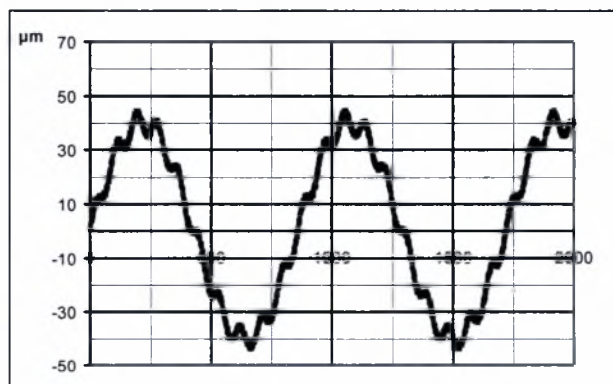
Σχήμα 4.6:
Χαρακτηριστικά περιγράμματα
τορνευμένης επιφάνειας με κανονική
παραγωγή αποβλίττου.



Σχήμα 4.7:
Χαρακτηριστικά περιγράμματα
τορνευμένης επιφάνειας υπό την
επίδραση ταλάντωσης του
συστήματος.



Σχήμα 4.8:
Χαρακτηριστικά περιγράμματα
τορνευμένης επιφάνειας με
ασυνεχές απόβλιττο.



Σχήμα 4.9: Συνθετική τραχύτητα για την μελέτη των αποτελεσμάτων της κατεργασίας που αναφέρεται στο Σχήμα 4.7.

Βλέποντας την επιτυχία της παρούσας διπλωματικής προτείνουμε να γίνει χρήση της ίδιας μεθόδου για αντίστοιχες κατατομές που προέρχονται από αντίστοιχες και διαφορετικές κατεργασίες, για την εξαγωγή ανάλογων αποτελεσμάτων.

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 Contact", 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-Segments-Chemises", Rapport 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 Three Dimensional Roughness on Partial Hydrodynamic Lubrication”, Transaction of the ASME, Vol. 100, January 1978.
- [13] Patir, N., and Cheng H.S., “Application of average Flow Model to Lubrication Between Rough Sliding Surfaces”, Transaction of the ASME, 220/Vol 101, April 1979.
- [14] Peklenik, J., “Properties and Metrology of surfaces” Oxford Inst. 4th, 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 l’ Exploitation des mesures “Tomes 1 et 2, Commissariat e l’ 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://www.bcmac.com/PDF_files/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

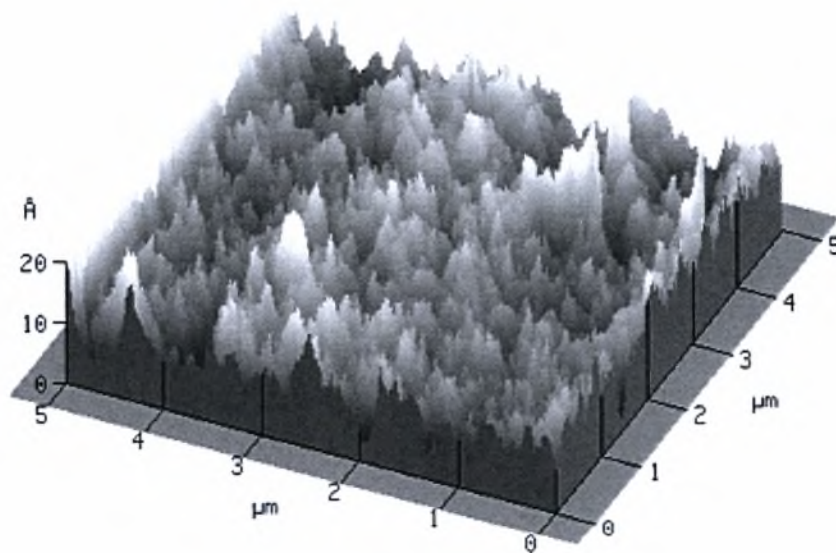
[30] Armarego E J A, Brown R H (1969) The Machining of Metals, Prentice-Hall, New Jersey

[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. 15
- [39] Whitehouse D J (1978) Beta functions for surface typologie?, *Annals of the CIRP*, 27, No.1., 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

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΙΝΑΚΕΣ - ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ



Στο παράρτημα αυτό δίνονται οι πίνακες τιμών των κατανομών του Fisher-Pearson με βάση του οποίους κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα.

ΔW	q_1	q_2	α_1	α_2	σ
40	0.51029	1.00955	-11.326	22.4069	10.0051
30	0.51029	1.00955	-11.326	22.4069	10.0051
20	0.47049	0.81378	-11.21	19.3888	9.69222
18	0.45575	0.69379	-11.248	17.1229	9.37937
16.5	0.45071	0.60467	-11.363	15.2446	9.09046
15	0.45034	0.52042	-11.559	13.3576	8.75225
10	0.28276	0.47024	-7.66	12.7389	7.34928
8	0.21039	0.47748	-5.8622	13.3042	6.6837
5	0.12769	0.4817	-3.7265	14.0582	5.59076
0	0.08774	0.45445	-2.0195	10.46	3.57436
-5	0.09432	0.60609	-0.8226	5.28626	1.47428
-10	0.00538	1.13755	-0.0071	1.5102	0

Πίνακας Π.1: Τιμές παραμέτρων κατανομών για κυμάτωση $w=0$ μm .

ΔW	q_1	q_2	α_1	α_2
40	0.65349	1.27436	-12.488	24.3522
30	0.65349	1.27436	-12.488	24.3522
20	0.58652	0.94651	-12.314	19.8728
18	0.57494	0.80707	-12.416	17.4294
16.5	0.57391	0.70562	-12.594	15.4843
15	0.58023	0.61236	-12.868	13.5808
10	0.34875	0.63783	-7.8677	14.3894
8	0.26883	0.66627	-6.0896	15.0927
5	0.17857	0.71234	-4.0057	15.9791
0	0.15141	0.80612	-2.335	12.4315
-5	0.11974	0.91799	-0.9593	7.35432
-10	0.02719	0.9249	-0.0801	2.7233

Πίνακας Π.2: Τιμές παραμέτρων κατανομών για κυμάτωση $w=2.5$ μm .

ΔW	q_1	q_2	α_1	α_2	σ
40	1.0116	1.90355	-15.344	28.8728	10.6615
30	1.0116	1.90355	-15.344	28.8728	10.6615
20	0.89071	1.233	-15.186	21.0223	10.0854
18	0.89345	1.05854	-15.476	18.3358	9.76021
16.5	0.91039	0.93256	-15.855	16.2406	9.45898
15	0.81345	0.93816	-14.189	16.3648	9.11788
10	0.48271	1.07008	-8.3813	18.5798	7.71561
8	0.38459	1.12899	-6.6337	19.4736	7.06059
5	0.26778	1.19284	-4.5493	20.265	6.00486
0	0.19027	1.11276	-2.6711	15.6218	4.12365
-5	0.08973	0.79956	-1.1125	9.91335	2.28516
-10	0.03453	0.68937	-0.2527	5.04555	0.7538

Πίνακας Π.3: Τιμές παραμέτρων κατανομών για κυμάτωση $w=5 \mu\text{m}$.

ΔW	q_1	q_2	α_1	α_2
40	1.22677	2.24746	-17.054	31.2428
30	1.22541	2.2429	-17.049	31.205
20	1.06386	1.34239	-16.915	21.3435
18	1.0662	1.14368	-17.275	18.5306
16.5	1.00416	1.08322	-16.416	17.7086
15	0.86996	1.11149	-14.313	18.2867
10	0.50748	1.22141	-8.5214	20.5094
8	0.39648	1.25035	-6.7491	21.2843
5	0.2687	1.25176	-4.6646	21.7308
0	0.16452	1.0007	-2.6937	16.3842
-5	0.07995	0.7048	-1.212	10.6846
-10	0.03818	0.63136	-0.3462	5.72559

Πίνακας Π.4: Τιμές παραμέτρων κατανομών για κυμάτωση $w=6 \mu\text{m}$.

ΔW	q_1	q_2	α_1	α_2	σ
40	1.60512	2.85121	-19.906	35.36	11.3601
30	1.58872	2.79333	-19.853	34.9056	11.3474
20	1.34664	1.46737	-19.8	21.5748	10.5386
18	1.22517	1.33797	-18.532	20.2388	10.2052
16.5	1.06222	1.3434	-16.371	20.7041	9.90722
15	0.90954	1.35541	-14.277	21.2755	9.57015
10	0.51102	1.37235	-8.6085	23.1184	8.20037
8	0.39269	1.35903	-6.8487	23.7021	7.56684
5	0.25663	1.27125	-4.7639	23.5989	6.54899
0	0.14683	0.93172	-2.7944	17.7327	4.75586
-5	0.07802	0.6893	-1.3715	12.1171	2.93815
-10	0.0362	0.54071	-0.4663	6.96355	1.32384

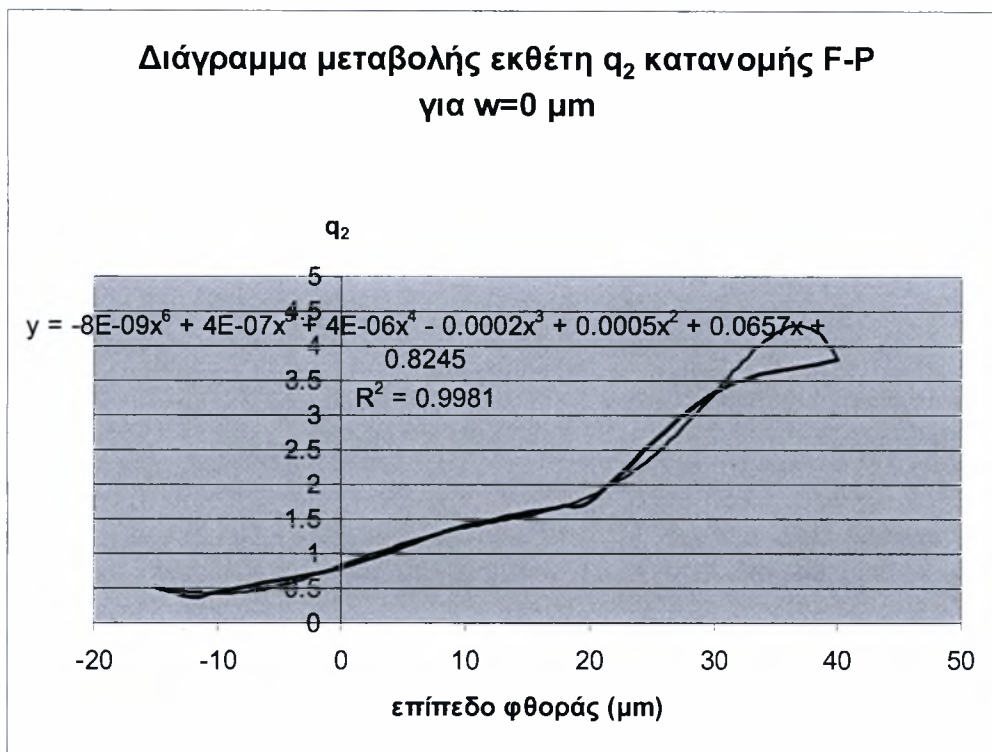
Πίνακας Π.5: Τιμές παραμέτρων κατανομών για κυμάτωση $w=7.5 \mu\text{m}$.

ΔW	q_1	q_2	α_1	α_2
40	2.12565	3.53924	-23.843	39.6993
30	2.05498	3.30162	-23.63	37.9643
20	1.52256	1.67201	-21.458	23.5639
18	1.24243	1.63045	-18.278	23.9867
16.5	1.05702	1.6034	-16.071	24.3788
15	0.89343	1.57521	-14.056	24.7825
10	0.47964	1.45318	-8.5563	25.9235
8	0.35936	1.373	-6.841	26.1374
5	0.2283	1.20346	-4.8219	25.4188
0	0.13068	0.86005	-2.9388	19.341
-5	0.07446	0.65501	-1.56	13.7226
-10	0.03534	0.47412	-0.6247	8.38093

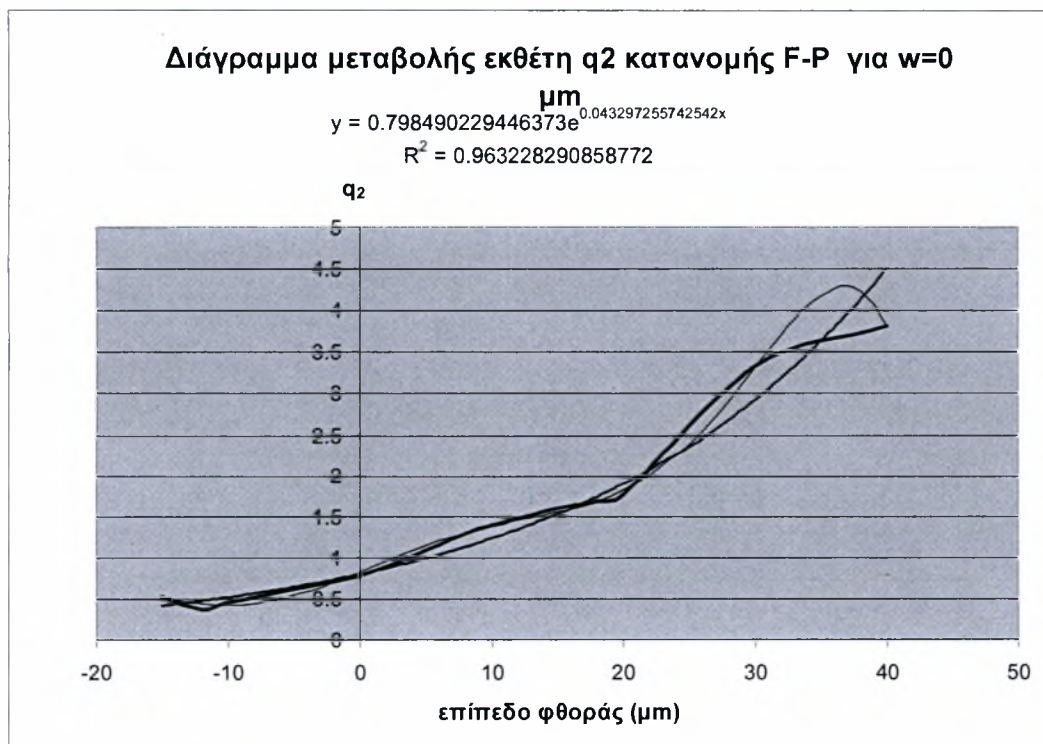
Πίνακας Π.6: Τιμές παραμέτρων κατανομών για κυμάτωση $w=9 \mu\text{m}$.

ΔW	q_1	q_2	α_1	α_2	σ
40	2.39531	3.83662	-26.127	41.8478	12.2939
30	2.26894	3.42422	-25.757	38.8715	12.2172
20	1.4786	1.79261	-21.111	25.5942	11.1977
18	1.19417	1.72522	-17.95	25.9331	10.8372
16.5	1.01458	1.67914	-15.847	26.2268	10.5325
15	0.85334	1.63152	-13.876	26.53	10.1999
10	0.44917	1.43829	-8.5054	27.2353	8.86091
8	0.33317	1.33496	-6.8126	27.2973	8.24636
5	0.21225	1.14843	-4.8694	26.347	7.26733
0	0.12493	0.8314	-3.0462	20.2717	5.50717
-5	0.07622	0.66269	-1.6921	14.713	3.67554
-10	0.0401	0.51343	-0.7351	9.41137	2.00294

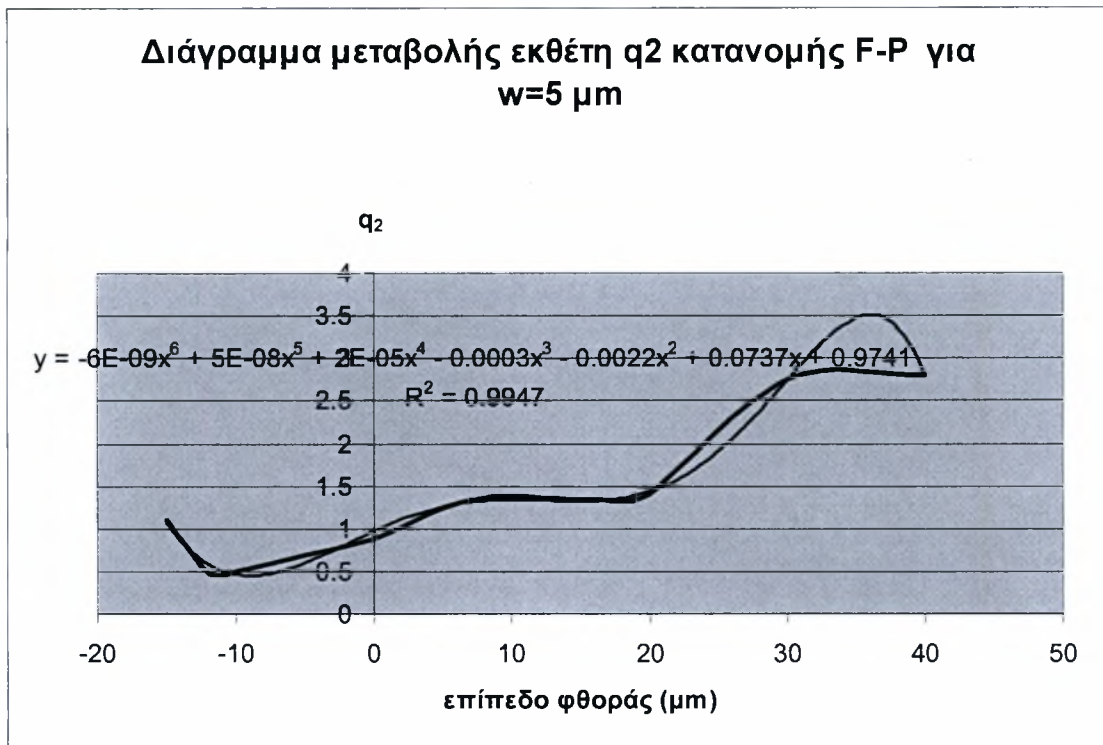
Πίνακας Π.7: Τιμές παραμέτρων κατανομών για κυμάτωση $w=10 \mu\text{m}$.



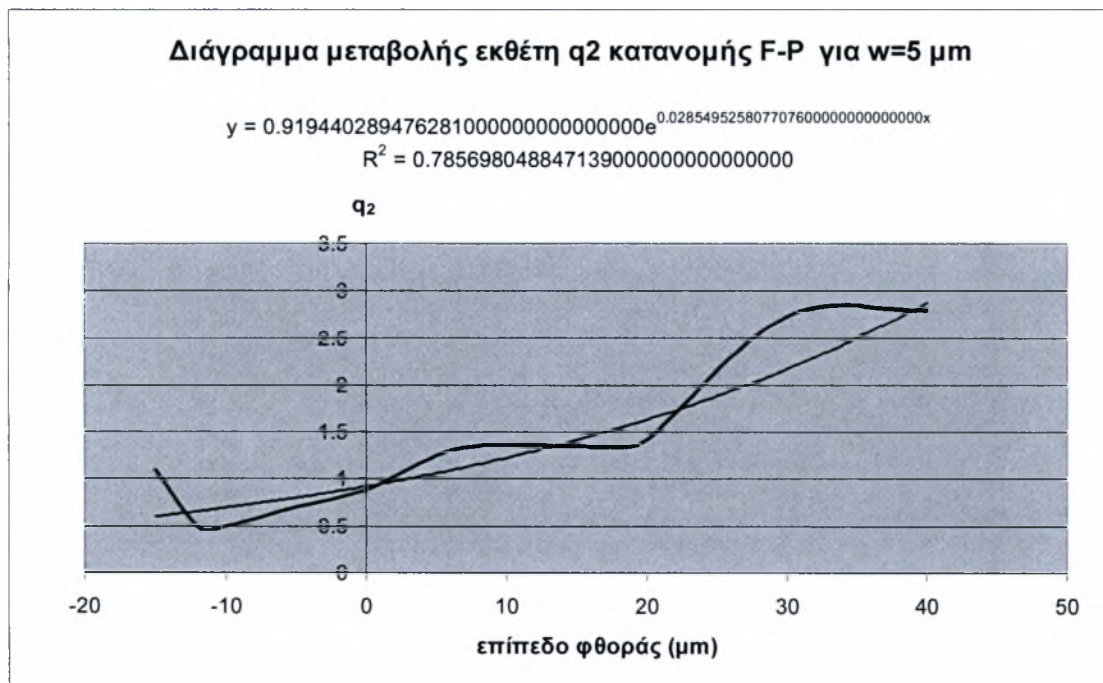
Σχήμα Π.1: Διάγραμμα μεταβολής εκθέτη q_2 κατανομής κατά Fisher-Pearson με κυμάτωση $w=0 \mu\text{m}$ και η αντίστοιχη γραμμή τάσης.



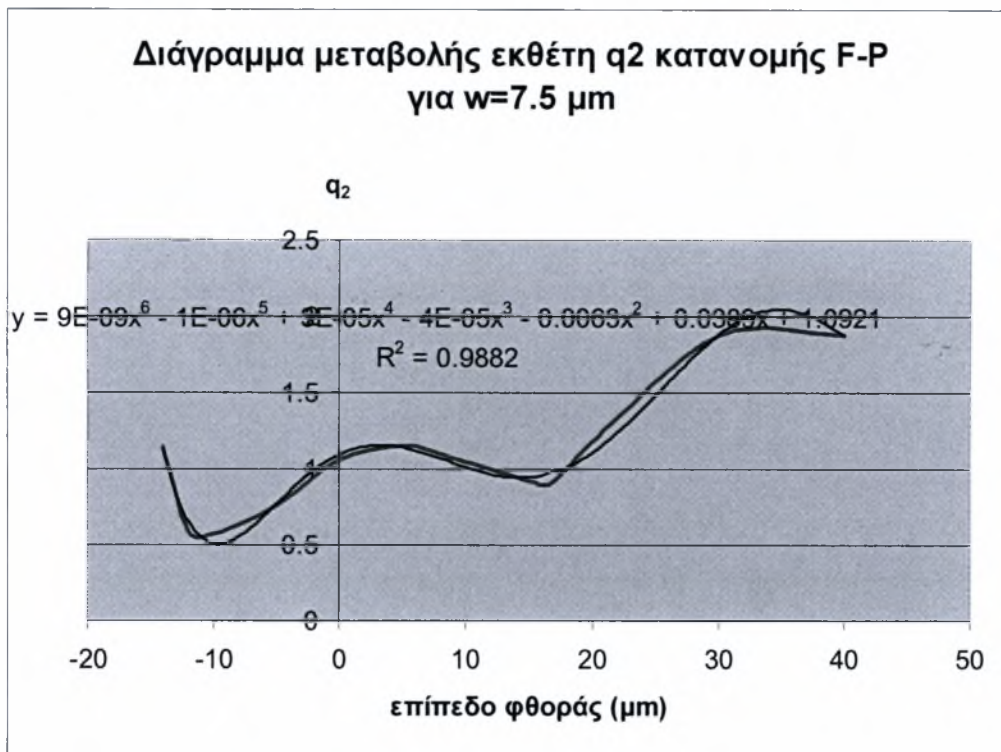
Σχήμα Π.2: Διάγραμμα μεταβολής εκθέτη q_2 κατανομής κατά Fisher-Pearson με κυμάτωση $w=0 \mu\text{m}$ και η αντίστοιχη γραμμή τάσης.



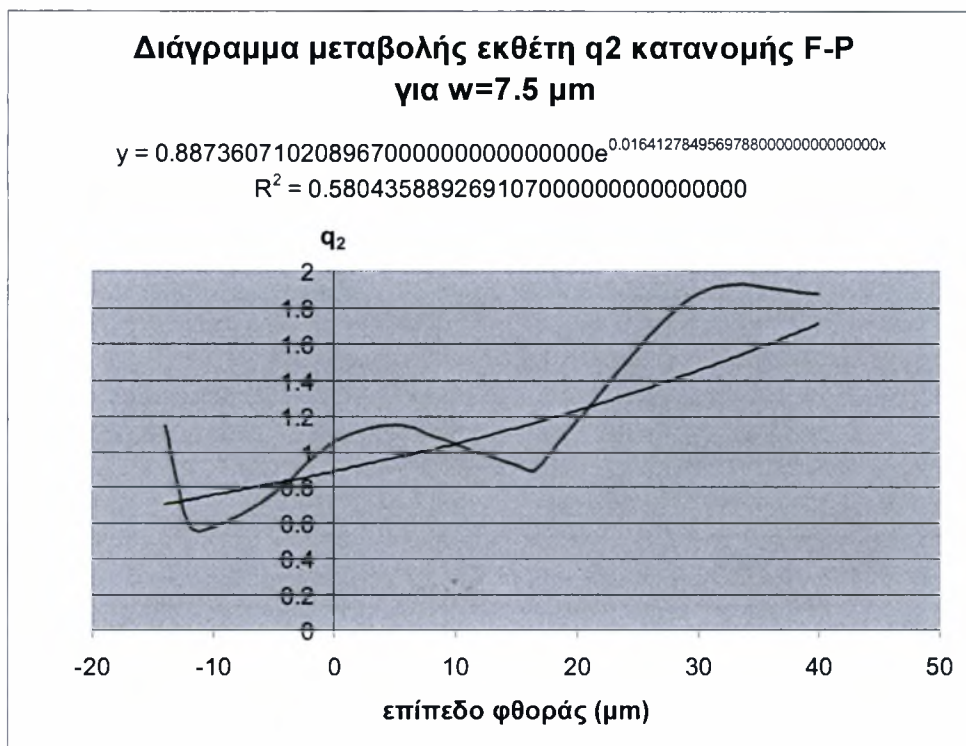
Σχήμα Π.3: Διάγραμμα μεταβολής εκθέτη q_2 κατανομής κατά Fisher-Pearson με κυμάτωση $w=5 \mu\text{m}$ και η αντίστοιχη γραμμή τάσης.



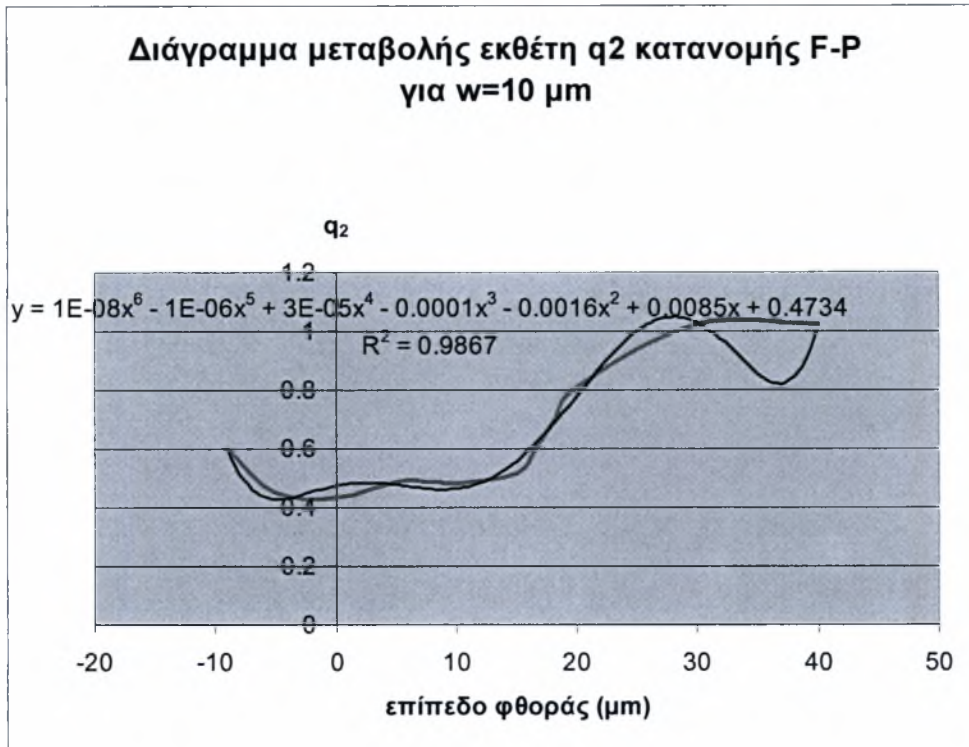
Σχήμα Π.4: Διάγραμμα μεταβολής εκθέτη q_2 κατανομής κατά Fisher-Pearson με κυμάτωση $w=0 \mu\text{m}$ και η αντίστοιχη γραμμή τάσης.



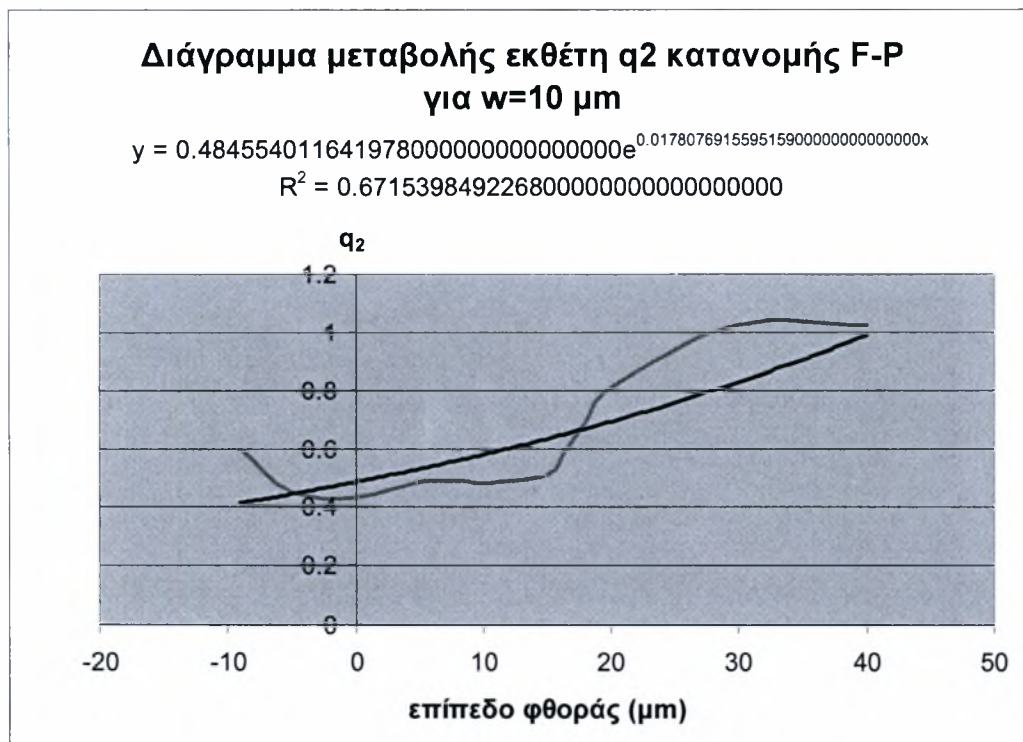
Σχήμα Π.5: Διάγραμμα μεταβολής εκθέτη q₂ κατανομής κατά Fisher-Pearson με κυμάτωση w=7.5 μm και η αντίστοιχη γραμμή τάσης.



Σχήμα Π.6: Διάγραμμα μεταβολής εκθέτη q₂ κατανομής κατά Fisher-Pearson με κυμάτωση w=7.5 μm και η αντίστοιχη γραμμή τάσης.



Σχήμα Π.7: Διάγραμμα μεταβολής εκθέτη q_2 κατανομής κατά Fisher-Pearson με κυμάτωση $w=10 \mu\text{m}$ και η αντίστοιχη γραμμή τάσης.



Σχήμα Π.8: Διάγραμμα μεταβολής εκθέτη q_2 κατανομής κατά Fisher-Pearson με κυμάτωση $w=10 \mu\text{m}$ και η αντίστοιχη γραμμή τάσης.



