

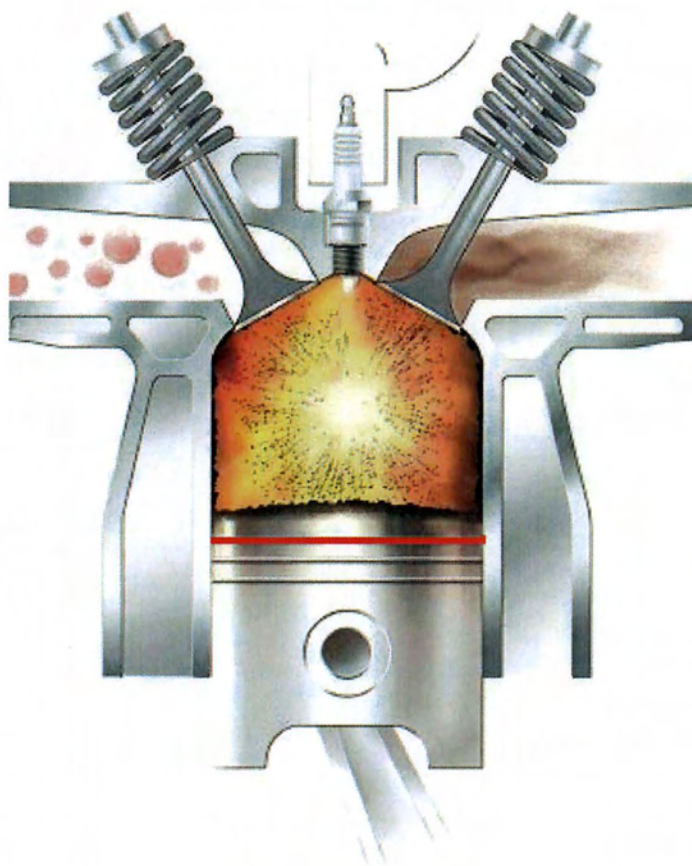
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΡΙΒΟΛΟΓΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ
1^{ου} ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ ΕΜΒΟΛΟΥ ΜΕΚ ΥΠΟ ΠΛΗΡΕΣ ΦΟΡΤΙΟ
(ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΑΧΕΙΑΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ)**



Βαρζάκας Ιωάννης

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

Βόλος 2012



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

Αριθ. Εισ.: 11147/1
Ημερ. Εισ.: 25-10-2012
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΜΜ
2012
ΒΑΡ

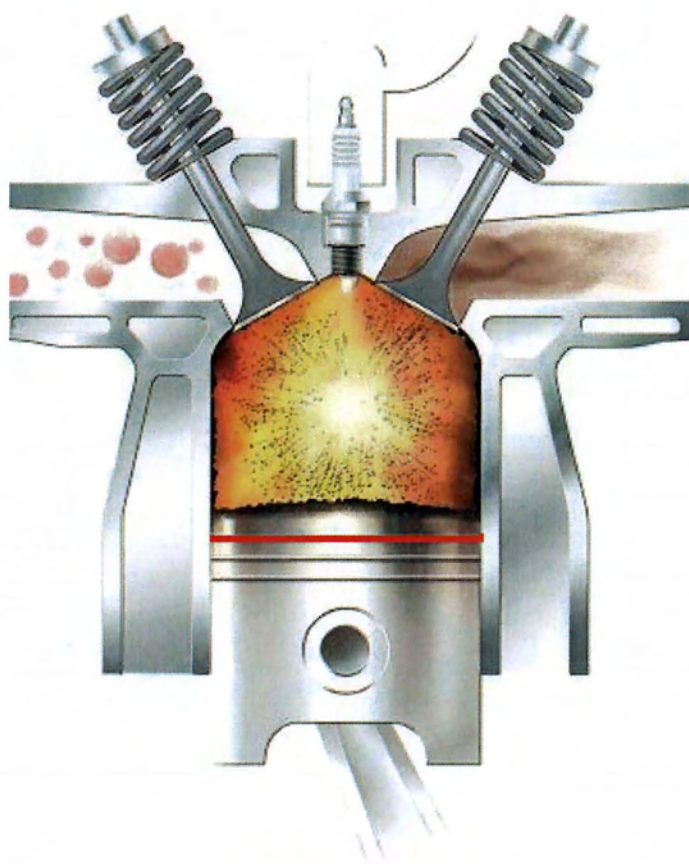
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΡΙΒΟΛΟΓΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ
1^{ου} ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ ΕΜΒΟΛΟΥ ΜΕΚ ΥΠΟ ΠΛΗΡΕΣ ΦΟΡΤΙΟ
(ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΑΧΕΙΑΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ)**



Βαρζάκας Ιωάννης

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

Βόλος 2012

Εγκρίθηκε από τα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής:

Πρώτος εξεταστής Δρ. Πανταζάρας Κωνσταντίνος

(Επιβλέπων) Διδάσκων, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος εξεταστής Δρ. Κερμανίδης Αλέξης

Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος εξεταστής Δρ. Καραμάνος Σπύρος

Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Πρώτα απ' όλα, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου, διδάσκοντα κ. Κωνσταντίνο Πανταζάρα, για την πολύτιμη βοήθεια, καθοδήγηση και συμπαράστασή του κατά την διάρκεια συγγραφής της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Οφείλω ευχαριστίες σε όλους τους καθηγητές και το προσωπικό του τμήματος για την βοήθεια και το ενδιαφέρον τους όλα αυτά τα χρόνια της φοίτησής μου στο τμήμα. Ευχαριστώ τους φίλους μου Σωτήρη Χατζηγιαννάκη και Δήμητρα Κατσούλα για την ηθική και πρακτική υποστήριξή τους. Πάνω απ' όλα είμαι ευγνώμων στους γονείς μου, Χρήστο και Ελένη, καθώς και στην αδερφή μου Χαρίκλεια για την ολόψυχη αγάπη και υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια.

**ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΡΙΒΟΛΟΓΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ
1^ο ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ ΕΜΒΟΛΟΥ ΜΕΚ ΥΠΟ ΠΛΗΡΕΣ ΦΟΡΤΙΟ
(ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΑΧΕΙΑΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ)**

ΒΑΡΖΑΚΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, 2012

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μέσα στα πλαίσια του γενικού προβλήματος της εξοικονόμησης ενέργειας της τελευταίας ίσως γενιάς μηχανών εσωτερικής καύσης, εμφανίζεται πάντα στο επίκεντρο το ενδιαφέρον εκτίμησης των μηχανικών απωλειών τους.

Έχοντας αυτό σαν κύριο άξονα, η παρούσα διπλωματική εργασία έχει σαν στόχο μέσα από μια επεξεργασία αποτελεσμάτων που προέρχονται από θεωρητική προσομοίωση να μελετήσει τη τριβολογική συμπεριφορά του πρώτου δακτυλίου και μάλιστα κάτω από συνθήκες πλήρους φορτίου.

Η εργασία χωρίζεται σε τέσσερα κεφάλαια:

Στο **πρώτο κεφάλαιο** δίνεται η **εισαγωγή** και η **παρουσίαση-αποσαφήνιση του προβλήματος** της φθοράς – τριβής των δακτυλίων εμβόλου ΜΕΚ, ενώ παράλληλα καθίσταται σαφής η ανάγκη χρήσης νέων στοιχείων-δεδομένων του προβλήματος που συνδέονται κυρίως με την μικρογεωμετρία των τραχειών επιφανειών κυλίνδρου-δακτυλίων.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα προς επεξεργασία αποτελέσματα** του κώδικα Oilfilm, καθώς και η **μέθοδος ταχείας προσέγγισης**.

Στο **τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μεθόδου** που ακολουθήθηκε με σκοπό την εξέλιξη ενός κώδικα ταχείας προσέγγισης.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο αναφέρονται τα συμπεράσματα** της παρούσας μελέτης και οι **προοπτικές** για μελλοντικές εξελίξεις της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε με τελικό σκοπό τη βελτιστοποίηση του συστήματος, βελτιστοποίηση που οφείλει παράλληλα να επικυρωθεί ενδεχομένως και μέσα από ένα πειραματικό μοντέλο με χρήση προσομοιωτή φθοράς τριβής.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

| | |
|--|----------|
| 1.1 Δακτύλιοι εμβόλου MEK..... | (σελ.15) |
| 1.1.1 Ο πρώτος δακτύλιος «της φωτιάς»..... | (σελ.19) |
| 1.1.2 Ο δεύτερος δακτύλιος «στεγανοποιητικός»..... | (σελ.22) |
| 1.1.3 Ο τρίτος δακτύλιος «αποξεστικός» ή «στραγγιστικός»..... | (σελ.24) |
| 1.2 Μοντέλο θεωρητικής προσομοίωσης..... | (σελ.25) |
| 1.3 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά διεπιφάνειας κυλίνδρου δακτυλίου σε μακρο και μικρο κλίμακα..... | (σελ.29) |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΕΔΟΜΕΝΑ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ

| | |
|--|----------|
| 2. Αναζήτηση μεθόδου ταχείας προσέγγισης τριβολογικών χαρακτηριστικών δακτυλίου εμβόλου υπό φορτίο..... | (σελ.40) |
| 2.1 Δεδομένα τεχνικού προβλήματος..... | (σελ.41) |
| 2.2 Αποτελέσματα θεωρητικής προσομοίωσης (κώδικας Oilfilm) – Διαγράμματα πάχους λιπαντικής μεμβράνης..... | (σελ.52) |
| 2.2.1 Διαγράμματα μεταβολής ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης και γραμμή τάσης κατά την φάση της εκτόνωσης για 2000-6000 rpm..... | (σελ.52) |
| 2.2.2 Διαγράμματα μεταβολής ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης και γραμμή τάσης κατά τις φάσεις της εξαγωγής καθώς και της εισαγωγής για 2000-6000 rpm..... | (σελ.62) |
| 2.2.3 Διαγράμματα μεταβολής ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης και γραμμή τάσης κατά την φάση της εισαγωγής για 2000-6000 rpm..... | (σελ.65) |
| 2.2.4 Μέθοδος ταχείας προσέγγισης για κατάσταση φθοράς 1..... | (σελ.69) |
| 2.2.5 Διαγράμματα μεταβολής ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης και γραμμή τάσης κατά την φάση της συμπίεσης για 2000-6000 rpm..... | (σελ.71) |
| 2.2.6 Μέθοδος ταχείας προσέγγισης για την φάση της συμπίεσης..... | (σελ.75) |
| 2.2.7 Συνολικά διαγράμματα μεταβολής πάχους λιπαντικής μεμβράνης σε τετράχρονη MEK..... | (σελ.81) |
| 2.3 Αποτελέσματα θεωρητικής προσομοίωσης (κώδικας Oilfilm) – Διαγράμματα διαχωρισμού δακτυλίου κυλίνδρου (λειτουργία χωρίς λιπαντικό)..... | (σελ.85) |

| | |
|--|----------|
| 2.3.1 Διάγραμμα μεταβολής απόστασης διαχωρισμού επιφανειών και γραμμή τάσης κατά την φάση της εκτόνωσης, λειτουργία χωρίς λιπαντικό για 2000-6000 rpm..... | (σελ.85) |
| 2.3.2 Διάγραμμα μεταβολής απόστασης διαχωρισμού επιφανειών και γραμμή τάσης κατά την φάση της εισαγωγής, λειτουργία χωρίς λιπαντικό για 2000-6000 rpm..... | (σελ.89) |
| 2.4 Διαγράμματα δύναμης τριβής για πλήρη κύκλο σε κατάσταση φθοράς 1 | (σελ.91) |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΑΧΕΙΑΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ ΤΙΜΩΝ ΤΡΙΒΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΔΑΚΤΥΛΙΩΝ ΕΜΒΟΛΟΥ ΜΕΚ

| | |
|-----------------------------------|-----------|
| 3.1 Εκτόνωση..... | (σελ.105) |
| 3.2 Εξαγωγή / Εισαγωγή..... | (σελ.108) |
| 3.3 Συμπύεση..... | (σελ.111) |
| 3.4 Καμπύλες τύπου Striebeck..... | (σελ.114) |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ.....(σελ.122)

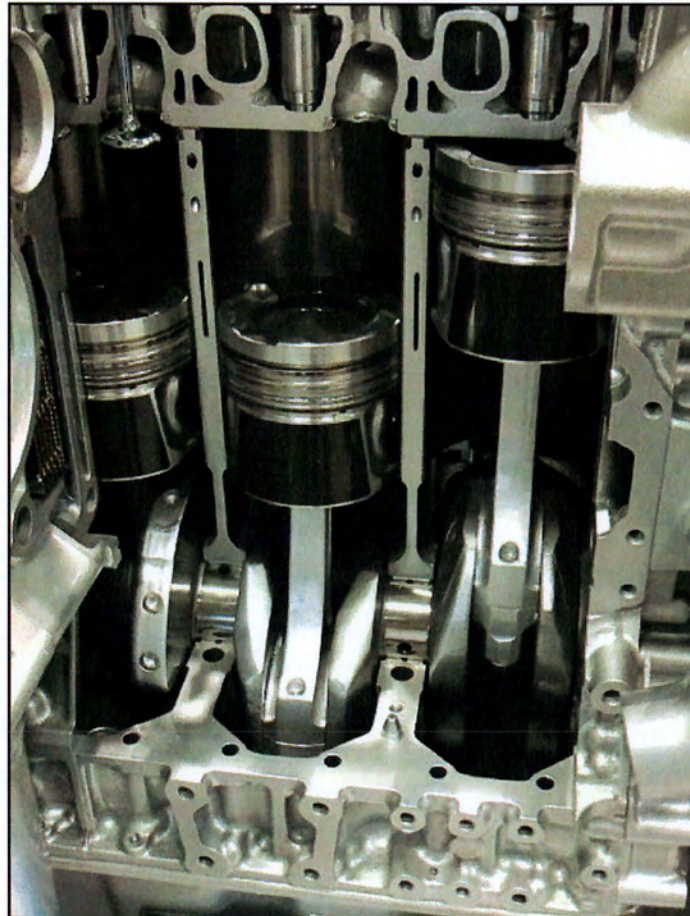
| | |
|---|------------------|
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ | (σελ.133) |
|---|------------------|

| | |
|-------------------------------------|------------------|
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ..... | (σελ.167) |
|-------------------------------------|------------------|

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Η θεωρία της επαφής δακτυλίου-χιτωνίου. Μαθηματικό μοντέλο υπολογισμού πάχους λιπαντικής μεμβράνης και συντελεστή τριβής.



Κύλινδροι - Έμβολα – δακτύλιοι εμβόλων τυπικής ΜΕΚ με κολίνδρους σε σειρά.

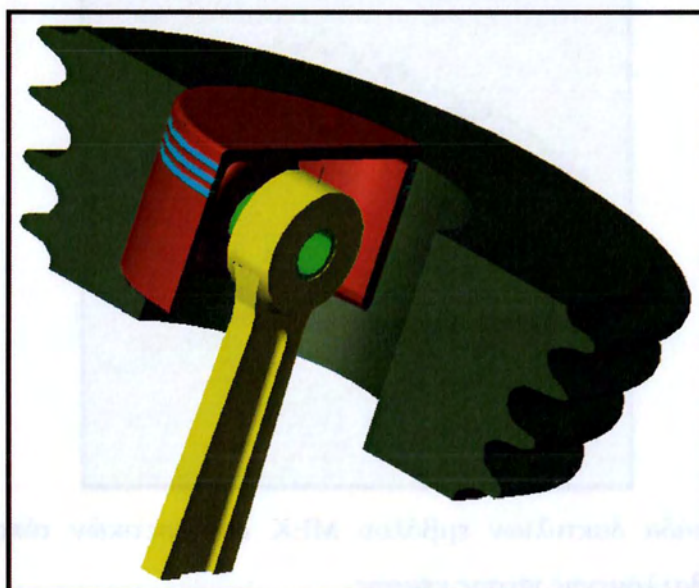
1000
1000



1.1 ΔΑΚΤΥΛΙΟΙ ΕΜΒΟΛΟΥ ΜΕΚ

Η διπλωματική εργασία που παρουσιάζεται στην συνέχεια αποτελεί το 2^ο και τελευταίο μέρος μιας σύνθετης σειράς θεμάτων και εργασιών που αφορούν στην θεωρητική προσομοίωση της τριβολογικής συμπεριφοράς δακτυλίων εμβόλων ΜΕΚ (Σχήμα 1.1 έως 1.5). Το 1^ο μέρος της συγκεκριμένης λεπτομερούς και εμπειριστατωμένης διερεύνησης (διπλωματική εργασία: Α. Κρεωνά) αποτέλεσε την βάση δεδομένων για την ολοκλήρωση της 2^{ης} φάσης.

Με την έναρξη της παρουσίασης του θεωρητικού υπόβαθρου στο 1^ο κεφάλαιο που ακολουθεί κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ότι το μεγαλύτερο μέρος της θεωρητικής ανάλυσης που έπεται αποτελεί προϊόν βιβλιογραφικής έρευνας και πολλά στοιχεία της είναι κοινά με συναφείς επί διπλώματι εργασίες. Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη λεπτομερή προσέγγιση κατόπιν χρήσης του κώδικα Oilfilm, στόχος της παρούσας εργασίας είναι η απλούστευση της διαδικασίας προσέγγισης-πρόβλεψης χαρακτηριστικών τιμών, που αφορούν κυρίως σε αποτίμηση και αξιολόγηση συντελεστών και παραμέτρων που σχετίζονται με τα φαινόμενα της φθοράς και της τριβής. Σημειώνουμε πως με την συντομογραφία ΚΝΣ εννοούμε «κάτω νεκρό σημείο» ενώ με την συντομογραφία ΑΝΣ εννοούμε «άνω νεκρό σημείο»



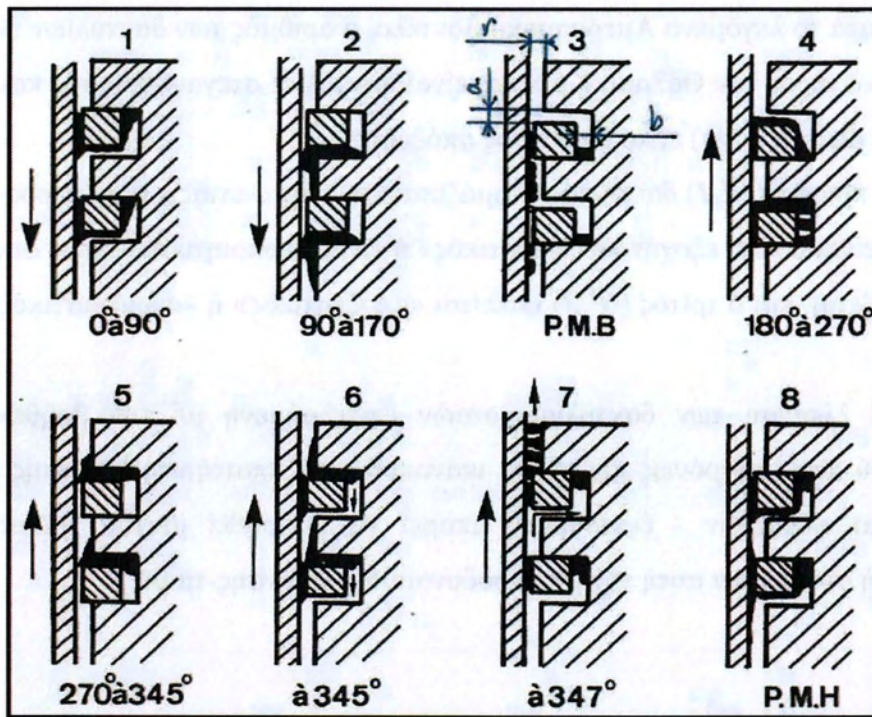
Σχήμα 1.1: Χαρακτηριστική τομή εμβόλου – κυλίνδρου αερόψυκτης ΜΕΚ με σύνολο δακτυλίων σύμφωνα με το αμερικανικό μοντέλο (τριάδα δακτυλίων)



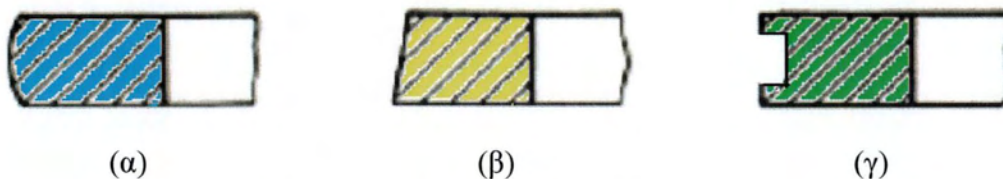
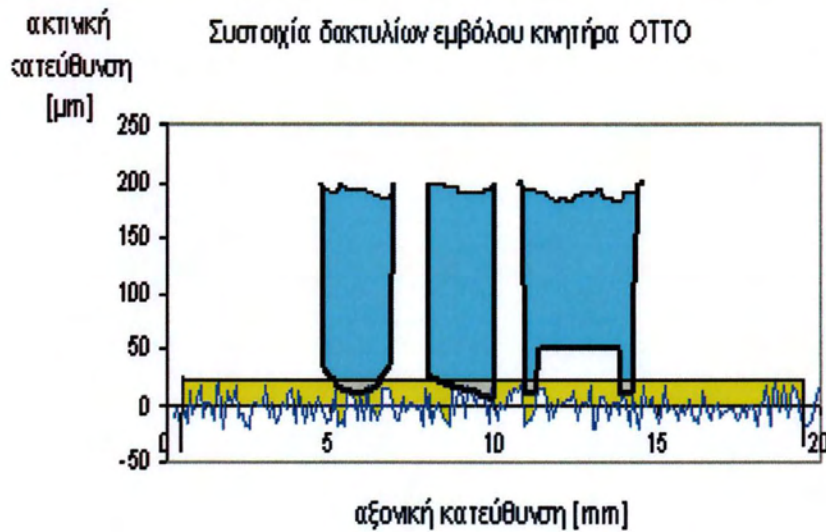
Σχήμα 1.2: Χαρακτηριστική όψη εμβόλου MEK με σύνολο δακτυλίων σύμφωνα με το αμερικανικό μοντέλο (τριάδα δακτυλίων). 1^{ος} δακτύλιος: Υψηλής θερμικής καταπόνησης «της φωτιάς», 2^{ος} δακτύλιος: Στεγανοποίησης, 3^{ος} δακτύλιος: Στράγγισης



Σχήμα 1.3: Τριάδα δακτυλίων εμβόλου MEK διαφορετικών τύπων, κατατομών (προφίλ) και επιβαλλόμενης πίεσης επαφής.



Σχήμα 1.4: Σχηματική παράσταση για την ερμηνεία συμπεριφοράς δακτυλίων εμβόλων MEK (γαλλική βιβλιογραφία PMB=BDC=ΚΝΣ, PMH=TDC=ΑΝΣ)



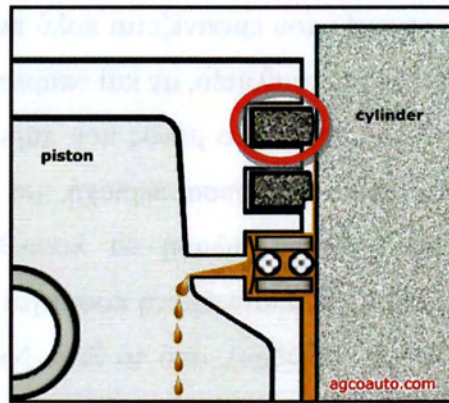
Σχήμα 1.5: α) πρώτος δακτύλιος «της φωτιάς»
β) δεύτερος δακτύλιος «στεγανοποιητικός»
γ) τρίτος δακτύλιος «αποξεστικός» ή «στραγγιστικός»

Κατά το λεγόμενο Αμερικανικό μοντέλο, ο αριθμός των δακτυλίων είναι 3. Οι δύο πρώτοι (προς τον Θάλαμο Καύσης) είναι δακτύλιοι στεγανοποίησης και ο τρίτος (προς την ελαιολεκάνη) είναι δακτύλιος απόξεσης.

Ο πρώτος (*N^ο 1*) δακτύλιος ονομάζεται και «της φωτιάς», ο δεύτερος (*N^ο 2*), ο μεσαίος, είναι ο κατ' εξοχήν «στεγανοτικός» ή «στεγανοποιητικός» όπως συνηθίζεται να ονομάζεται, και ο τρίτος (*N^ο 3*) καλείται «αποξεστικός» ή «στραγγιστικός» ή «του λαδιού».

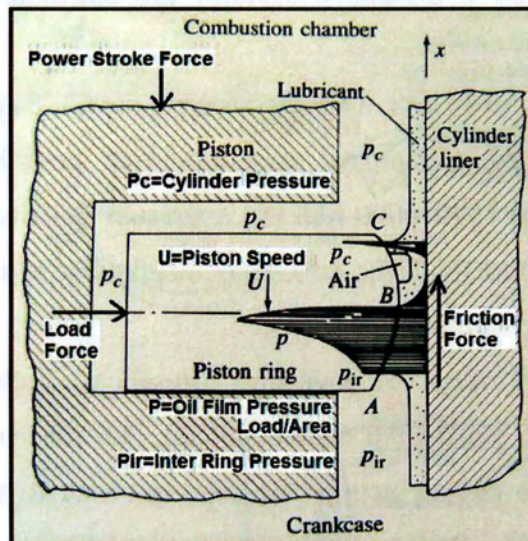
Η λίπανση των δακτυλίων αυτών επιτελούμενη με την βοήθεια υγρού λιπαντικού που συγχρόνως πρέπει να ικανοποιεί και απαιτήσεις λίπανσης εδράνων καθώς και ωστηρίων - έκκεντρων, μπορεί να θεωρηθεί μικτού χαρακτήρα με σημαντική συνιστώσα αυτή της μη υδροδυναμικής λίπανσης-τριβής.

1.1.1 Πρώτος δακτύλιος (της φωτιάς)



Σχήμα 1.6: Πρώτος δακτύλιος «της φωτιάς», σχηματική τομή διαμόρφωσης εμβόλου με τον αντίστοιχο δακτύλιο, διακρίνονται τα διάκενα που επιτρέπουν την κίνηση του δακτυλίου μέσα στην διαμορφωμένη φωλιά του υπό την επίδραση κυρίως της πίεσης των αερίων θαλάμου καύσης. (Θέση εμβόλου κατακόρυφη, θάλαμος καύσης άνω).

Ο πρώτος δακτύλιος «της φωτιάς», ο οποίος είναι και το βασικό αντικείμενο της παρούσας εργασίας, δέχεται κατά την φάση της εκτόνωσης εντονότερα αλλά και κατά την συμπίεση λιγότερο έντονα, την επιπρόσθετη πίεση του αερίου μίγματος που προστίθεται στην ελαστική του πίεση.



Σχήμα 1.7 : Φορτία που εξασκούνται πάνω στον πρώτο δακτύλιο (από βιβλιογραφία)

Έτσι, το φορτίο επαφής του μεταβάλλεται σημαντικά μέσα στον θερμοδυναμικό κύκλο, γεγονός που εμφανίζεται πολύ πιο υποβαθμισμένης σημασίας στον δεύτερο δακτύλιο (έως και αμελητέο, αν και υπαρκτό λόγω blow by).

Ο δακτύλιος της φωτιάς είναι ο μόνος που παρουσιάζεται με κατατομή που εμφανίζει συγκλίνουσα και αποκλίνουσα περιοχή, με αποτέλεσμα να δύναται να παραλάβει υδροδυναμικό φορτίο, δηλαδή να λιπανθεί υδροδυναμικά, υπό την προϋπόθεση ότι του παρέχεται η απαιτούμενη ποσότητα λιπαντικού και κατά τις δύο φάσεις κίνησης (ανόδου και καθόδου), από το Άνω Νεκρό Σημείο (ΑΝΣ) προς το Κάτω Νεκρό Σημείο (ΚΝΣ) και αντίστροφα. Κατά τους χρόνους εξαγωγής και εισαγωγής μίγματος στον κύλινδρο ΜΕΚ, ο δακτύλιος αυτός λόγω της μορφής του και του μειωμένου φορτίου επαφής παρουσιάζει, αν και μερικά λιπαινόμενος, τις περισσότερες πιθανότητες υδροδυναμικής λίπανσης.

Ειδικότερα σ' ότι αφορά σε κινητήρες βενζίνης, κυβισμού από 277-541 cm³/κύλινδρο, οι δακτύλιοι της φωτιάς έχουν πλάτος της τάξης του mm (πχ 1.75 mm), με τάση μείωσής του, ώστε να μειωθεί και το επιπρόσθετο φορτίο λόγω πίεσης αερίων.

Η κατατομή (profil) τους, κατασκευαστικά επιτυγχάνεται με αρχικές ακτίνες καμπυλότητας της τάξης μερικών δεκάδων χιλιοστών (πχ 20-50 mm).

Η καμπυλότητα αυτή αυξάνεται με την φθορά κατά τον χρόνο λειτουργίας και έχει σαν αποτέλεσμα η φθαρμένη διατομή του δακτυλίου να εμφανίζεται τελικά περίπου επίπεδη.

Η ελαστική πίεση που οι κατασκευαστές συνήθως προτείνουν κυμαίνεται από 0.50 έως 2.0 10⁵ Pa. Θεωρητικό προσομοιωτικό μοντέλο δίδει για περιστροφή στροφαλοφόρου από 1500–6000 rpm και λιπαντικό ιξώδους 7.4 mPa.s (15W40-130^o C), μέγιστο πάχος απαιτούμενης λιπαντικής μεμβράνης κατά την παλινδρόμηση από 4-9 μm σε συνθήκες επαρκούς λίπανσης.

Αντίστοιχες τιμές για κινητήρα Diesel, το έμβολο του οποίου έχει 4 δακτυλίους δίνονται για αρχικό στάδιο φθοράς, 3-6 μm, για μεμονωμένο δακτύλιο, ενώ η εκτίμηση του πάχους μεμβράνης λιπαντικού κατά την λειτουργία συστοιχίας πέφτει στην τιμή 0.25 – 0.80 μm και ακόμη περισσότερο με τη φθορά μετά από 120 – 630 h λειτουργίας.

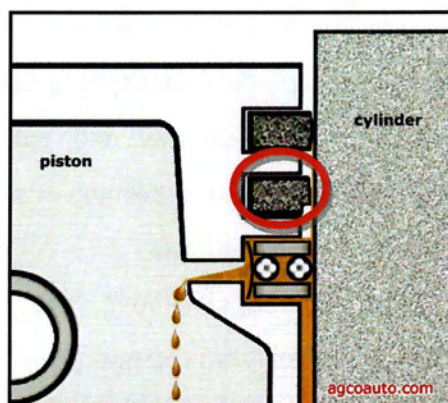
Ο δακτύλιος της φωτιάς γενικά λόγω της κατατομής του δύναται να λειτουργεί ακόμη και όταν το έμβολο περιστρέφεται ελαφρά κατά την διαδρομή του.

Η απουσία ακμών απομακρύνει την πιθανότητα διακοπής της λιπαντικής μεμβράνης και η μικρή επιφάνεια επαφής του με τον κύλινδρο λόγω της σχεδόν γραμμικής επαφής, μειώνει την περίοδο «του στρωσίματος» του κινητήρα.

Δακτύλιοι της φωτιάς κυκλοφορούν στο εμπόριο κατασκευασμένοι από χυτοσίδηρο σφαιροειδούς γραφίτη ή/και επενδυμένοι περιφερειακά με μολυβδαίνιο, φωσφατωμένοι ή ακόμη και επιχρωμιωμένοι.

Για τους επιχρωμιωμένους βαρελοειδούς κατατομής, ενδείκνυται κατ' αρχάς η δημιουργία εσωτερικού στρώματος από σκληρό χρώμιο, πάχους 60-90 μm, ενώ ένα εξωτερικό στρώμα πάχους 40-60 μm από πορώδες χρώμιο δίνει το τελικό επιθυμητό προφίλ στον δακτύλιο. Έντονες κοιλάδες που παρατηρούνται στην μικροτοπογραφία είναι πόροι/συνέπειες της κατεργασίας του.

1.1.2 Δεύτερος δακτύλιος (στεγανοποιητικός)



Σχήμα 1.8: Δεύτερος δακτύλιος «στεγανοποιητικός», σχηματική τομή διαμόρφωσης εμβόλου με τον αντίστοιχο δακτύλιο, διακρίνονται τα διάκενα που επιτρέπουν την κίνηση του δακτυλίου μέσα στην διαμορφωμένη φωλιά του υπό την μειωμένη επίδραση της πίεσης των αερίων θαλάμου καύσης (blow by). (Θέση εμβόλου κατακόρυφη, θάλαμος καύσης άνω).

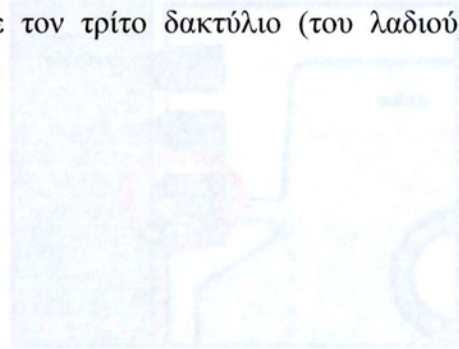
Ο **δεύτερος δακτύλιος** συνήθως είναι κολουρο-κωνικής φυσιογνωμίας με διατομή ορθογωνίου τραπεζίου, πλάτους περίπου 2 mm, με κωνικότητα που χαρακτηρίζεται από περίπου 35 μm ακτινική απόσταση ακμών.

Η αιχμηρή περιοχή του είναι τοποθετημένη-στραμμένη προς το κάτω νεκρό σημείο με στόχο την αποφυγή υδροδυναμικού σφήνα κατά την κάθοδο του εμβόλου και παράλληλα την επίτευξη στράγγισης του λιπαντικού. Η ελαστική πίεση που ενδείκνυται είναι περίπου $2.0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Θεωρητικό προσομοιωτικό μοντέλο δίδει για περιστροφή στροφαλοφόρου από 1500 – 4500 rpm και λιπαντικό ιξώδους 7.4 mPas (15W40-130° C), μέγιστο πάχος απαιτούμενης λιπαντικής μεμβράνης κατά την παλινδρόμηση για την άνοδο από 8-13 μm . και για την κάθοδο σταθερό πάχος 2 μm .

Αντίστοιχες τιμές για κινητήρα Diesel, το έμβολο του οποίου έχει 4 δακτυλίους δίνονται για αρχικό στάδιο φθοράς, κατά την άνοδο 6.5 μm και για την κάθοδο (σταθερό πάχος) 1 μm για μεμονωμένο δακτύλιο, ενώ η εκτίμηση του πάχους μεμβράνης λιπαντικού κατά την λειτουργία συστοιχίας πέφτει στην τιμή 0.80 μm και ακόμη περισσότερο με τη φθορά μετά από 120 – 630 h λειτουργίας.

Δακτύλιοι αυτού του τύπου γενικά κατασκευάζονται από χυτοσίδηρο ή χάλυβα, υφίστανται επιφανειακή κατεργασία ή επικάλυψη περιφερειακά και σπανιότερα στην επίπεδες επιφάνειές τους για αύξηση της αντίστασής τους σε φθορά.

Ο δακτύλιος στεγάνωσης θεωρείται επίσης ότι μειώνει την περίοδο στρωσίματος λόγω της εξ αρχής γραμμικής του επαφής με τον κύλινδρο και ότι δρα συμπληρωματικά με τον τρίτο δακτύλιο (του λαδιού) στον έλεγχο κατανάλωσης λιπαντικού.



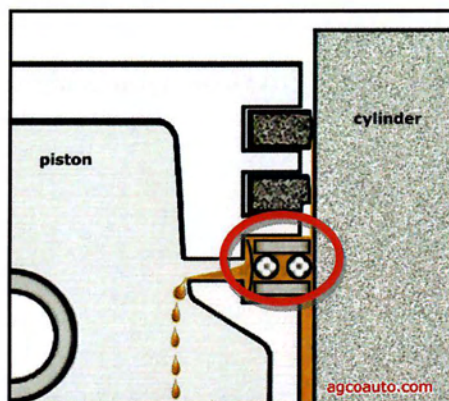
Επίσης, ο δακτύλιος στεγάνωσης θεωρείται επίσης ότι μειώνει την περίοδο στρωσίματος λόγω της εξ αρχής γραμμικής του επαφής με τον κύλινδρο και ότι δρα συμπληρωματικά με τον τρίτο δακτύλιο (του λαδιού) στον έλεγχο κατανάλωσης λιπαντικού.

Επίσης, ο δακτύλιος στεγάνωσης θεωρείται επίσης ότι μειώνει την περίοδο στρωσίματος λόγω της εξ αρχής γραμμικής του επαφής με τον κύλινδρο και ότι δρα συμπληρωματικά με τον τρίτο δακτύλιο (του λαδιού) στον έλεγχο κατανάλωσης λιπαντικού.

Επίσης, ο δακτύλιος στεγάνωσης θεωρείται επίσης ότι μειώνει την περίοδο στρωσίματος λόγω της εξ αρχής γραμμικής του επαφής με τον κύλινδρο και ότι δρα συμπληρωματικά με τον τρίτο δακτύλιο (του λαδιού) στον έλεγχο κατανάλωσης λιπαντικού.

Επίσης, ο δακτύλιος στεγάνωσης θεωρείται επίσης ότι μειώνει την περίοδο στρωσίματος λόγω της εξ αρχής γραμμικής του επαφής με τον κύλινδρο και ότι δρα συμπληρωματικά με τον τρίτο δακτύλιο (του λαδιού) στον έλεγχο κατανάλωσης λιπαντικού.

1.1.3 Τρίτος δακτύλιος (στραγγιστικός)



Σχήμα 1.9: Τρίτος δακτύλιος «στραγγιστικός», σχηματική τομή διαμόρφωσης εμβόλου με τον αντίστοιχο δακτύλιο, διακρίνονται τα διάκενα και οι οπές που επιτρέπουν την επιστροφή του λιπαντικού που στραγγίζεται μέσα στην ελαιολεκάνη (carter) της ΜΕΚ. (Θέση εμβόλου κατακόρυφη, θάλαμος καύσης άνω).

Ο **τρίτος δακτύλιος** είναι σχεδόν αδύνατο να λειτουργήσει κάτω από συνθήκες υδροδυναμικής λίπανσης, εκτός των περιπτώσεων παρέκκλισης από την ονομαστική του γεωμετρία επαφής λόγω φθοράς ή παραμορφώσεων.

Γενικά, η υψηλή τιμή της πίεσης επαφής του δεν είναι δυνατό να αντισταθμισθεί από υδροδυναμικό μηχανισμό ώστε να αποκολληθεί ο δακτύλιος αυτός από τον κύλινδρο, αν και είναι ο μόνος που του παρέχεται λιπαντικό σε αφθονία.

Συνήθως εμφανίζει δύο χείλη πλάτους δέκατων χιλιοστού πχ 0.2-0.4mm, συνολικό πλάτος περίπου 4.5mm και ελαστική πίεση 7.8×10^5 Pa. Θεωρητικό προσομοιωτικό μοντέλο δίδει για περιστροφή στροφαλοφόρου από 1500 – 6000 rpm και λιπαντικό ιξώδους 7.4 mPas (15W40-130° C), μέγιστο πάχος απαιτούμενης λιπαντικής μεμβράνης κατά την παλινδρόμηση της τάξης των 3 μm.

Η μεγάλη τιμή της ελαστικής πίεσης στον 3^ο δακτύλιο επιτυγχάνεται με εσωτερικό ελατηριωτό εκτατήρα. Τέτοιου τύπου εκτατήρες χρησιμοποιούνται και για τους άλλους δακτυλίους σε περιπτώσεις πολύ φθαρμένων κυλίνδρων (έως 0.50mm φθορά στην διάμετρό τους) προς αποφυγή ανεπιθύμητων συμβάντων (διαρροή λιπαντικού, υπερβολική κατανάλωση λιπαντικού, αύξηση blow by) χωρίς να είναι και η βέλτιστη ενδεδειγμένη λύση από την άποψη τριβής-φθοράς.

1.2 ΜΟΝΤΕΛΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Η βασική προϋπόθεση στην πλειονότητα των θεωρητικών μοντέλων βασίζεται στην υδροδυναμική λίπανση. Σύγκριση της τιμής του συντελεστή τριβής του συγκεκριμένου συνόλου με αυτή των υδροδυναμικών εγκάρσιων εδράνων, δίνει τιμές περίπου πενήντα φορές μεγαλύτερες στο υπό μελέτη σύνολο

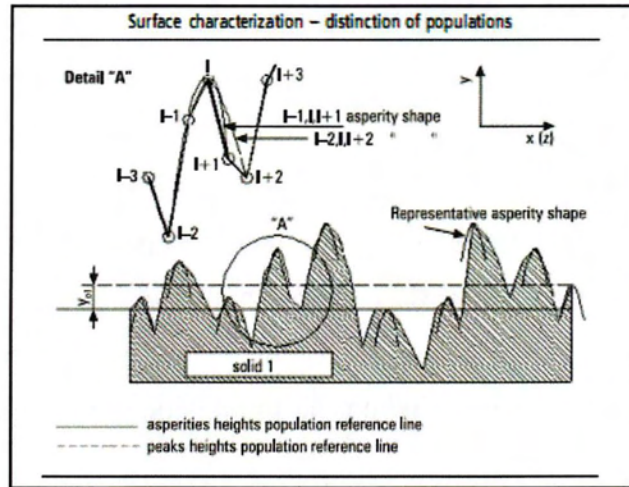
Για το θεωρητικό μοντέλο που σχετίζεται με τον υπολογισμό της δύναμης τριβής του δακτυλίου, όπως προαναφέρθηκε, δέχονται υδροδυναμική λίπανση για τον δακτύλιο του εμβόλου.

Οι διαφορές τους οφείλονται σε μεγάλο μέρος στη εξίσωση του Reynolds που επιλύουν (γεωμετρία δύο διαστάσεων – τριών διαστάσεων) με ή χωρίς τραχύτητα των λιπανόμενων επιφανειών, στις συνοριακές συνθήκες που λαμβάνονται υπόψη καθώς και στη μέθοδο επίλυσης του προβλήματος που απαιτεί κυρίως μεθόδους πεπερασμένων στοιχείων ή πεπερασμένων διαφορών (FEM ή FDM).

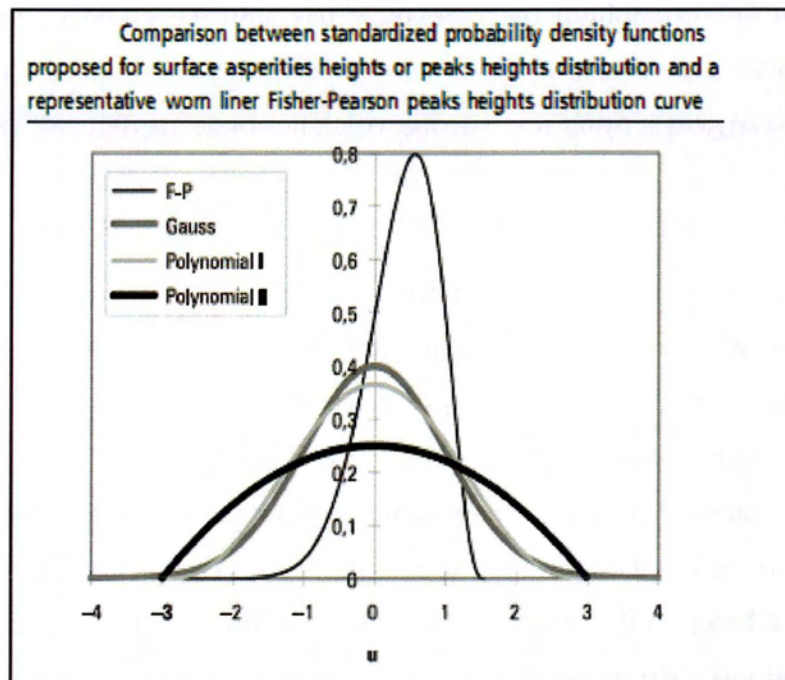
Μία βελτιστοποίηση της κατανομής των δακτυλίων κυρίως του πρώτου (της φωτιάς) δίνει μία κατατομή που παρουσιάζει ακτίνα καμπυλότητας, ενώ είναι αποδεκτές ελάχιστες τιμές του πάχους της λιπαντικής μεμβράνης της τάξεως των 0,1μm.

Κατά τη δεκαετία του 1980 μέχρι τις μέρες μας αναπτύσσονται θεωρητικά μοντέλα που βασίζονται κυρίως στη μελέτη όπου γίνεται συνδυασμός δύο θεωριών για τον λεπτομερέστερο εξοπλισμό των χαρακτηριστικών μεγεθών κατά τη λειτουργία του συνόλου.

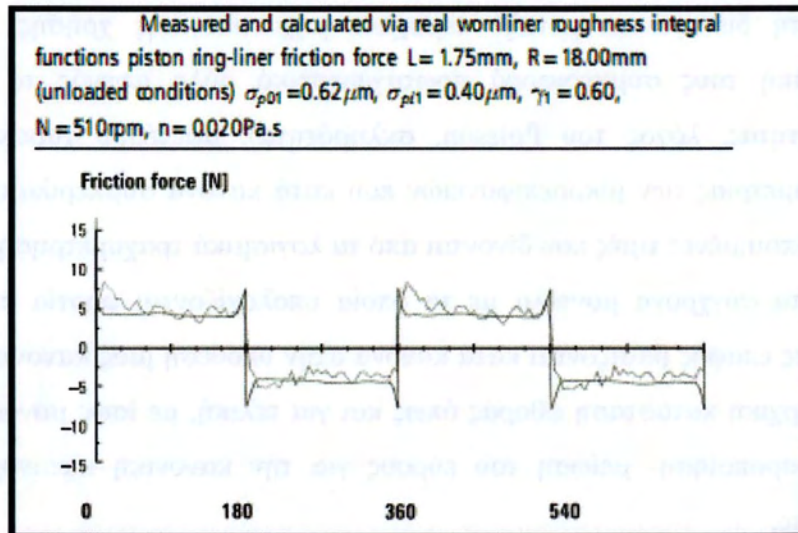
Έτσι, αφενός γίνεται χρήση μιας εξίσωσης του Reynolds στην οποία λαμβάνονται υπόψη μεγέθη της λιπαντικής μεμβράνης με στοχαστικό χαρακτήρα **Patir και Cheng**, καθώς και ενός μοντέλου τραχύτητας που προτάθηκε από τους **Greenwood και Trip** (σχήμα 1.1)



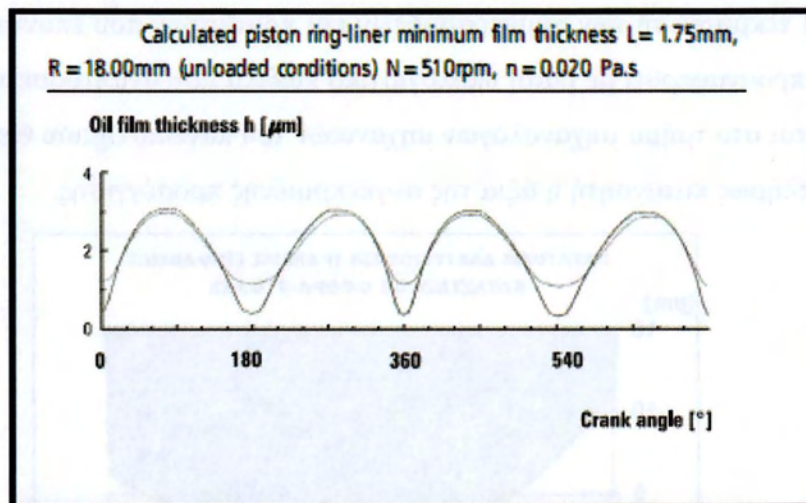
Σχήμα 1.10: Το μοντέλο των λοφίσκων τραχύτητας και τα χαρακτηριστικά των κορυφών των λόφων που ελήφθησαν σε συνδυασμό κατά την ανάπτυξη του υπολογιστικού κώδικα.



Σχήμα 1.11: Κατανομές υψομέτρων σημείων κατά τομείς κυλίνδρου (τραχυμέτρηση) που χρησιμοποιούνται σε θεωρητικά μοντέλα προσομοίωσης για σύγχρονους ισχυρούς υπολογιστικούς κώδικες.



Σχήμα 1.12: Θεωρητικό και πειραματικό διάγραμμα μεταβολής δύναμης τριβής πρώτου δακτυλίου, περίπτωση μεμονωμένου δακτυλίου με οδηγούμενο έμβολο σε συνθήκες ανοικτού κυλίνδρου, κατάσταση motoring.



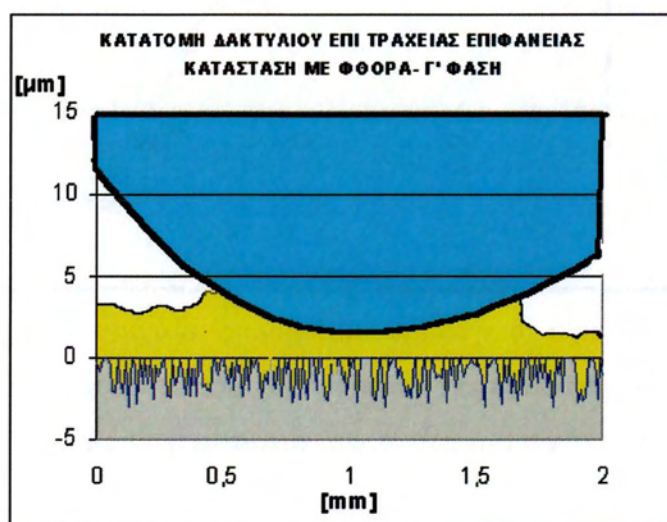
Σχήμα 1.13: Θεωρητικό διάγραμμα μεταβολής ελάχιστου πάχους λιπαντικής μεμβράνης πρώτου δακτυλίου για διαφορετικές φάσεις φθοράς της επιφάνειας του κυλίνδρου σε συνθήκες ανοικτού κυλίνδρου, κατάσταση motoring.

Στη διεπιφάνεια μεταξύ τεμαχίων μηχανολογικής χρήσης, ως προς την τριβολογική τους συμπεριφορά πρωταγωνιστικό ρόλο αφενός το υλικό (μέτρο ελαστικότητας, λόγος του Poisson, σκληρότητα), αφετέρου χαρακτηριστικά της μικρογεωμετρίας των μικροεπιφανειών που κατά κανόνα συμπεριλαμβάνονται μέσα στις τυποποιημένες τιμές που δίνονται από τα λογισμικά τραχυμέτρησης.

Στα σύγχρονα μοντέλα με τα οποία υπολογίζονται φορτία και ρεαλιστικές επιφάνειες επαφής βασίζονται κατά κανόνα στην υπόθεση μιας κανονικής κατανομής και για αρχική κατάσταση φθοράς όπως και για τελική, με ίσως μοναδική διόρθωση την διαφοροποίηση- μείωση του εύρους για την κανονική κατανομή φθαρμένης επιφανείας.

Τα δυο θεωρητικά μοντέλα **Patir-Cheng & Greenwood -Tripp** απαιτούν πρόσθετες, γενικά μη τυποποιημένες παραμέτρους των κατανομών. Η απαίτηση αυτή λαμβάνεται υπόψη στην παρούσα διπλωματική εργασία κατά την οποία γίνεται αφενός διάκριση μεταξύ των πληθυσμών των υψόμετρων όλων των σημείων του προφίλ-κατατομής (τραχυμέτρηση) και υψόμετρων των κορυφών των λόφων και αφετέρου λεπτομερής αποκωδικοποίηση της επίδρασης της καμπυλότητας στην κορυφή του λοφίσκου.

Η τεκμηρίωση των συμπερασμάτων και προτάσεων που έπονται γίνεται όπως έχει ήδη προαναφερθεί με βάση υπολογιστικό κώδικα που αναπτύσσεται συνεχώς και εξελίσσεται στο τμήμα μηχανολόγων μηχανικών του πανεπιστημίου Θεσσαλίας, ώστε να γίνει πλήρως κατανοητή η αξία της συγκεκριμένης προσέγγισης.



Σχήμα 1.14: Λεπτομέρεια επιφάνειας επαφής 1^{ου} δακτυλίου και κυλίνδρου ΜΕΚ. Κατατομή δακτυλίου καμπύλη (συγκλίνουσα - αποκλίνουσα περιοχή), επιφάνεια κυλίνδρου τραχεία .

1.3 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΚΥΛΙΝΔΡΟΥ ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ ΣΕ ΜΑΚΡΟ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟ ΚΛΙΜΑΚΑ

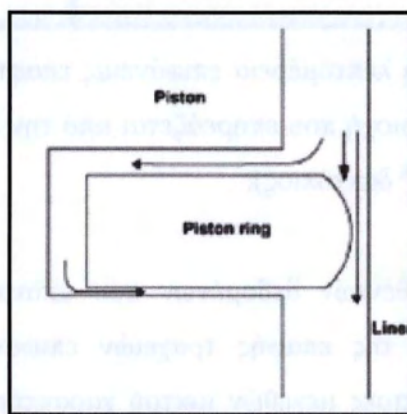
Στη συνέχεια, παρουσιάζονται χαρακτηριστικές παράμετροι τραχύτητας, οι οποίες οφείλουν να λαμβάνονται υπόψη για το θεωρητικό μοντέλο που προσεγγίζει ο υπολογιστικός κώδικας OIL FILM 2010. Οι παράμετροι αυτοί είναι :

Η **μέση ακτίνα καμπυλότητας** των κορυφών των λοφίσκων, η οποία θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει κάθε λοφίσκο τα υψόμετρα, του οποίου και μόνο, μεταβάλλονται πάνω στην επιφάνεια $\Delta x \Delta y$.

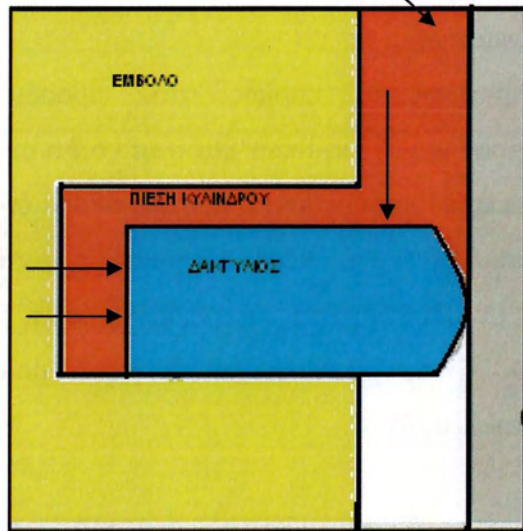
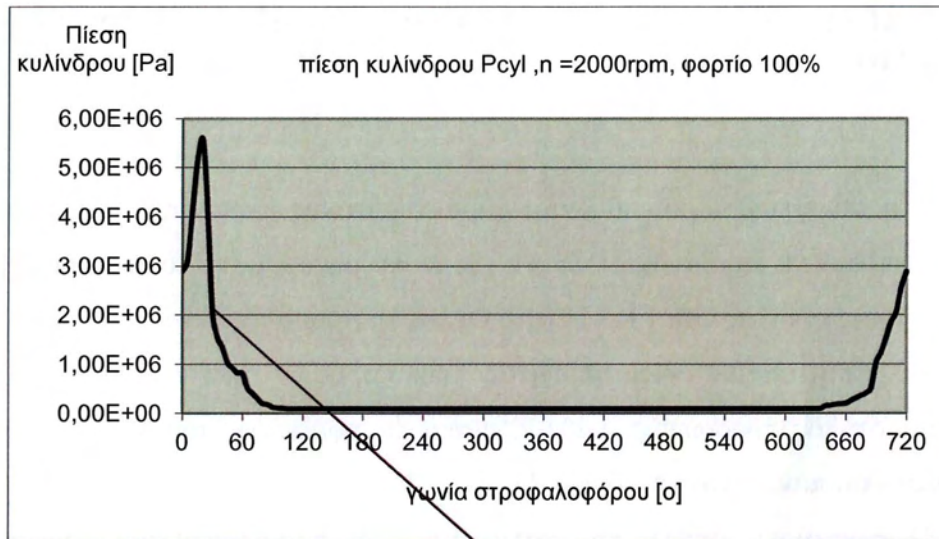
Η **συνεχής καμπύλη της κατανομής** των προαναφερθέντων **υψομέτρων κορυφών λόφων** καθώς και

Η αντίστοιχη **καμπύλη κατανομής** όλων των **υψομέτρων των σημείων** του προφίλ της τραχείας επιφάνειας.

Δυσκολία αντιμετωπίζεται κυρίως στον προσδιορισμό της **ακτίνας καμπυλότητας** των κορυφών των λοφίσκων και τούτο διότι σε περίπτωση φθαρμένης επιφάνειας, τα οροπέδια που δημιουργούνται μετά τη φθορά έχουν πάρα πολύ μεγάλη ακτίνα καμπυλότητας, που τείνει στο άπειρο οδηγώντας το αντίστοιχο ιστόγραμμα σε πολύ μεγάλη εξάπλωση μεταξύ ελάχιστης και μέγιστης τιμής, γεγονός που οδηγεί στη μορφή καμπύλης τύπου “J” που δε μπορεί να περιγράψει με σαφήνεια και ακρίβεια σειρά πειραματικών αποτελεσμάτων.

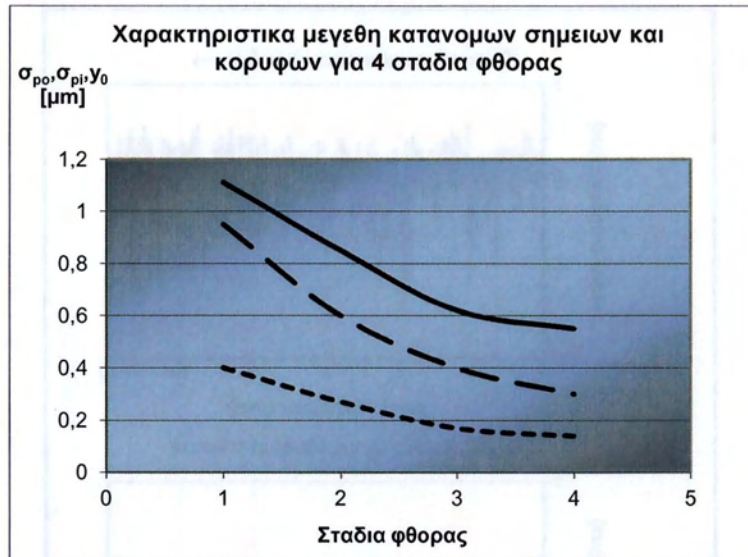


Σχήμα 1.15: Επίδραση της πίεσης του κυλίνδρου πάνω στην λειτουργική συμπεριφορά του 1^{ου} δακτυλίου (αύξηση του φορτίου επαφής)

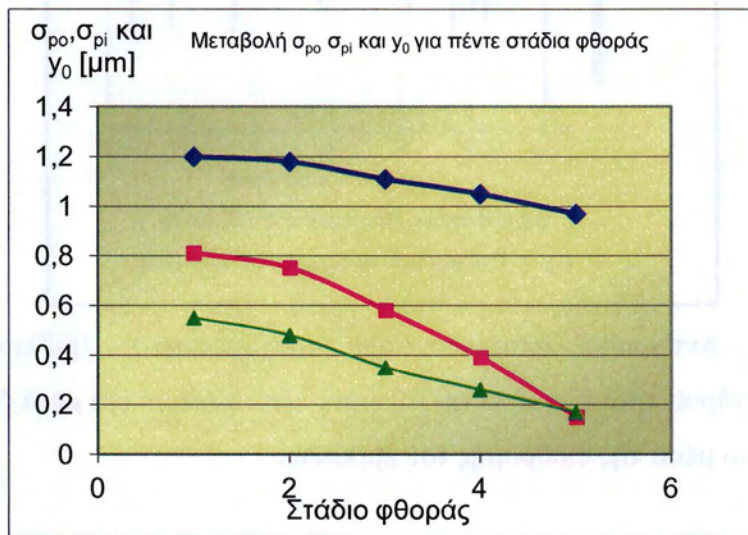


Σχήμα 1.16: Σχηματική λεπτομέρεια επιφάνειας επαφής δακτυλίου κυλίνδρου, στην οποία εμφανίζεται η περιοχή που επηρεάζεται από την πίεση του κυλίνδρου (περιοχή χρώματος πορτοκαλί, 1^{ος} δακτύλιος).

Εκτός των προαναφερθέντων δεδομένων που απαιτούνται για την επίλυση του τεχνικού προβλήματος της επαφής τραχειών επιφανειών κυλίνδρου- δακτυλίων δίνονται στη συνέχεια τιμές μεγεθών μικτού χαρακτήρα όπως $\eta\beta\sigma$, σ/β , καθώς και των μεγεθών σ_{pi} και σ_{po} και γ_0 που αναφέρονται αντίστοιχα στους πληθυσμούς των κορυφών και των σημείων καθώς και στην διαφορά των μέσων όρων τους.



(α)



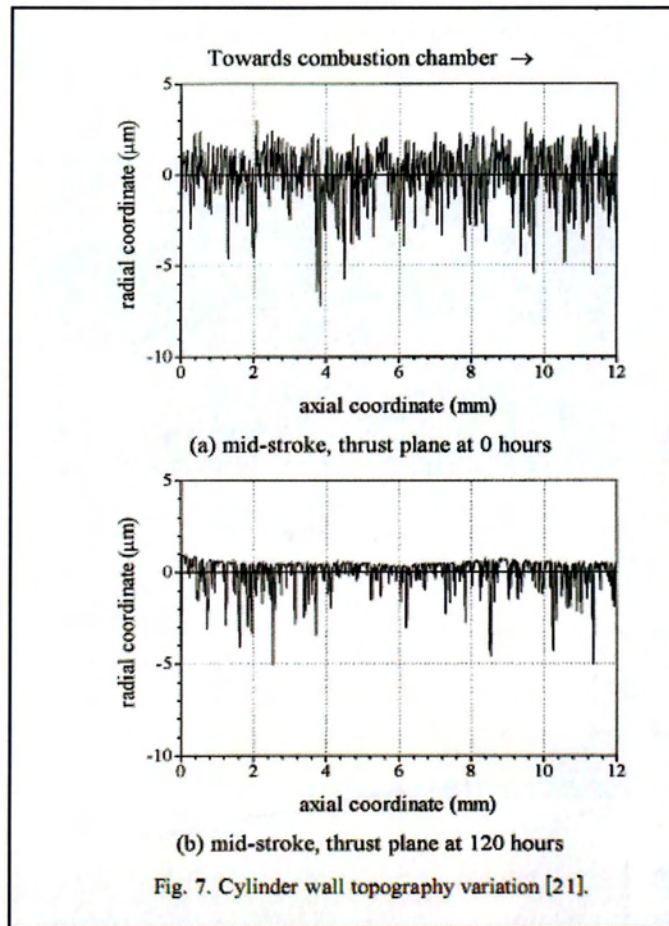
(β)

Σχήμα 1.17: Διάγραμμα μεταβολής των παραμέτρων σ_{ρ_0} , σ_{ρ_i} και γ_0 για τέσσερα διαφορετικά στάδια φθοράς. (α) Μέτρηση σε κύλινδρο MEK Renault. (β) Προσομοίωση φθοράς σε συνθετικά προφίλ.

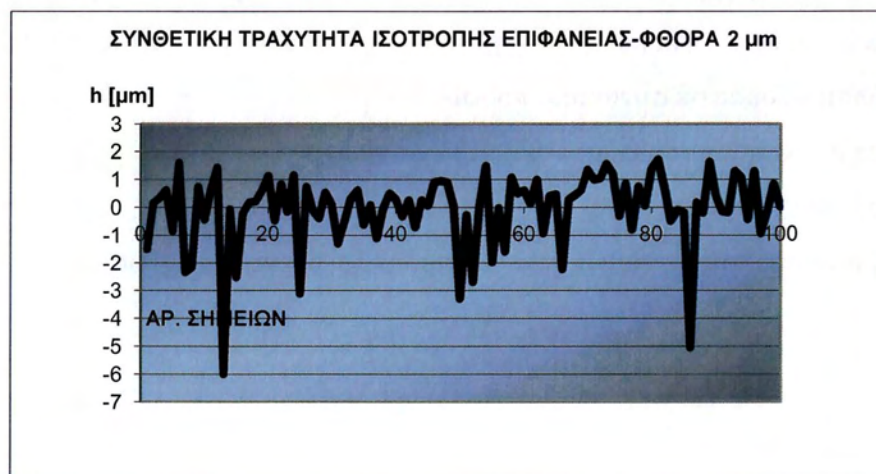
σ_{ρ_0} : τυπική απόκλιση κατανομής υψομέτρων σημείων

σ_{ρ_i} : τυπική απόκλιση κατανομής υψομέτρων κορυφών λόφων

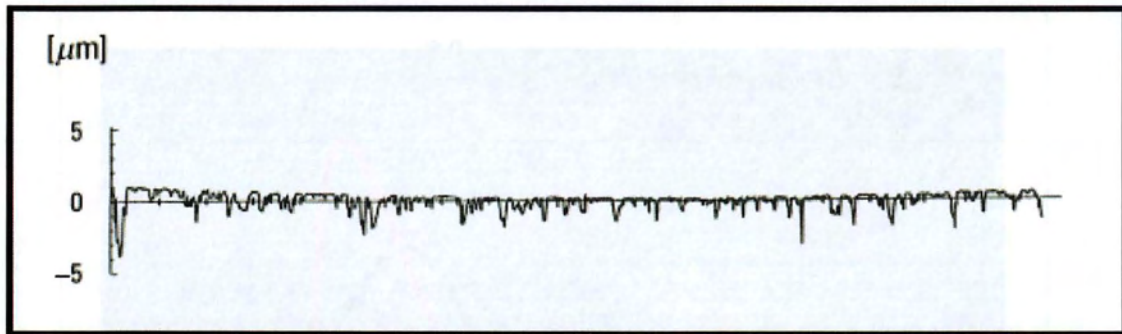
γ_0 : διαφορά μεταξύ μέσων τιμών των δύο προαναφερθέντων πληθυσμών



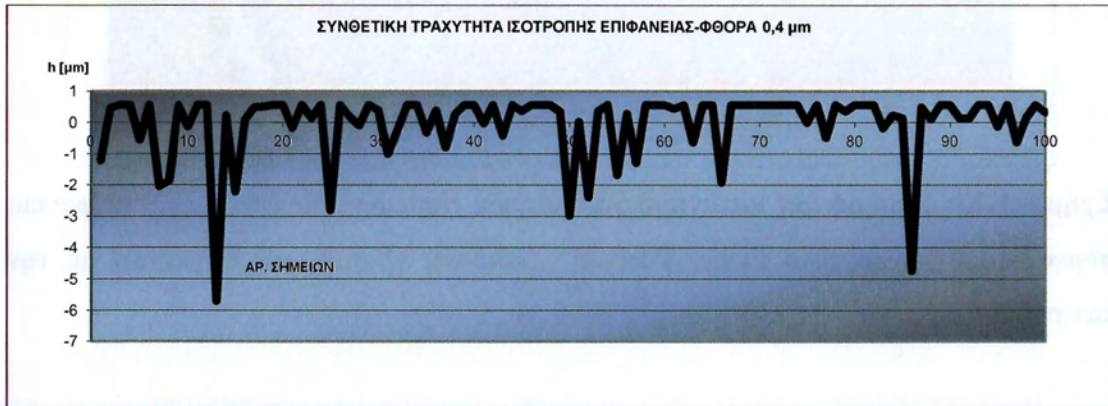
Σχήμα 1.18: Αντίγραφα αποτελεσμάτων τραχυμέτρησης (βιβλιογραφία) για επιφάνεια κυλίνδρου πριν τη χρήση (a) (0 ώρες λειτουργίας) και μετά (b) (120 ώρες λειτουργίας) στο μέσο της διαδρομής του εμβόλου.



Σχήμα 1.19: Συνθετική τραχύτητα (προσομοίωση) που λαμβάνεται υπόψη στον υπολογιστικό κώδικα.

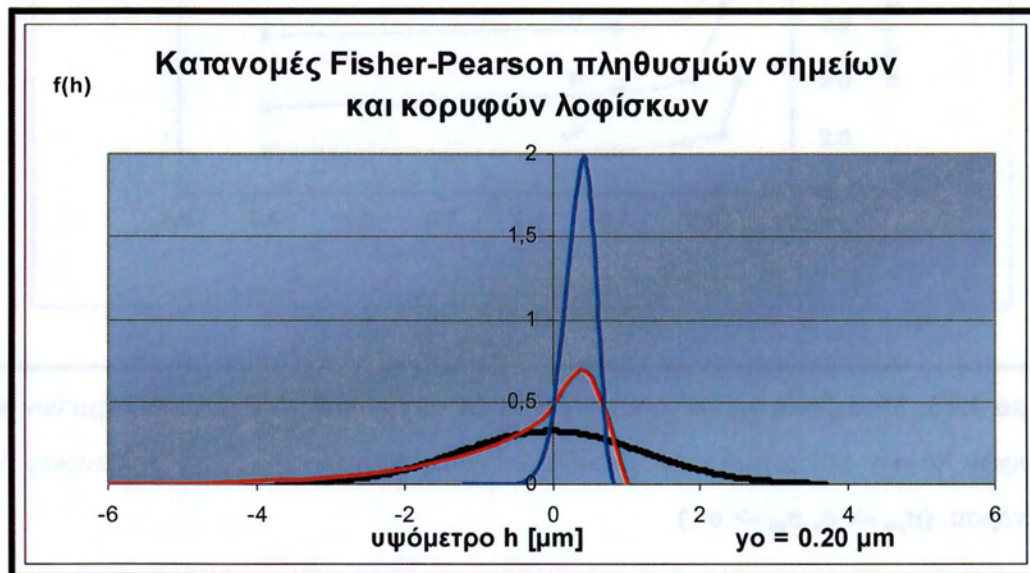


(α)

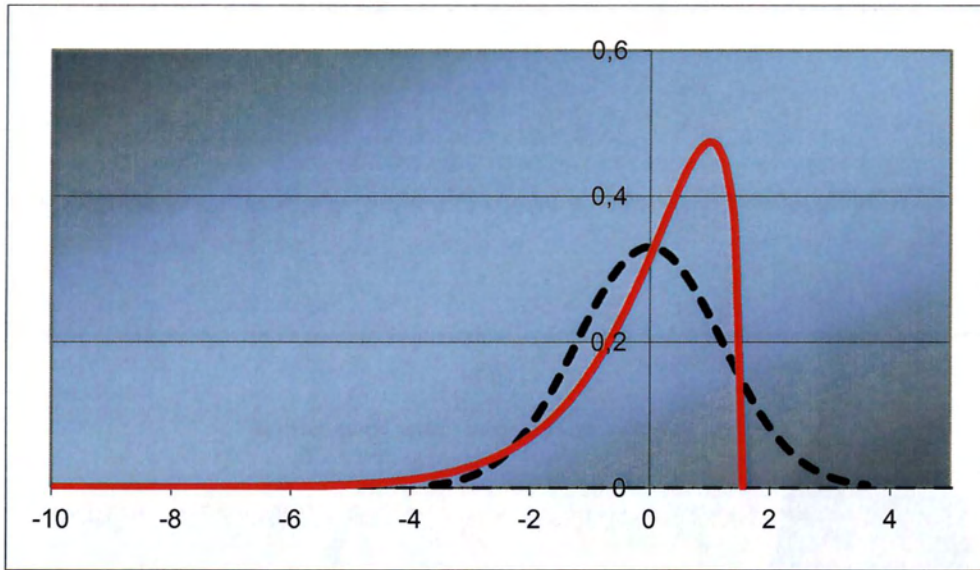


(β)

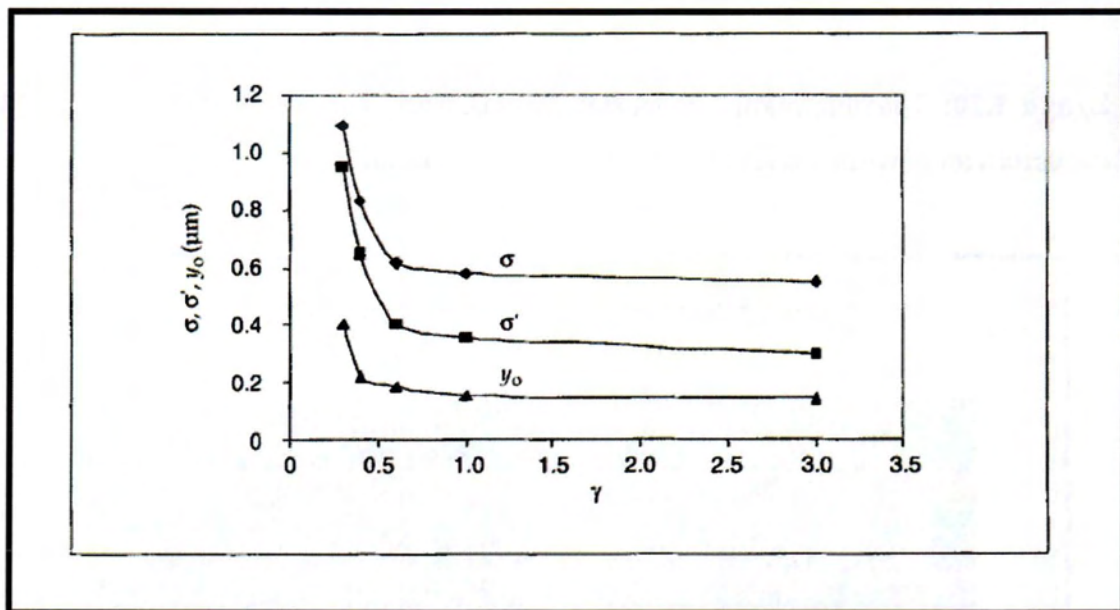
Σχήμα 1.20: Τραχυμέτρηση “στρωμένης” επιφάνειας κυλίνδρου MEK (α) και (β) συνθετική ισοδύναμη τραχύτητα του υπολογιστικού κώδικα.



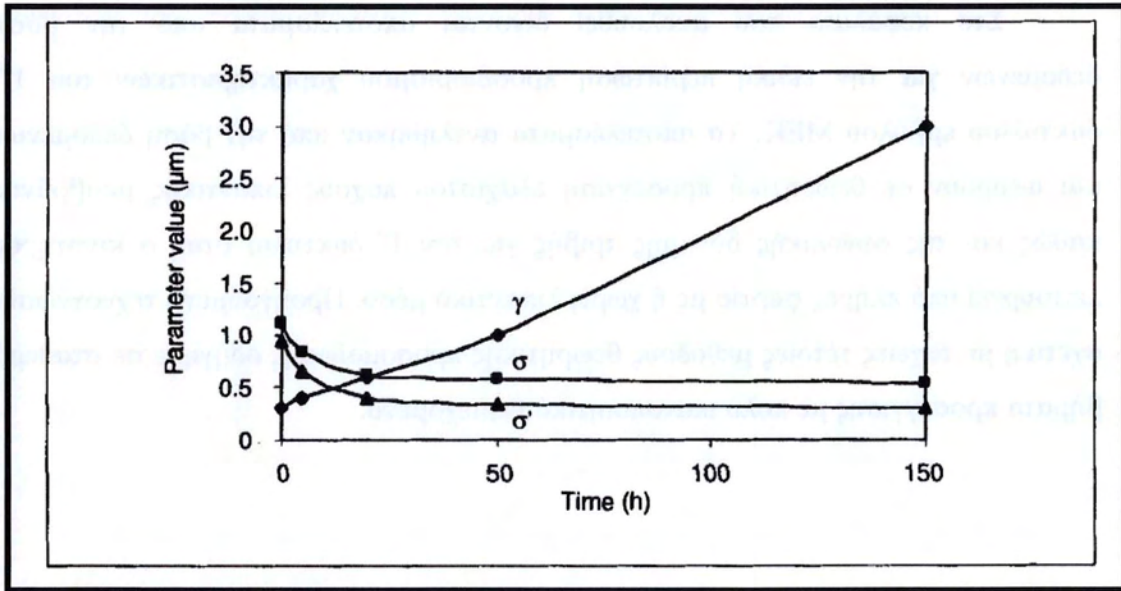
Σχήμα 1.21: Κατανομές υψομέτρων σημείων (κόκκινη γραμμή) και υψομέτρων κορυφών λοφίσκων (μπλε γραμμή) σε σύγκριση με την κατανομή Gauss που προτείνεται και για τους δυο πληθυσμούς για λόγους απλότητας στην διεθνή βιβλιογραφία.



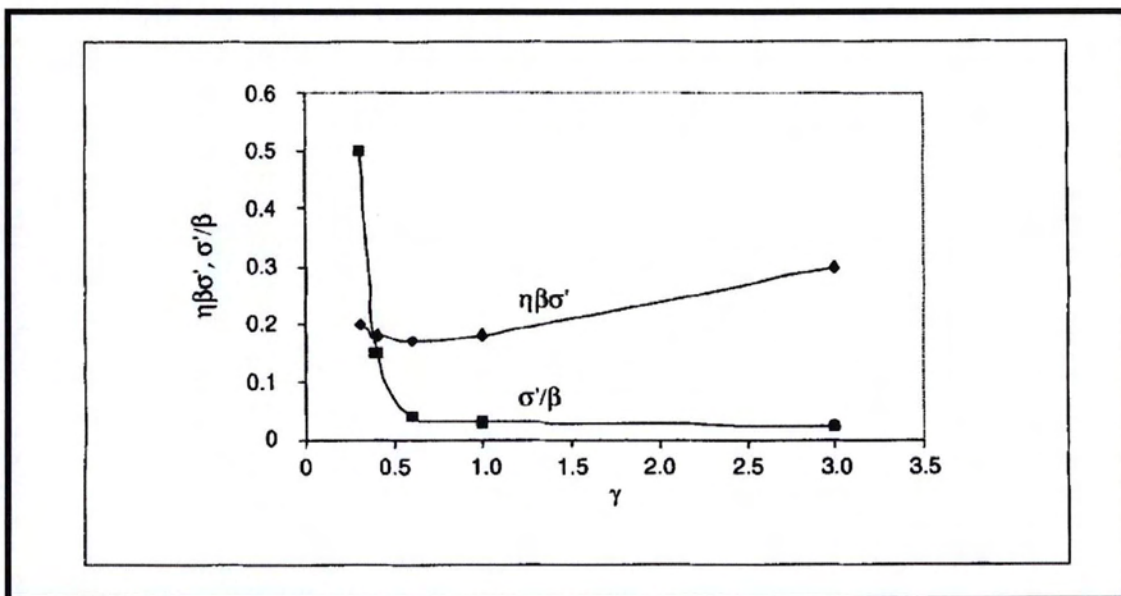
Σχήμα 1.22: Ασύμμετρη κατανομή υψομέτρων σημείων για φθαρμένη επιφάνεια σύμφωνα με το μοντέλο Fisher Pearson (κόκκινη γραμμή) σε σύγκριση με την κατανομή Gauss.



Σχήμα 1.23: Μεταβολή χαρακτηριστικών τιμών κατανομών υψομέτρων σημείων και κορυφών λόφων συναρτήσει της μεταβαλλόμενης ανισοτροπίας της επιφάνειας του κυλίνδρου. ($\sigma_{p0} \rightarrow \sigma$, $\sigma_{pi} \rightarrow \sigma'$)



Σχήμα 1.24: Μεταβολή χαρακτηριστικών τιμών κατανομών υψομέτρων σημείων και κορυφών λόφων και ανισοτροπίας συναρτήσει του χρόνου φθοράς. ($\sigma_{p0} \rightarrow \sigma$, $\sigma_{pi} \rightarrow \sigma'$)

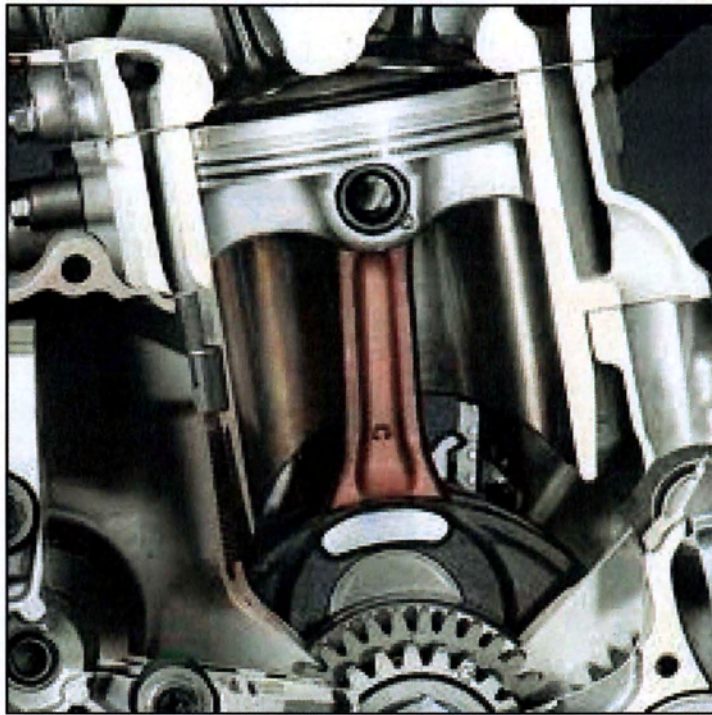


Σχήμα 1.25: Μεταβολή χαρακτηριστικών τιμών κατανομών υψομέτρων σημείων και κορυφών λόφων συναρτήσει της μεταβαλλόμενης ανισοτροπίας της επιφάνειας του κυλίνδρου. ($\sigma_{p0} \rightarrow \sigma$, $\sigma_{pi} \rightarrow \sigma'$)

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί δίνονται αποτελέσματα από την βάση δεδομένων για την ειδική περίπτωση προσδιορισμού χαρακτηριστικών του 1^{ου} δακτυλίου εμβόλου ΜΕΚ. Τα αποτελέσματα αντλήθηκαν από την βάση δεδομένων και αφορούν σε θεωρητική προσέγγιση ελαχίστου πάχους λιπαντικής μεμβράνης καθώς και της συνολικής δύναμης τριβής για τον 1^ο δακτύλιο όταν ο κινητήρας λειτουργεί υπό πλήρες φορτίο με ή χωρίς λιπαντικό μέσο. Προηγούμενη τεχνογνωσία σχετική με ταχείες τέτοιες μεθόδους θεωρητικής προσομοίωσης οδήγησε σε σταθερά βήματα προσέγγισης με πολύ ικανοποιητικό περιεχόμενο.

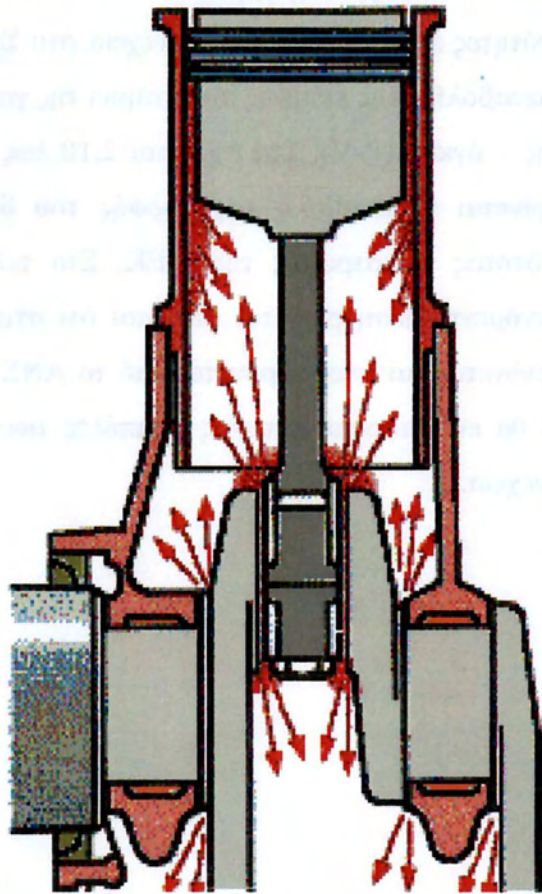
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΔΕΔΟΜΕΝΑ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ



Σχηματική τομή του υπό μελέτη συστήματος εμβόλου δακτυλίων ΜΕΚ

Στο 2^ο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν γραμμές τάσης με την βοήθεια πολυωνύμων, οι οποίες βοηθούν στον υπολογισμό χαρακτηριστικών μεγεθών με βάση αναλυτικούς τύπους κι επιπλέον στη δυνατότητα προσδιορισμού των χαρακτηριστικών αυτών σε ενδιάμεσες συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα με την χρήση παρεμβολών. Επειδή η προσέγγιση αναφέρεται στον πλήρη κύκλο και σε πλήρες φορτίο, που εμφανίζει αδυναμία να αντιμετωπιστεί με ενιαίο τρόπο, με τη διαδικασία του «μερισμού» γίνεται επί μέρους προσέγγιση κυρίως όσον αναφορά στη λιπαντική μεμβράνη για κάθε χρόνο ξεχωριστά (εκτόνωση, εξαγωγή, εισαγωγή, συμπίεση) με συμμετρικές τις δύο περιόδους εξαγωγής και εισαγωγής αντίστοιχα.



Σχήμα 2.1: Σχηματική τομή ακραίου κυλίνδρου MEK που καταδεικνύει τον τρόπο με τον οποίο λιπαίνονται τα έδρανα του στροφαλοφόρου, το κομβίο του διωστήρα, καθώς και η περιοχή εμβόλου / δακτυλίων / κυλίνδρου

2. ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΑΧΕΙΑΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ ΤΡΙΒΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ ΕΜΒΟΛΟΥ ΥΠΟ ΦΟΡΤΙΟ

Στην παρούσα διπλωματική το βασικότερο νέο στοιχείο το οποίο λαμβάνουμε υπ' όψη, με σκοπό μάλιστα την επίτευξη μιας ταχείας προσέγγισης των θεωρητικών αποτελεσμάτων, είναι η πίεση των αερίων του θαλάμου καύσεως MEK. Η πίεση αυτή, δεδομένα της οποίας έχουν ληφθεί υπ' όψη για φορτίο 100% συγκεκριμένης κατασκευής MEK τύπου Renault, επηρεάζει κυρίως το φορτίο επαφής 1^{ΟΥ} δακτυλίου και μάλιστα κατά το τέλος «του χρόνου» της συμπίεσης και κατά την έναρξη «του χρόνου» της εκτόνωσης, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 2.2). Στα σχήματα 2.4 έως 2.8 δίνονται επίσης διαγράμματα πίεσης κυλίνδρου για φορτίο 100% για διαφορετικές συχνότητες περιστροφής. Στη συνέχεια στο Σχήμα 2.9 δίνεται μαζί με το διάγραμμα της μεταβολής της πίεσεως συναρτήσει της γωνίας στροφαλοφόρου τα διαγράμματα πίεσης – όγκου (P-V). Στα σχήματα 2.10 έως 2.14, καθώς και στα 2.15 έως 2.17, διακρίνεται η μεταβολή της μορφής του διαγράμματος P – V συναρτήσει της συχνότητας περιστροφής της MEK. Στα τελευταία διαγράμματα δίνεται η μέση ενδεικνύμενη πίεση p_i . Έτσι φαίνεται ότι στις υψηλές στροφές το μέγεθος της πίεσης μειώνεται και απομακρύνεται από το ANΣ. Την διαφοροποίηση αυτή είναι βέβαιο ότι θα εντοπίσουμε και στις καμπύλες των αποτελεσμάτων που εμφανίζονται στην συνέχεια.

2.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

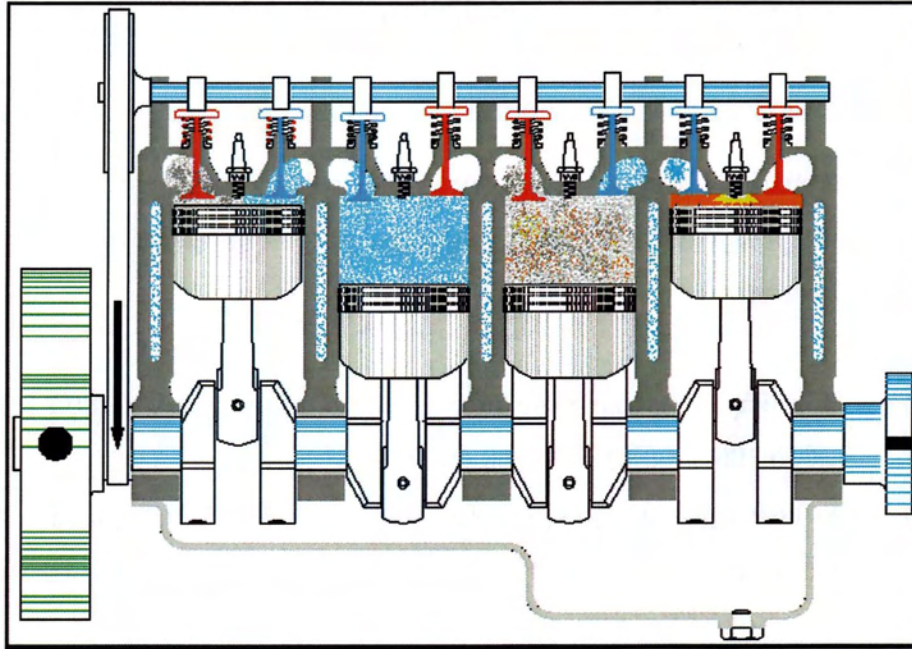
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών για δακτυλίους εμβόλων MEK συγκεκριμένης γεωμετρίας με μεταβαλλόμενες τις τιμές των εξής παραμέτρων :

- 1) **Συχνότητα περιστροφής**, μεταβολή από 2000-6000 rpm (2000,3000,4000,5000,5500,6000 rpm)
- 2) **Χαρακτηριστικά μικρογεωμετρίας** της ισοδύναμης τραχειάς επιφάνειας που αντιστοιχούν και σε μία κατάσταση φθοράς.

(1^η κατάσταση : $\eta\beta\sigma' = 0,20$ $\sigma'/\beta = 0,05$ $\sigma = 1,1\mu\text{m}$ $\sigma' = 0,95\mu\text{m}$
 $y_0 = 0,40\mu\text{m}$)

(2^η κατάσταση : $\eta\beta\sigma' = 0,17$ $\sigma'/\beta = 0,004$ $\sigma = 0,82\mu\text{m}$ $\sigma' = 0,40\mu\text{m}$
 $y_0 = 0,17\mu\text{m}$)

(3^η κατάσταση : $\eta\beta\sigma' = 0,30$ $\sigma'/\beta = 0,0028$ $\sigma = 0,55\mu\text{m}$ $\sigma' = 0,30\mu\text{m}$ $y_0 = 0,14\mu\text{m}$)



Σχήμα 2.2: Σχηματική τομή τετρακύλινδρης βενζινομηχανής σε σειρά. Η επίδραση της πίεσης των αερίων εμφανίζεται στον κύλινδρο 4 (εκτόνωση), καθώς και στον κύλινδρο 2 (συμπίεση). Στους κυλίνδρους 1 και 3 η επίδραση αυτή είναι αμελητέα.

Η γεωμετρία του κινητήρα MEK έχει ως εξής :

Διάμετρος εμβόλου: 88mm

Πάχος (μήκος) δακτυλίων: 1,75mm (για 1^ο και 2^ο δακτύλιο) και 2*0,25 (για τον 3^ο)

Ελαστική πίεση επαφής: 200000 Pa (για 1^ο και 2^ο δακτύλιο) και 700000 Pa (για τον 3^ο)

Διαδρομή εμβόλου: 84mm

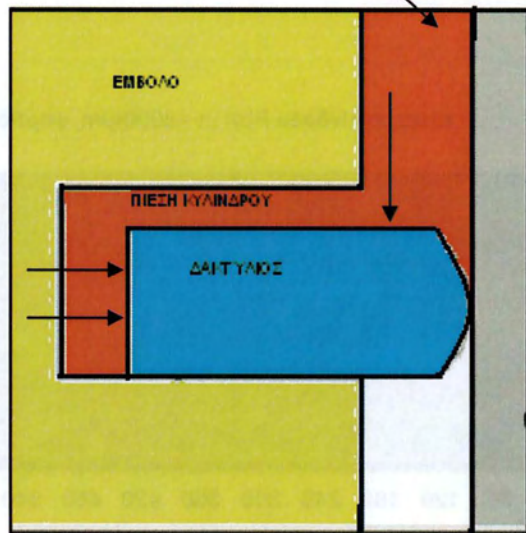
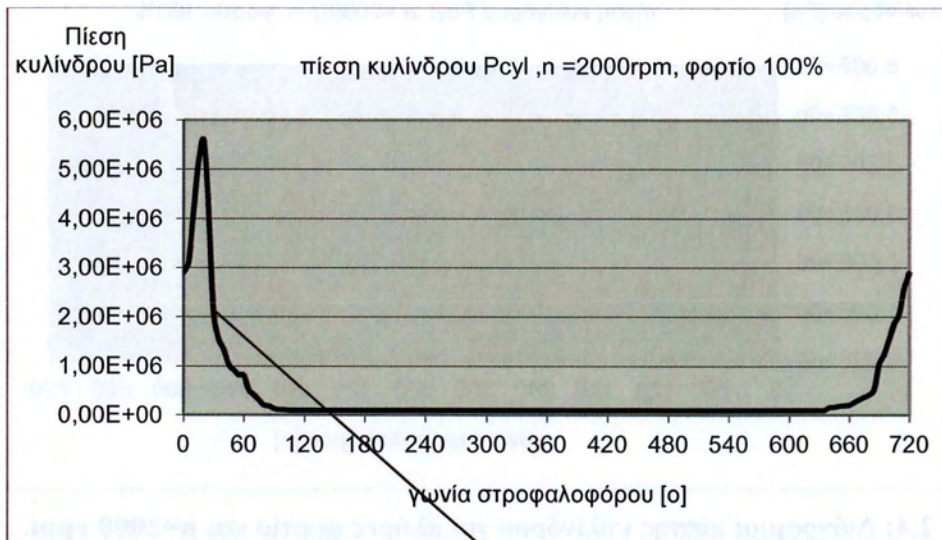
Μήκος διωστήρα: 136mm

Όγκος κυλίνδρου: 511cm³

Συνολικός κυβισμός: 2044 cm³ ή 2,00Lt

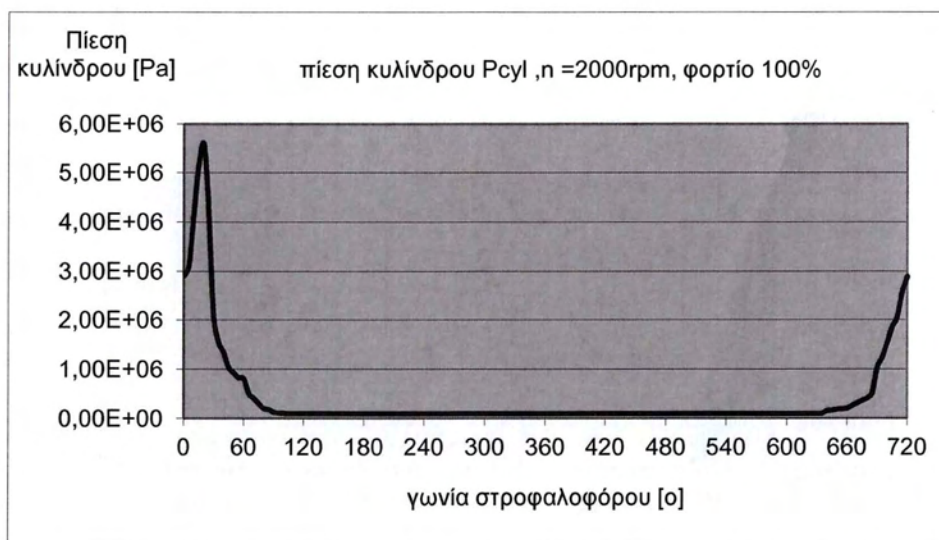
Η Ακτίνα καμπυλότητας του 1^{ΟΥ} δακτυλίου είναι 15mm.

Τιμή ιξώδους: $\eta=7,39$ mPas (λιπαντικό ELF 15W40 120^ΟC)

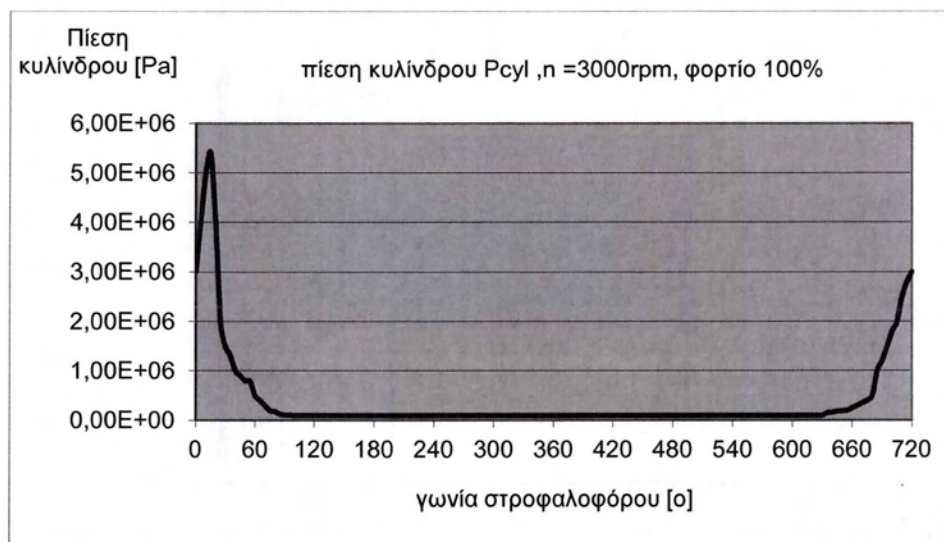


Σχήμα 2.3: Σχηματική λεπτομέρεια επιφάνειας επαφής δακτυλίου κυλίνδρου, στην οποία εμφανίζεται η περιοχή που επηρεάζεται από την πίεση του κυλίνδρου (περιοχή χρώματος πορτοκαλί, 1^{ος} δακτύλιος).

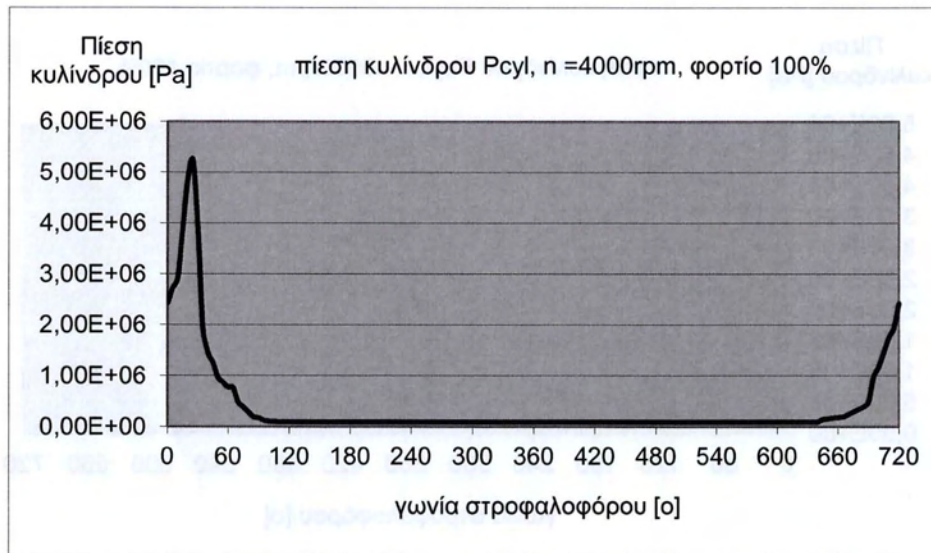
Για τους υπολογισμούς ελήφθησαν υπόψη **κατανομές πιέσεων μέσα στον κύλινδρο** για όλους τους χρόνους τετράχρονης MEK (μετρήσεις Renault σε παρόμοιες γεωμετρίες κινητήρα), που παρουσιάζονται στη συνέχεια.



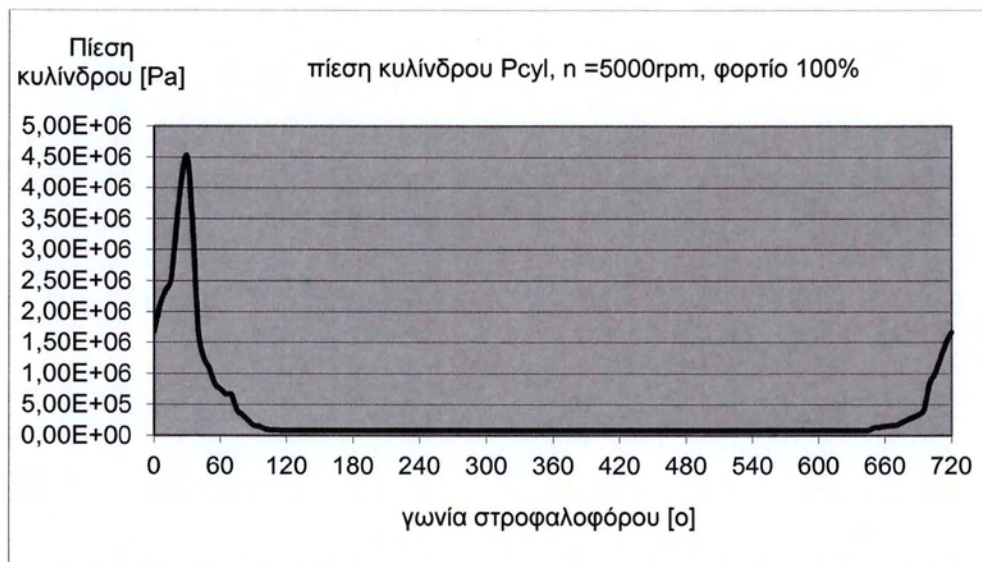
Σχήμα 2.4: Διάγραμμα πίεσης κυλίνδρου για πλήρες φορτίο και **n=2000 rpm**. Πειραματικά δεδομένα κινητήρα αντίστοιχου κυβισμού κατασκευής Renault. 0° – 180° Εκτόνωση, 180° – 360° Εξαγωγή, 360° – 540° Εισαγωγή, 540° – 720° Συμπίεση.



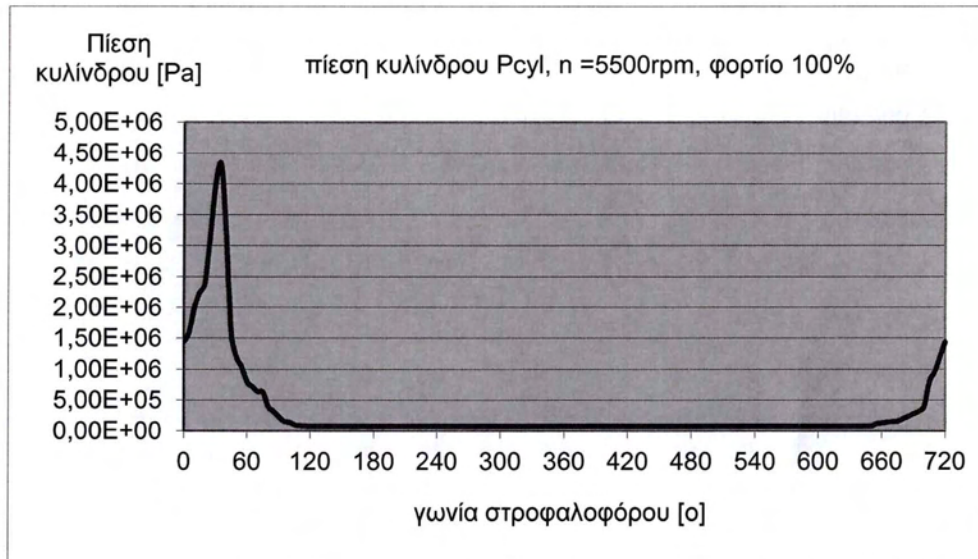
Σχήμα 2.5: Διάγραμμα πίεσης κυλίνδρου για πλήρες φορτίο και **n=3000 rpm**. Πειραματικά δεδομένα κινητήρα αντίστοιχου κυβισμού κατασκευής Renault. 0° – 180° Εκτόνωση, 180° – 360° Εξαγωγή, 360° – 540° Εισαγωγή, 540° – 720° Συμπίεση.



Σχήμα 2.6: Διάγραμμα πίεσης κυλίνδρου για πλήρες φορτίο και **n=4000 rpm**. Πειραματικά δεδομένα κινητήρα αντίστοιχου κυβισμού κατασκευής Renault 0° – 180° Εκτόνωση, 180° – 360° Εξαγωγή, 360° – 540° Εισαγωγή, 540° – 720° Συμπίεση.

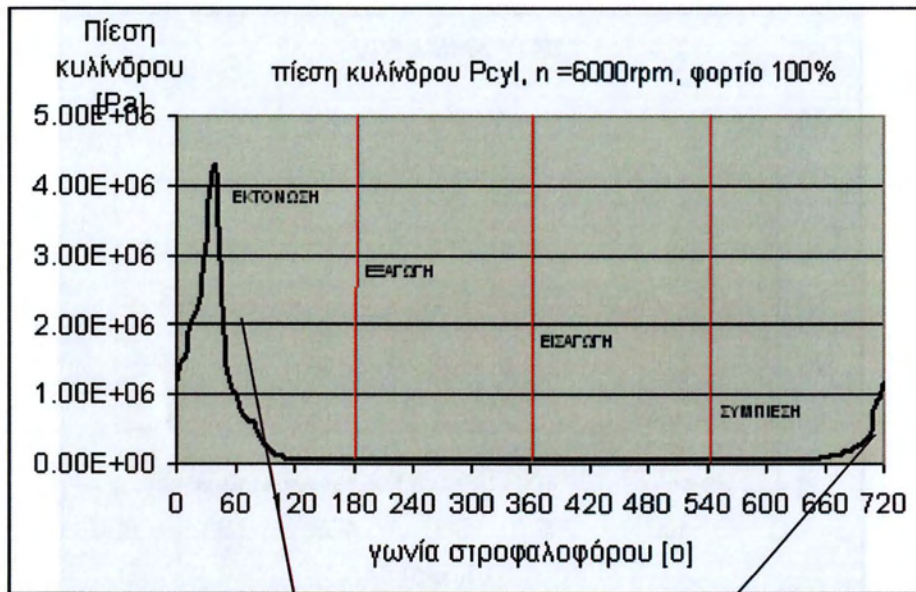


Σχήμα 2.7: Διάγραμμα πίεσης κυλίνδρου για πλήρες φορτίο και **n=5000 rpm**. Πειραματικά δεδομένα κινητήρα αντίστοιχου κυβισμού κατασκευής Renault 0° – 180° Εκτόνωση, 180° – 360° Εξαγωγή, 360° – 540° Εισαγωγή, 540° – 720° Συμπίεση.

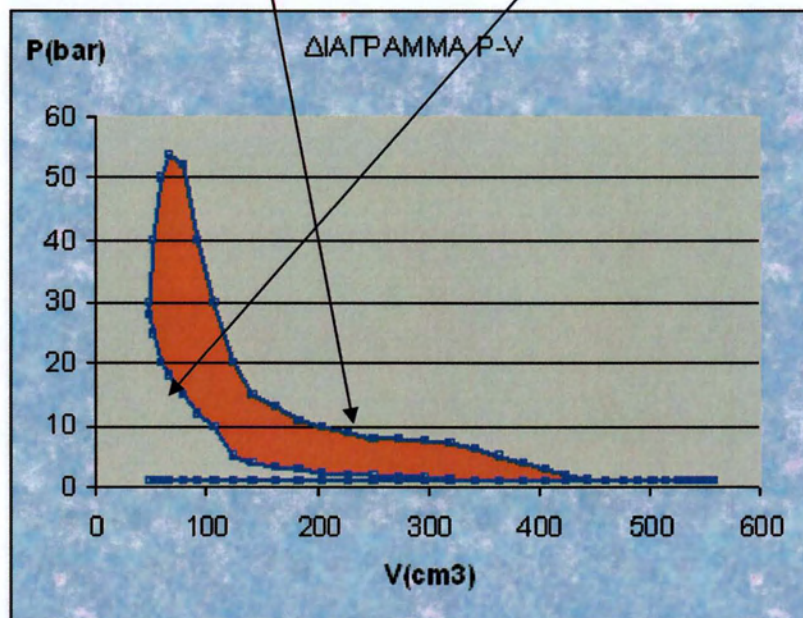


Σχήμα 2.8: Διάγραμμα πίεσης κυλίνδρου για πλήρες φορτίο και **n=5500 rpm**.

Πειραματικά δεδομένα κινητήρα αντίστοιχου κυβισμού κατασκευής Renault
 $0^{\circ} - 180^{\circ}$ Εκτόνωση, $180^{\circ} - 360^{\circ}$ Εξαγωγή, $360^{\circ} - 540^{\circ}$ Εισαγωγή, $540^{\circ} - 720^{\circ}$
 Συμπίεση.

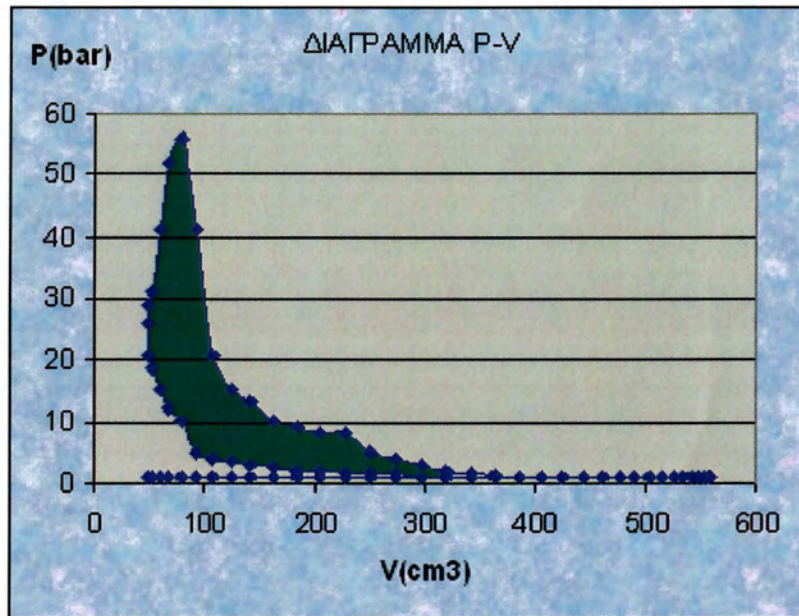


α) Διάγραμμα πίεσης κυλίνδρου για πλήρες φορτίο και $n=6000 \text{rpm}$. Πειραματικά δεδομένα κινητήρα αντίστοιχου κυβισμού κατασκευής Renault

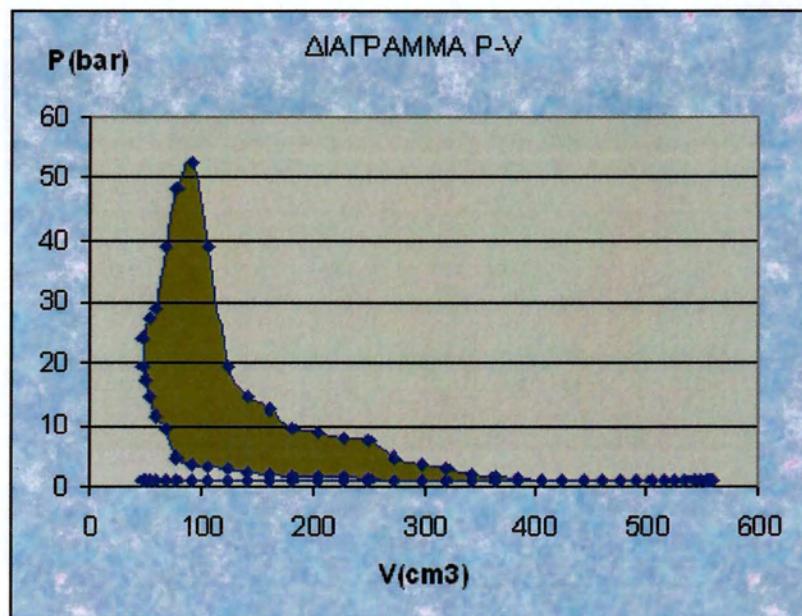


β) Διάγραμμα πίεσης — όγκου κυλίνδρου για πλήρες φορτίο και $n=2000 \text{rpm}$. Πειραματικά δεδομένα κινητήρα αντίστοιχου κυβισμού κατασκευής Renault.

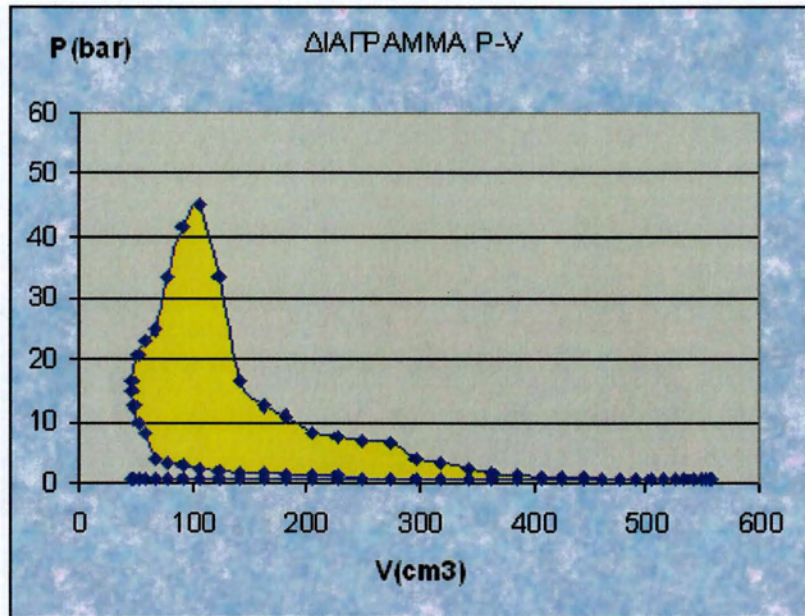
Σχήμα 2.9: Απεικόνιση των χρόνων επίδρασης της πίεσης του κυλίνδρου πάνω στην επαφή δακτυλίου / κυλίνδρου. Οι χρόνοι εισαγωγής και εξαγωγής δεν επιδρούν στην αύξηση του φορτίου επαφής.



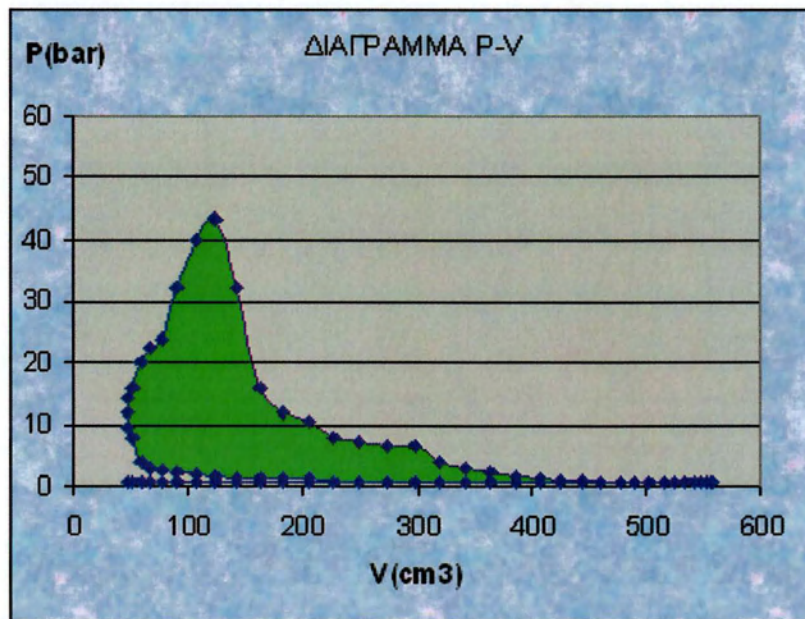
Σχήμα 2.10: Διάγραμμα πίεσης — όγκου κυλίνδρου για πλήρες φορτίο και $n=2000$ rpm. Πειραματικά δεδομένα κινητήρα αντίστοιχου κυβισμού κατασκευής Renault.



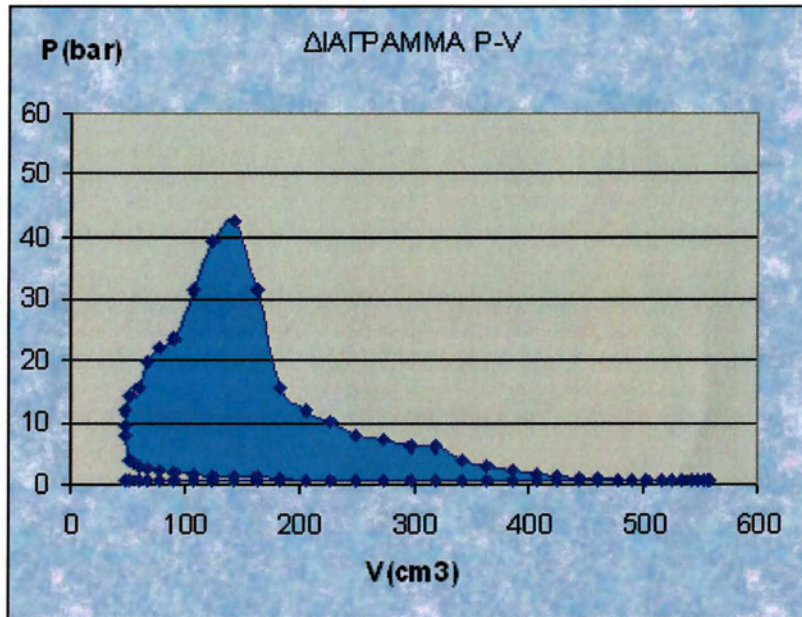
Σχήμα 2.11: Διάγραμμα πίεσης — όγκου κυλίνδρου για πλήρες φορτίο και $n=4000$ rpm. Πειραματικά δεδομένα κινητήρα αντίστοιχου κυβισμού κατασκευής Renault.



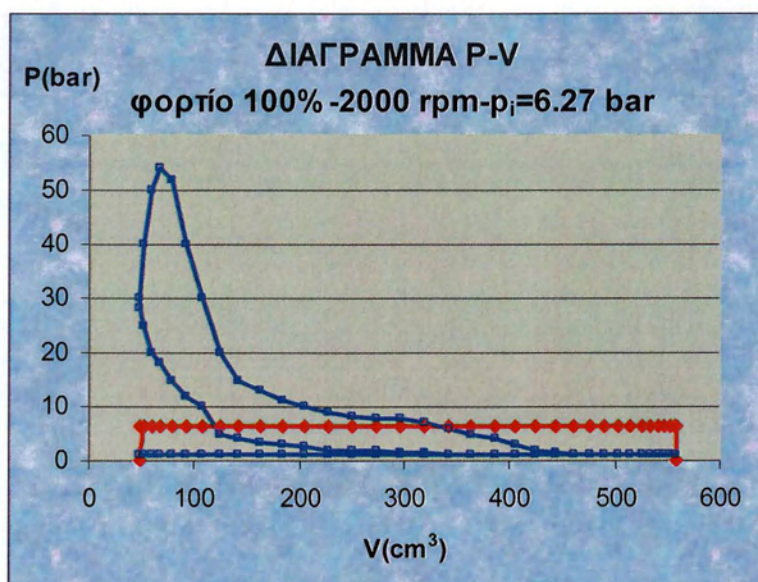
Σχήμα 2.12: Διάγραμμα πίεσης — όγκου κυλίνδρου για πλήρες φορτίο και $n=5000$ rpm. Πειραματικά δεδομένα κινητήρα αντίστοιχου κυβισμού κατασκευής Renault.



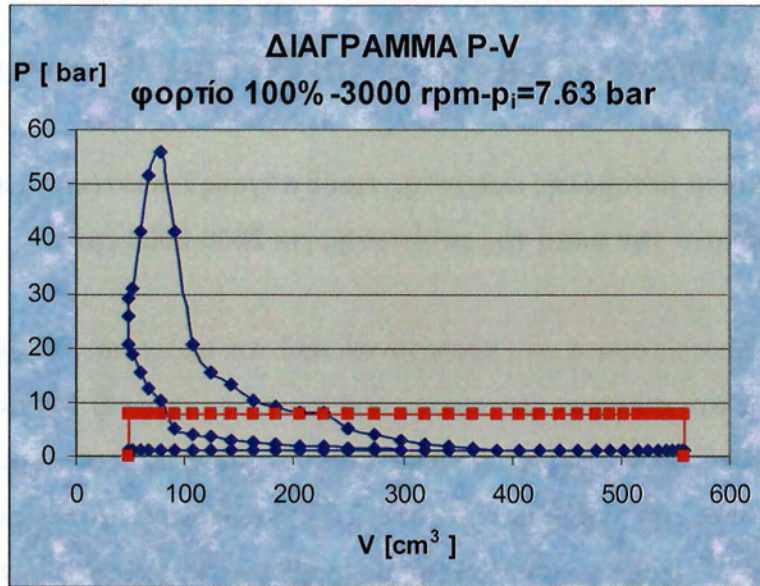
Σχήμα 2.13: Διάγραμμα πίεσης — όγκου κυλίνδρου για πλήρες φορτίο και $n=5500$ rpm. Πειραματικά δεδομένα κινητήρα αντίστοιχου κυβισμού κατασκευής Renault.



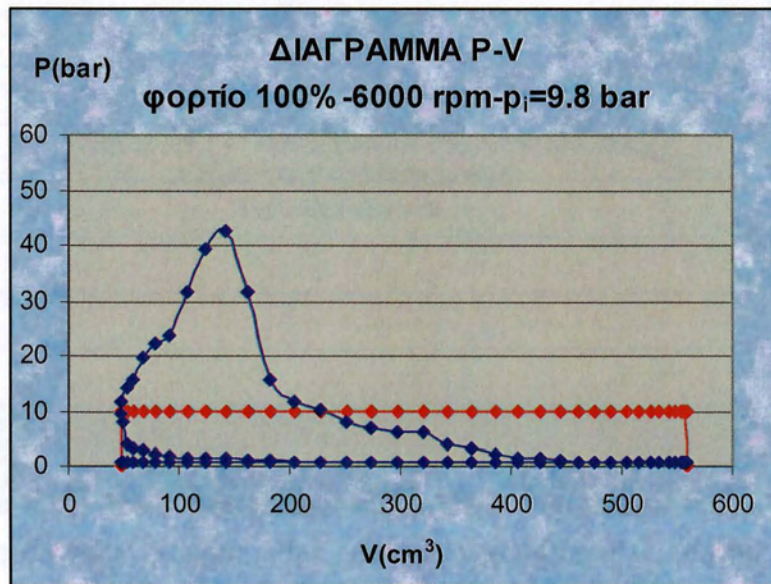
Σχήμα 2.14: Διάγραμμα πίεσης — όγκου κυλίνδρου για πλήρες φορτίο και $n=6000$ rpm. Πειραματικά δεδομένα κινητήρα αντίστοιχου κυβισμού κατασκευής Renault.



Σχήμα 2.15: Διάγραμμα P-V για πλήρες φορτίο και $n=2000$ rpm. Πειραματικά δεδομένα κινητήρα αντίστοιχου κυβισμού κατασκευής Renault.



Σχήμα 2.16: Διάγραμμα P-V για πλήρες φορτίο και $n=3000$ rpm. Πειραματικά δεδομένα κινητήρα αντίστοιχου κυβισμού κατασκευής Renault.

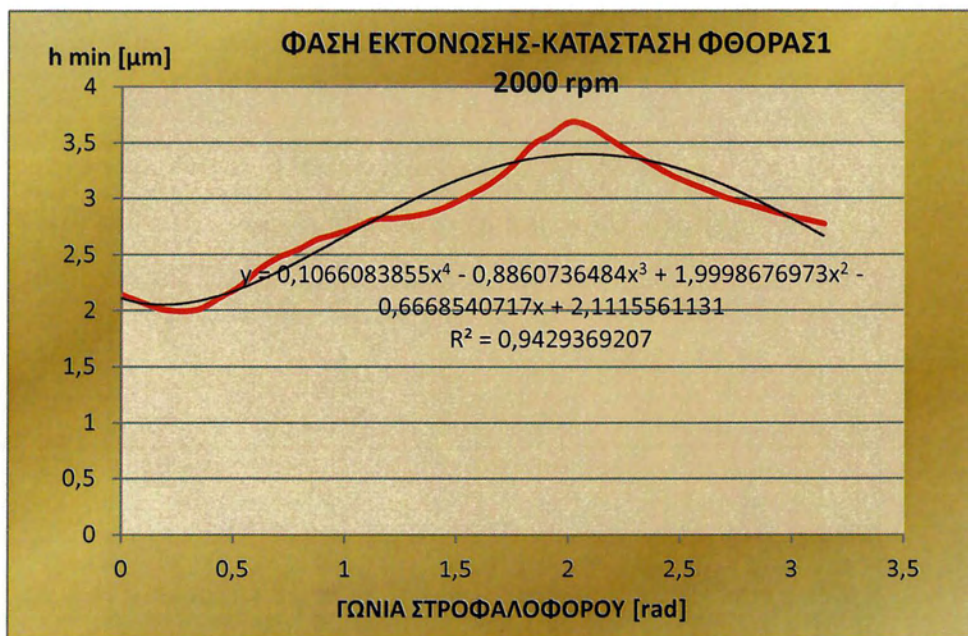


Σχήμα 2.17: Διάγραμμα P-V για πλήρες φορτίο και $n=6000$ rpm. Πειραματικά δεδομένα κινητήρα αντίστοιχου κυβισμού κατασκευής Renault.

2.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΩΔΙΚΑΣ OILFILM - ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΑΧΟΥΣ ΛΙΠΑΝΤΙΚΗΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ

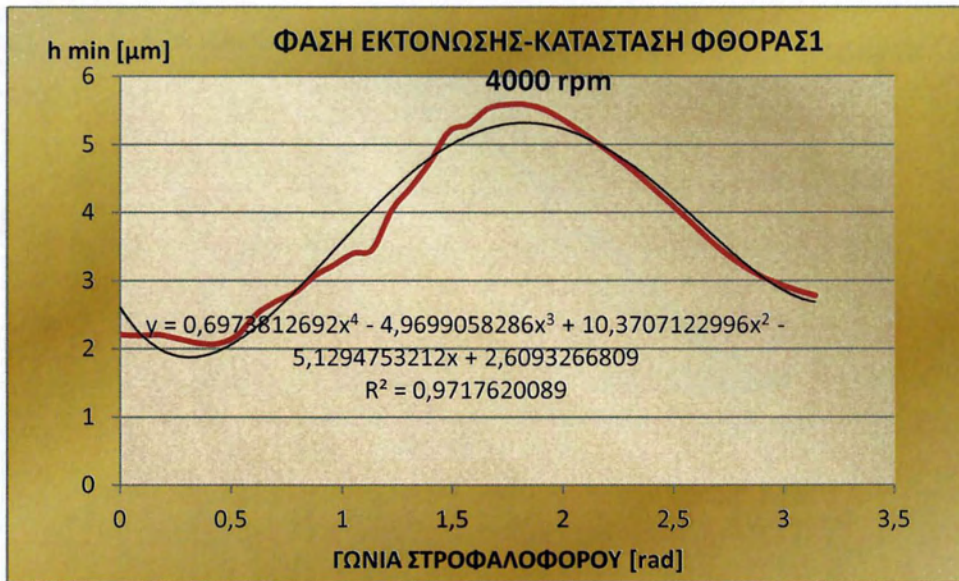
2.2.1 Διαγράμματα μεταβολής ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης και γραμμής τάσης κατά την φάση της εκτόνωσης για 2000-6000 rpm.

Τα θεωρητικά αποτελέσματα που προέρχονται από τον υπολογιστικό κώδικα Oilfilm παρουσιάζονται στη συνέχεια ξεκινώντας από την φάση (χρόνο) της εκτόνωσης για το ελάχιστο πάχος λιπαντικής μεμβράνης h_{min} . Τα διαγράμματα αυτά από 2000 – 6000 rpm δίνονται στα σχήματα 2.18 έως 2.22, τα οποία είναι συμπληρωμένα με γραμμές τάσης 4^{OY} βαθμού, που θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια κατά την ταχεία μέθοδο προσέγγισης. Στα σχήματα 2.23 έως 2.30 δίνονται εκτός των άλλων συγκεντρωτικά διαγράμματα με τα αποτελέσματα των δύο λύσεων (θεωρητικών και προσεγγιστικών).

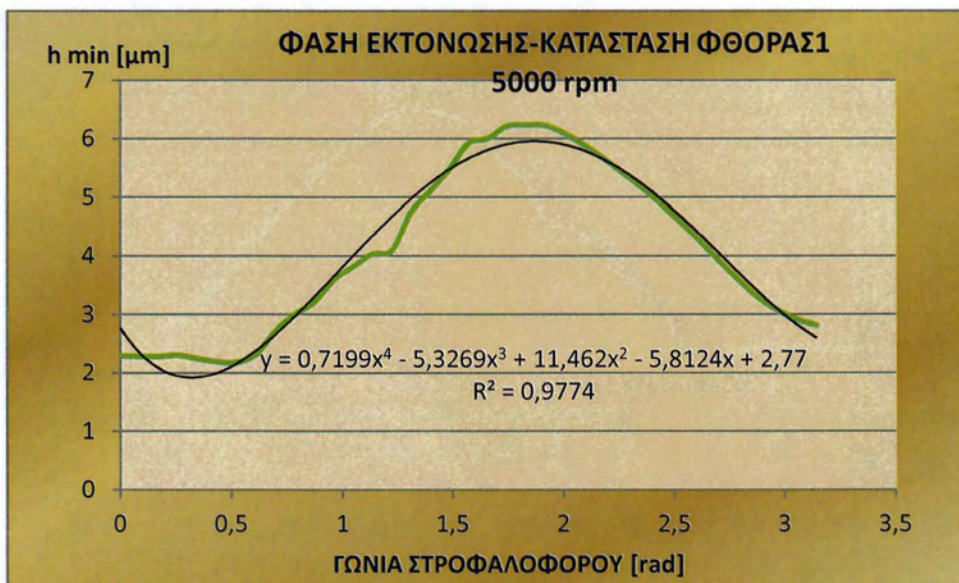


Σχήμα 2.18: Διάγραμμα μεταβολής ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης και γραμμής τάσης κατά την φάση της εκτόνωσης $N=2000$ rpm

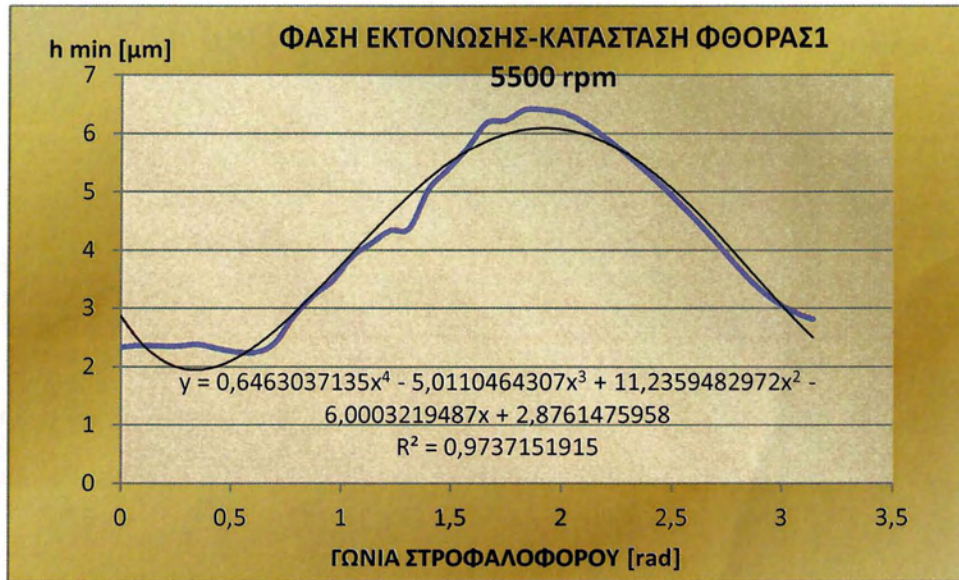
- Φάση Εκτόνωσης: $0^{\circ} - 180^{\circ}$ ή $0 - \pi$ [rad]



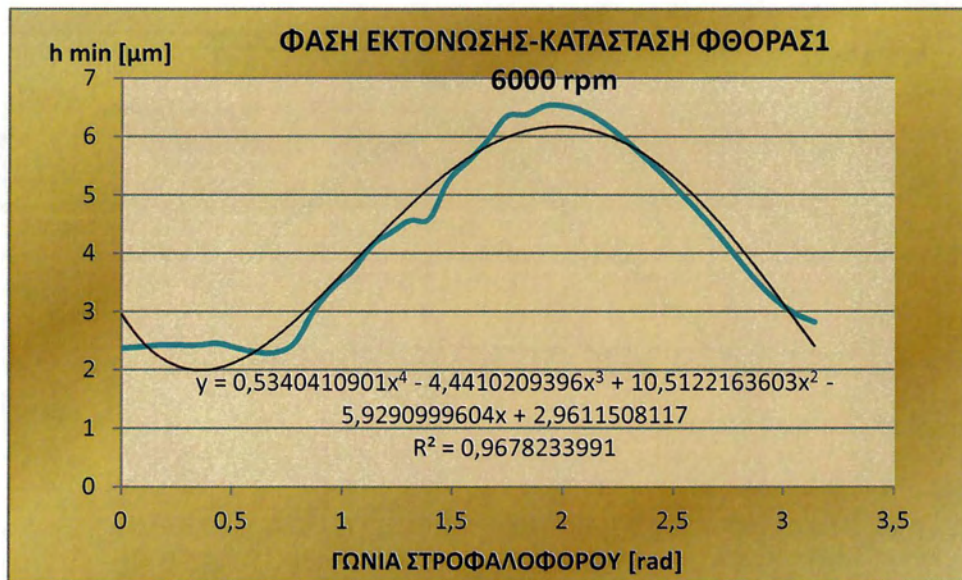
Σχήμα 2.19: Διάγραμμα μεταβολής ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης και γραμμή τάσης κατά την φάση της εκτόνωσης **N=4000 rpm**



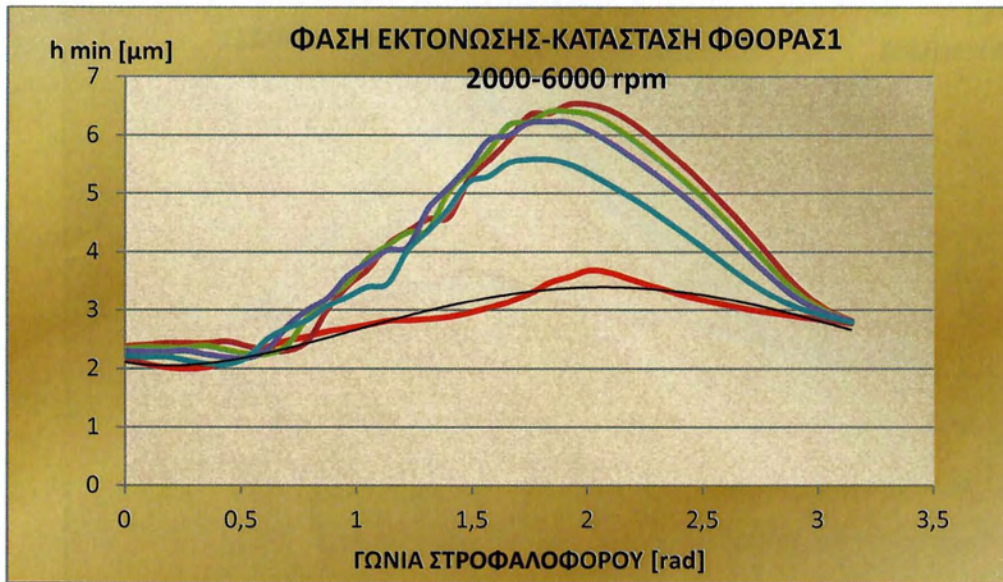
Σχήμα 2.20: Διάγραμμα μεταβολής ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης και γραμμή τάσης κατά την φάση της εκτόνωσης **N=5000 rpm**



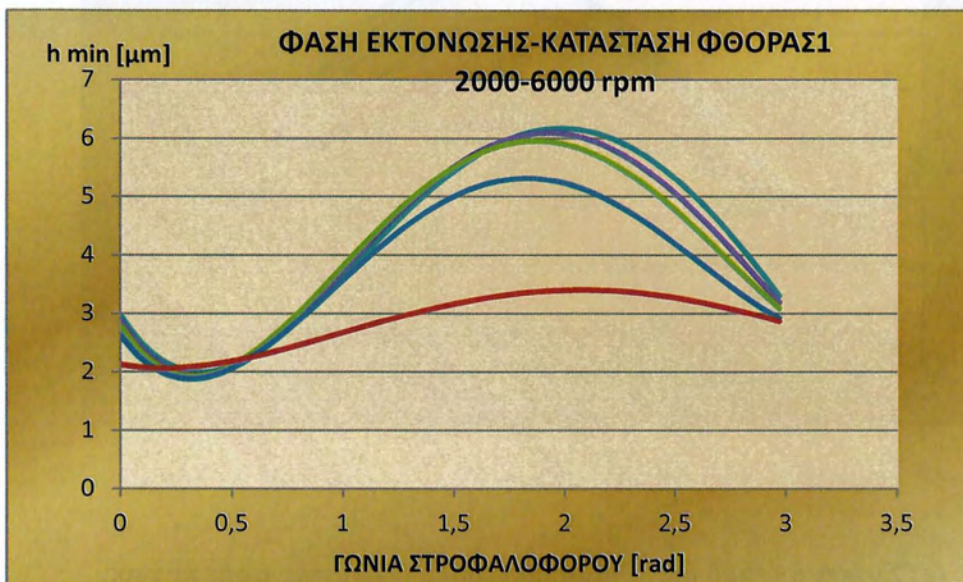
Σχήμα 2.21: Διάγραμμα μεταβολής ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης και γραμμή τάσης κατά την φάση της εκτόνωσης **N=5500 rpm**



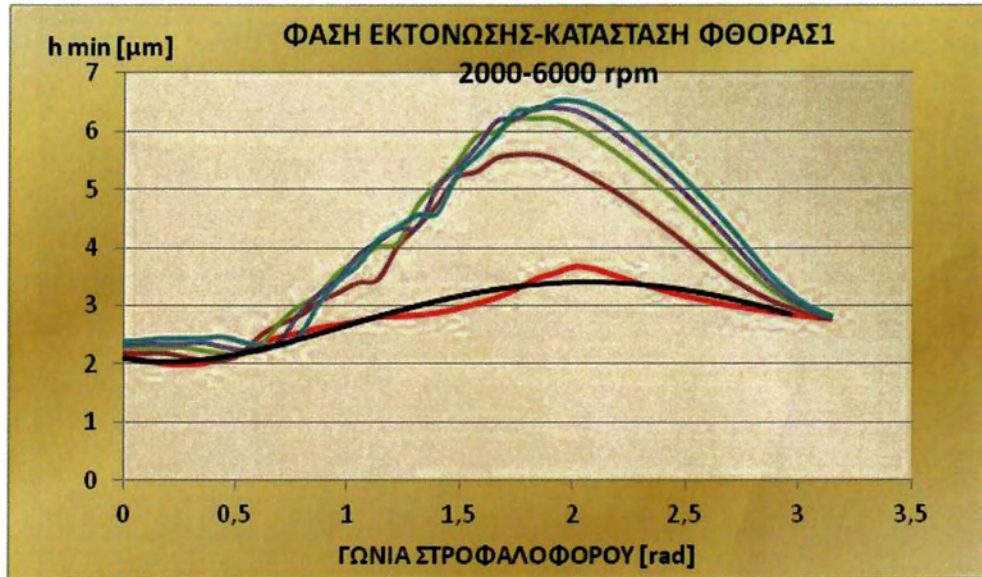
Σχήμα 2.22: Διάγραμμα μεταβολής ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης και γραμμή τάσης κατά την φάση της εκτόνωσης **N=6000 rpm**



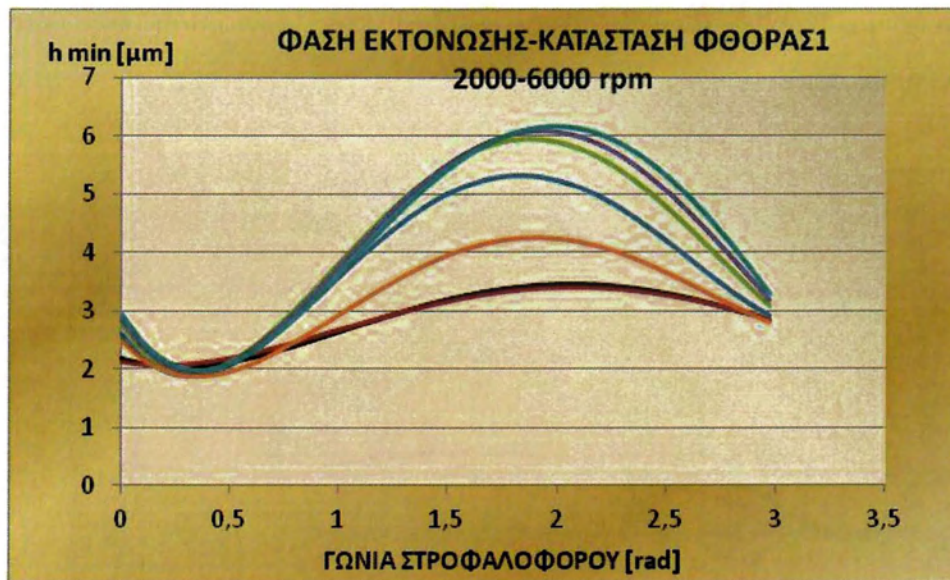
Σχήμα 2.23: Συγκεντρωτικό διάγραμμα, μεταβολή ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης (αποτελέσματα oilfilm) κατά την φάση της εκτόνωσης $N=2000-6000$ rpm



Σχήμα 2.24: Συγκεντρωτικό διάγραμμα, μεταβολή ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης κατά την φάση της εκτόνωσης $N=2000-6000$ rpm

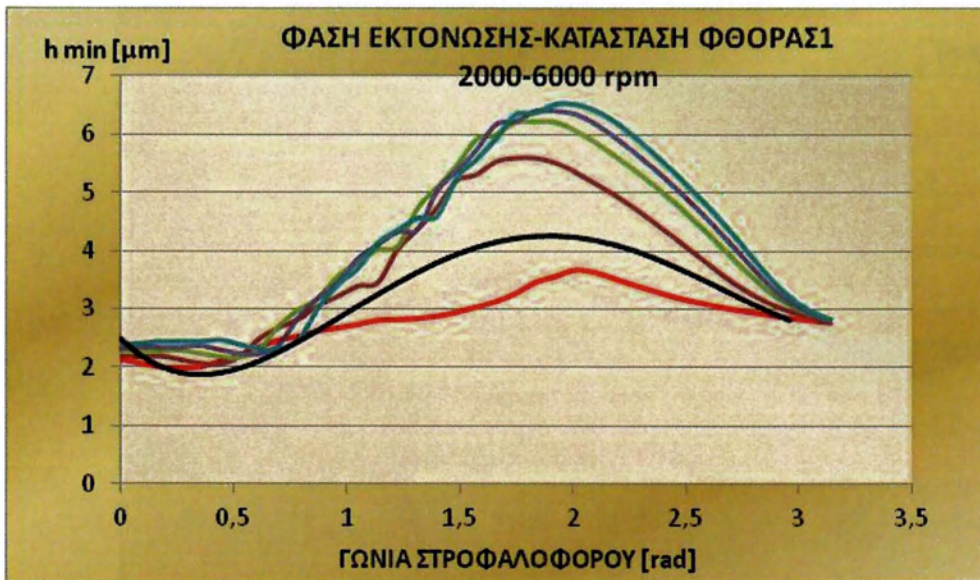


(a)

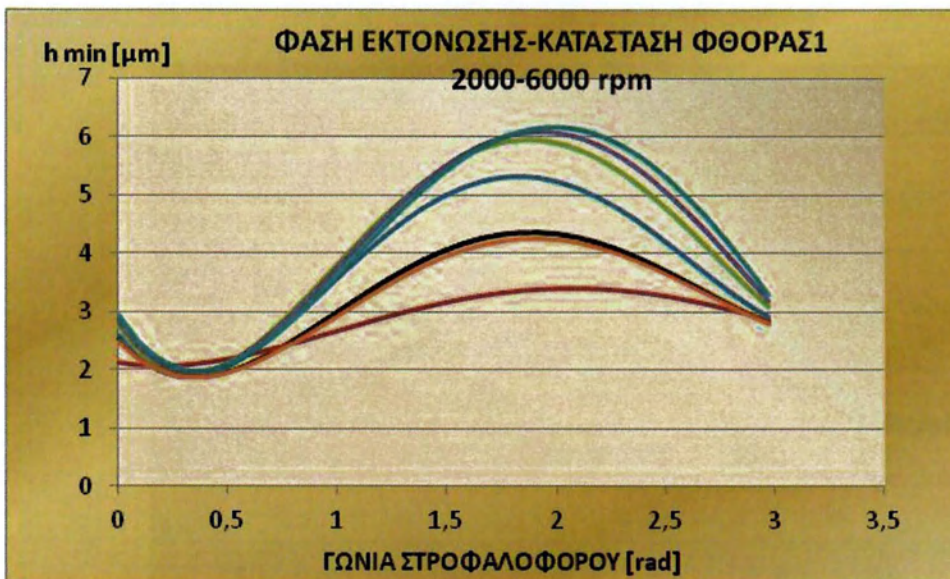


(b)

Σχήμα 2.25: (a) Συγκεντρωτικό διάγραμμα, μεταβολή ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης θεωρητικής προσομοίωσης (αποτελέσματα oilfilm) κατά την φάση της εκτόνωσης $N=2000-6000 \text{ rpm}$, πολυωνυμικές προσεγγίσεις ($N=2000 \text{ rpm}$)
(b) Συγκεντρωτικό διάγραμμα, μεταβολή ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης κατά την φάση της εκτόνωσης $N=2000-6000 \text{ rpm}$, πολυωνυμικές προσεγγίσεις ($N=2000 \text{ rpm}$)

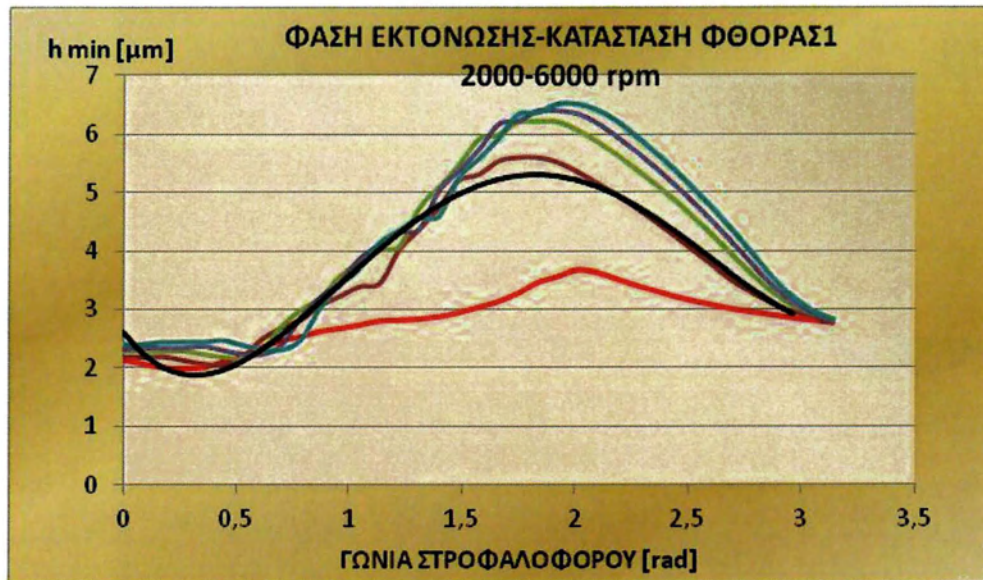


(a)

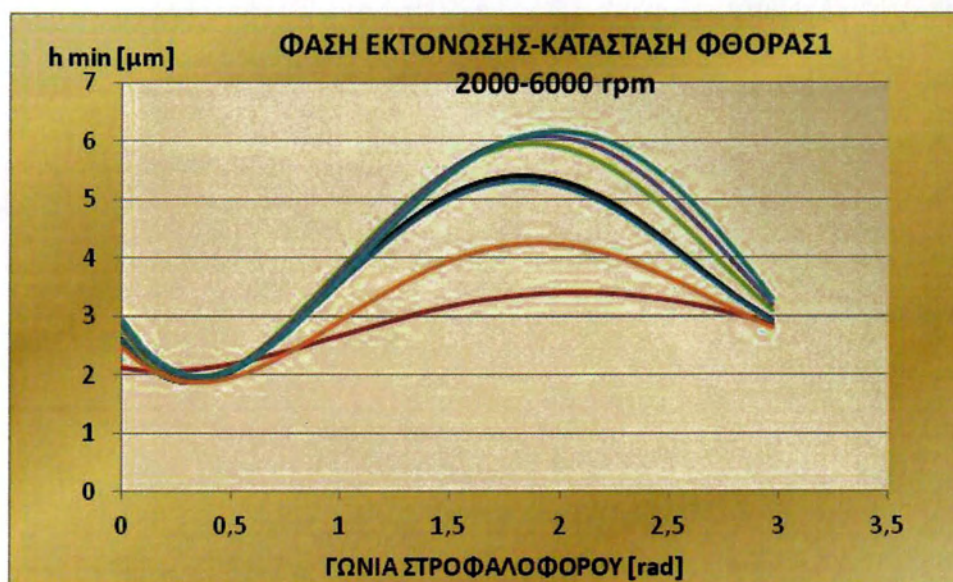


(b)

Σχήμα 2.26: (a) Συγκεντρωτικό διάγραμμα, μεταβολή ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης θεωρητικής προσομοίωσης (αποτελέσματα oilfilm) κατά την φάση της εκτόνωσης $N=2000-6000$ rpm, πολυωνυμικές προσεγγίσεις ($N=3000$ rpm)
(b) Συγκεντρωτικό διάγραμμα, μεταβολή ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης κατά την φάση της εκτόνωσης $N=2000-6000$ rpm, πολυωνυμικές προσεγγίσεις ($N=3000$ rpm)

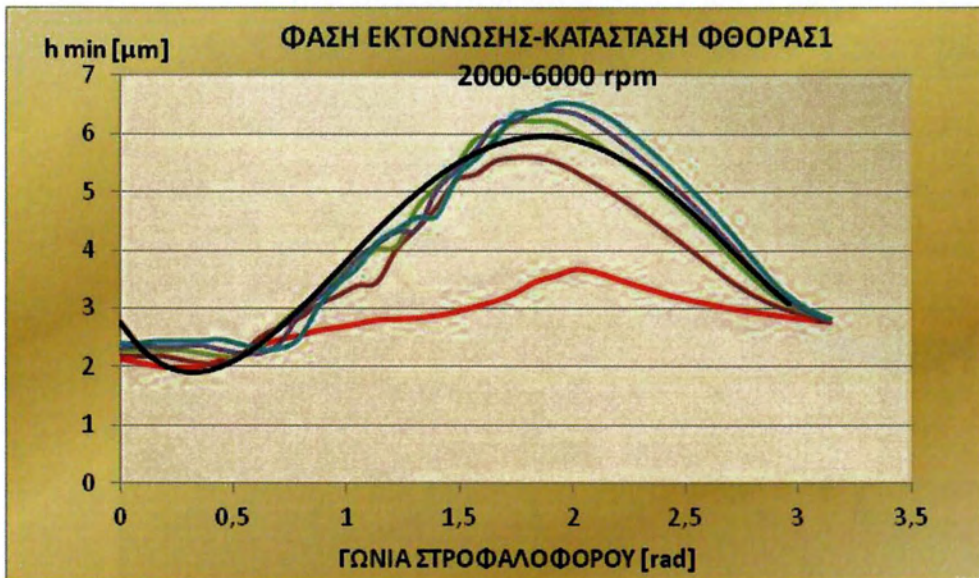


(a)

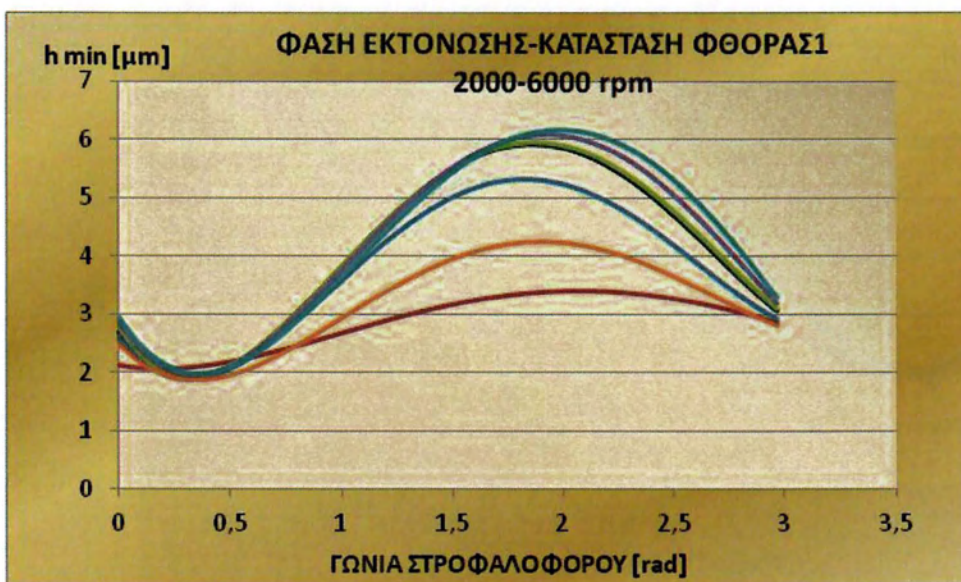


(b)

Σχήμα 2.27: (a) Συγκεντρωτικό διάγραμμα, μεταβολή ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης θεωρητικής προσομοίωσης (αποτελέσματα oilfilm) κατά την φάση της εκτόνωσης $N=2000-6000$ rpm, πολυωνυμικές προσεγγίσεις ($N=4000$ rpm) (b) Συγκεντρωτικό διάγραμμα, μεταβολή ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης κατά την φάση της εκτόνωσης $N=2000-6000$ rpm, πολυωνυμικές προσεγγίσεις ($N=4000$ rpm)

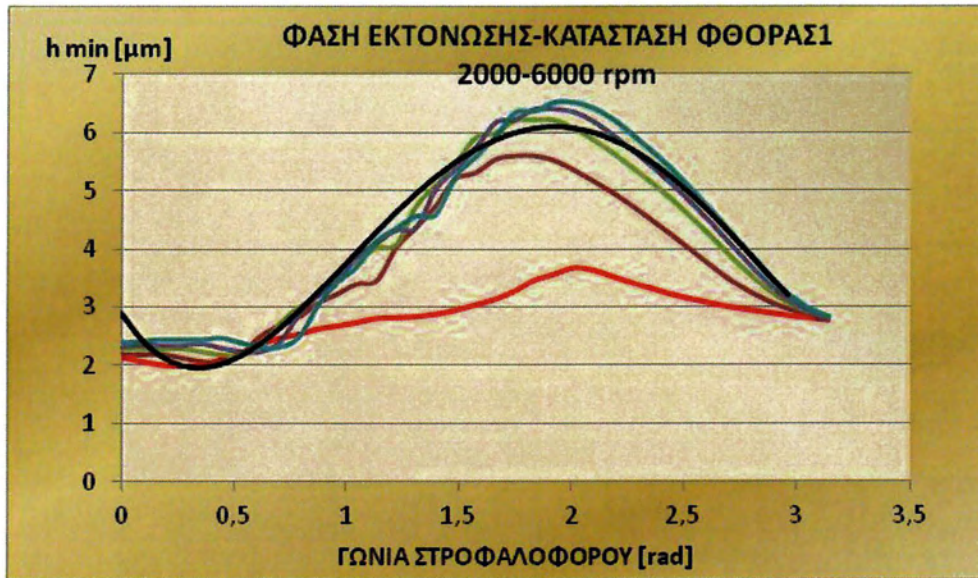


(a)

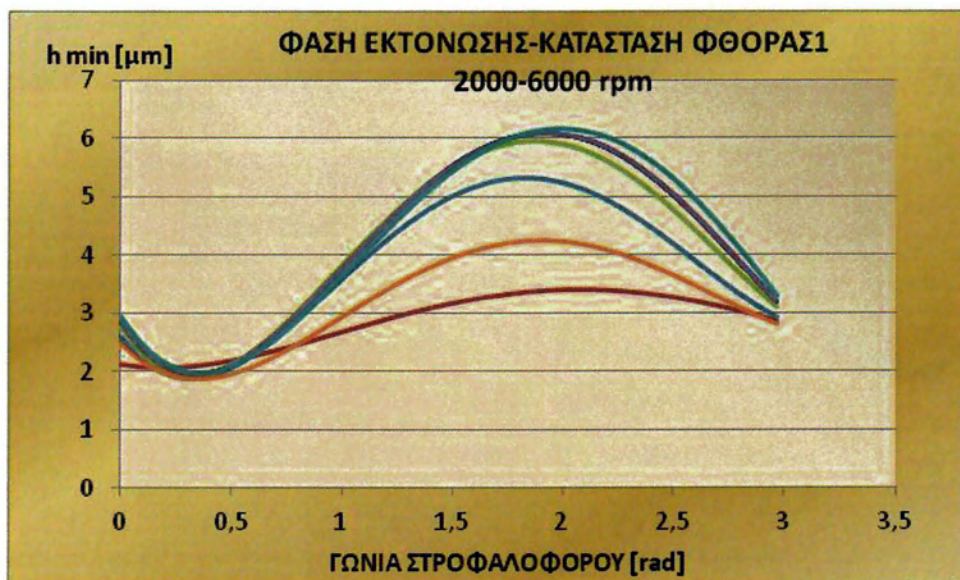


(b)

Σχήμα 2.28: (a) Συγκεντρωτικό διάγραμμα, μεταβολή ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης θεωρητικής προσομοίωσης (αποτελέσματα oilfilm) κατά την φάση της εκτόνωσης $N=2000-6000$ rpm, πολυωνυμικές προσεγγίσεις ($N=5000$ rpm)
(b) Συγκεντρωτικό διάγραμμα, μεταβολή ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης κατά την φάση της εκτόνωσης $N=2000-6000$ rpm, πολυωνυμικές προσεγγίσεις ($N=5000$ rpm)

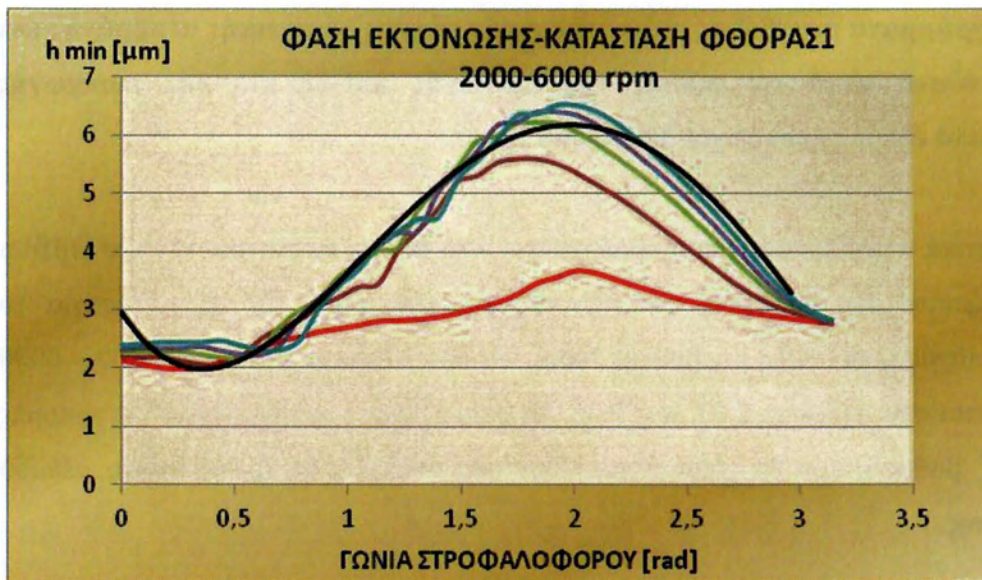


(a)

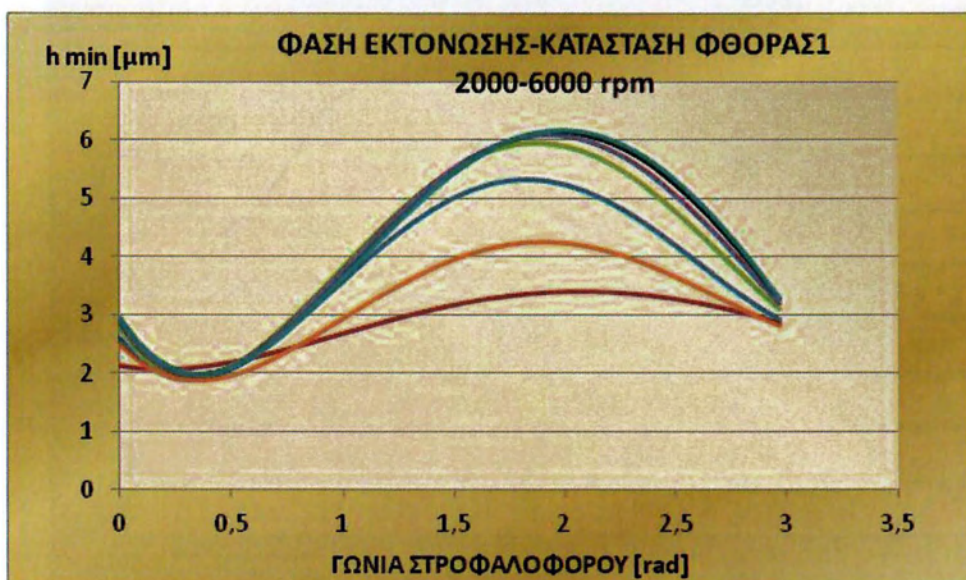


(b)

Σχήμα 2.29: (a) Συγκεντρωτικό διάγραμμα, μεταβολή ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης θεωρητικής προσομοίωσης (αποτελέσματα oilfilm) κατά την φάση της εκτόνωσης $N=2000-6000 \text{ rpm}$, πολυωνυμικές προσεγγίσεις ($N=5500 \text{ rpm}$)
(b) Συγκεντρωτικό διάγραμμα, μεταβολή ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης κατά την φάση της εκτόνωσης $N=2000-6000 \text{ rpm}$, πολυωνυμικές προσεγγίσεις ($N=5500 \text{ rpm}$)



(a)



(b)

Σχήμα 2.30: (a) Συγκεντρωτικό διάγραμμα, μεταβολή ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης θεωρητικής προσομοίωσης (αποτελέσματα oilfilm) κατά την φάση της εκτόνωσης $N=2000-6000$ rpm, πολυωνυμικές προσεγγίσεις ($N=6000$ rpm)
(b) Συγκεντρωτικό διάγραμμα, μεταβολή ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης κατά την φάση της εκτόνωσης $N=2000-6000$ rpm, πολυωνυμικές προσεγγίσεις ($N=6000$ rpm)

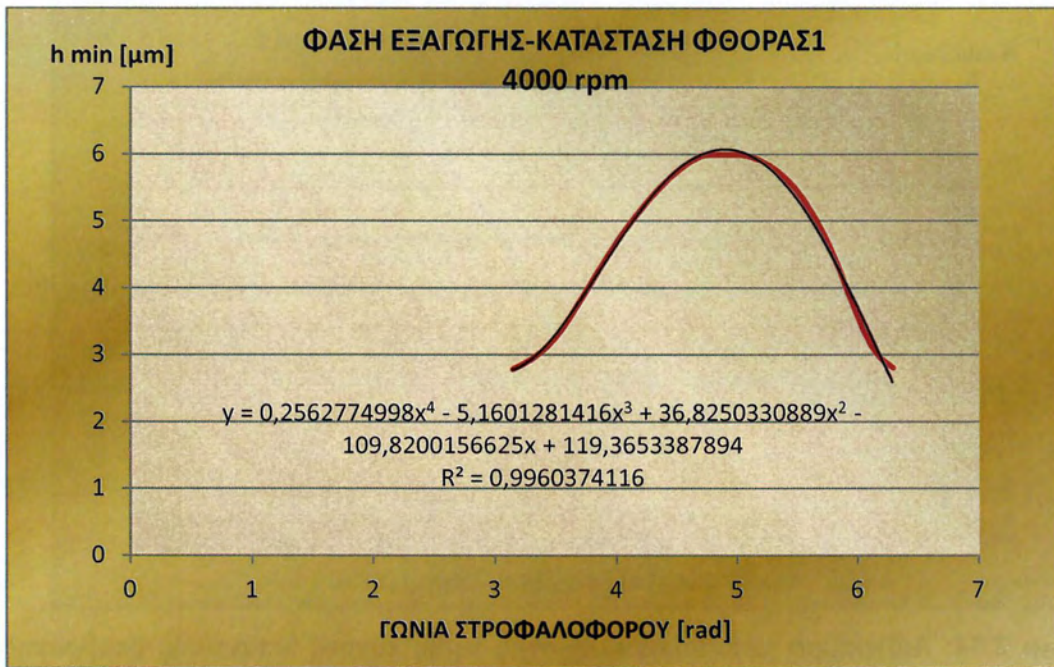
2.2.2 Διαγράμματα μεταβολής ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης και γραμμή τάσης κατά τις φάσεις της εξαγωγής καθώς και της εισαγωγής (συμμετρικά διαγράμματα) για 2000-6000 rpm.

Τα θεωρητικά αποτελέσματα που προέρχονται από τον υπολογιστικό κώδικα Oilfilm παρουσιάζονται στη συνέχεια συνεχίζοντας για την φάση της εξαγωγής για το ελάχιστο πάχος λιπαντικής μεμβράνης h_{min} . Τα διαγράμματα αυτά από 2000 – 6000 rpm δίνονται στα σχήματα 2.31 έως 2.35, τα οποία είναι συμπληρωμένα με γραμμές τάσης 4^{OY} βαθμού, που θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια κατά την ταχεία μέθοδο προσέγγισης.



Σχήμα 2.31: Διάγραμμα μεταβολής ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης και γραμμή τάσης κατά την φάση της εξαγωγής **N=2000 rpm**

- Φάση Εξαγωγής: $180^{\circ} - 360^{\circ}$ ή $\pi - 2\pi$ [rad]
- Φάση Εισαγωγής (συμμετρικές καμπύλες): $360^{\circ} - 540^{\circ}$ ή $2\pi - 3\pi$ [rad]



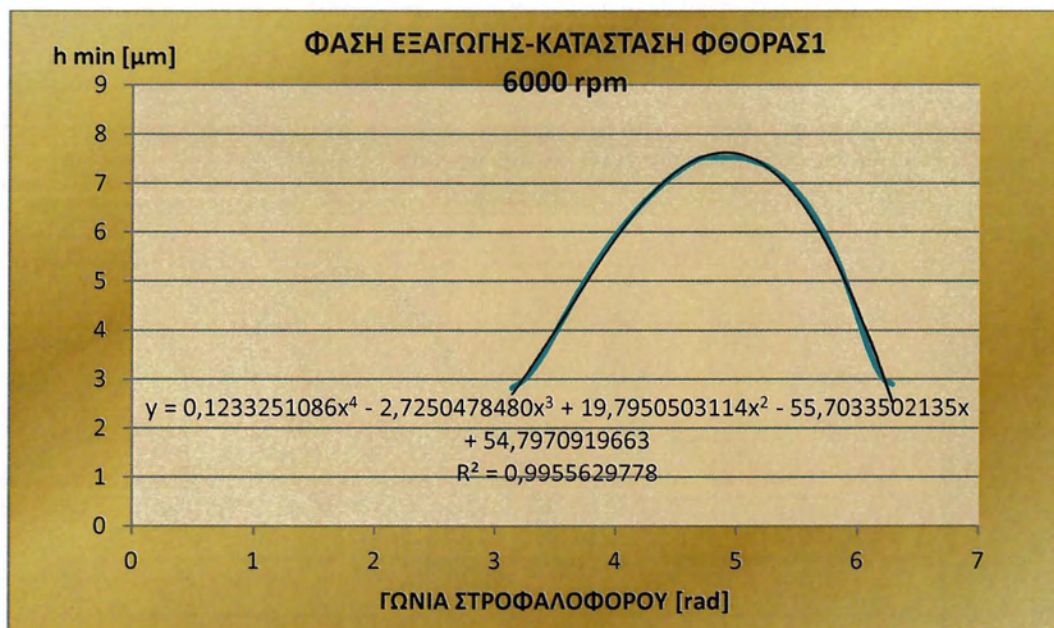
Σχήμα 2.32: Διάγραμμα μεταβολής ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης και γραμμή τάσης κατά την φάση της εξαγωγής $N=4000$ rpm



Σχήμα 2.33: Διάγραμμα μεταβολής ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης και γραμμή τάσης κατά την φάση της εξαγωγής $N=5000$ rpm



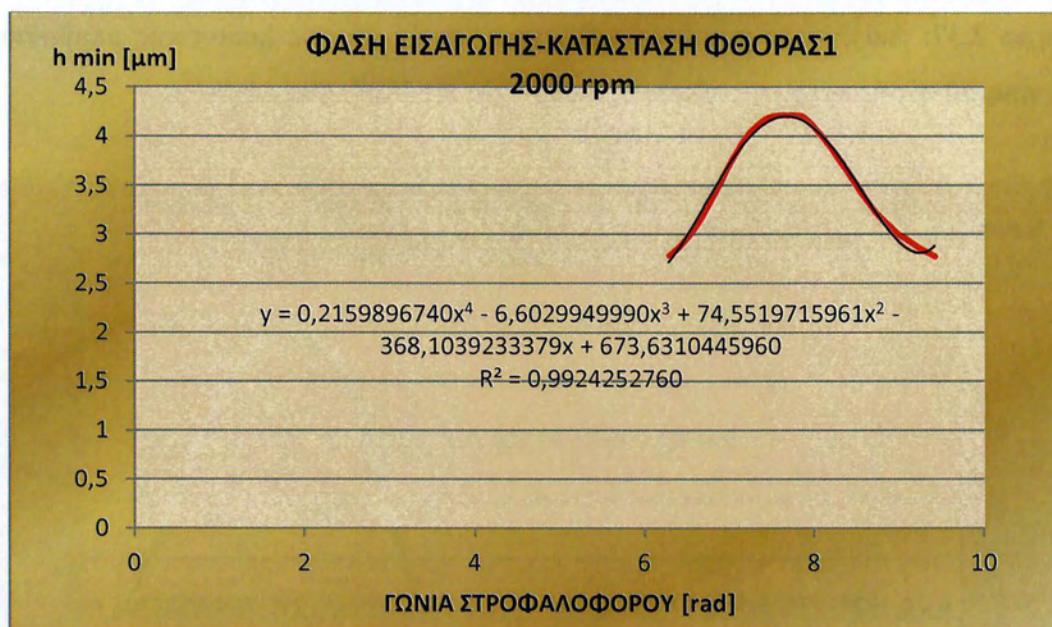
Σχήμα 2.34: Διάγραμμα μεταβολής ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης και γραμμή τάσης κατά την φάση της εξαγωγής $N=5500$ rpm



Σχήμα 2.35: Διάγραμμα μεταβολής ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης και γραμμή τάσης κατά την φάση της εξαγωγής $N=6000$ rpm

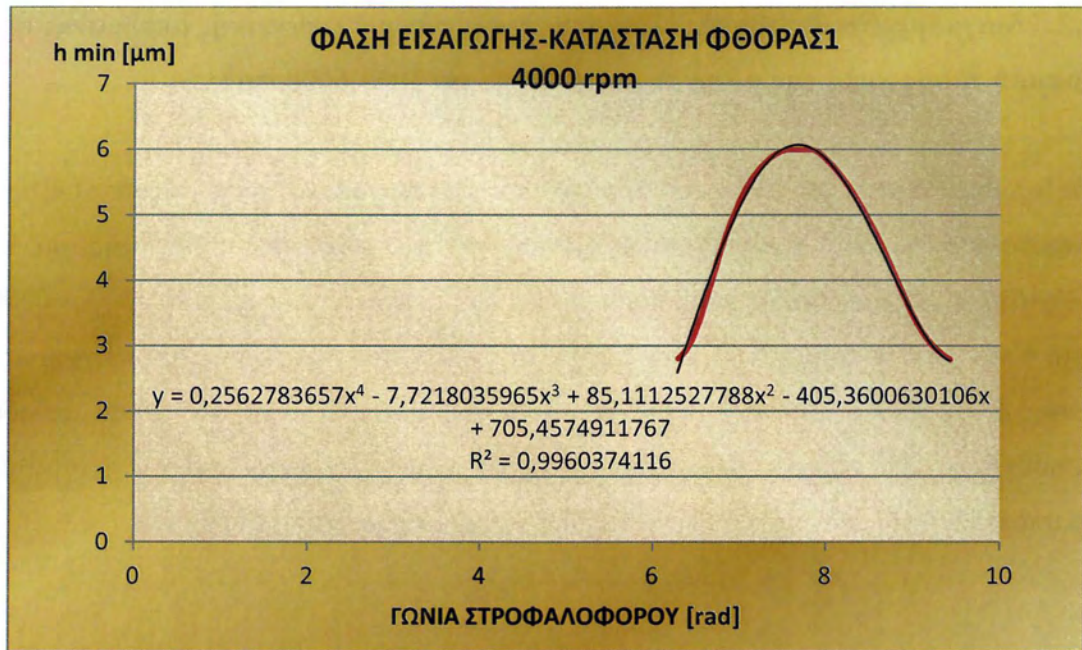
2.2.3 Διαγράμματα μεταβολής ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης και γραμμής τάσης κατά την φάση της εισαγωγής για 2000-6000 rpm.

Τα θεωρητικά αποτελέσματα που προέρχονται από τον υπολογιστικό κώδικα Oilfilm παρουσιάζονται στη συνέχεια συνεχίζοντας για την φάση της εισαγωγής για το ελάχιστο πάχος λιπαντικής μεμβράνης h_{min} . Τα διαγράμματα αυτά από 2000 – 6000 rpm δίνονται στα σχήματα 2.36 έως 2.40, τα οποία είναι συμπληρωμένα με γραμμές τάσης 4^ο βαθμού, που θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια κατά την ταχεία μέθοδο προσέγγισης. Στο σχήμα 2.41 δίνεται εκτός των άλλων συγκεντρωτικό διάγραμμα με τα αποτελέσματα των δύο λύσεων (θεωρητικών και προσεγγιστικών).



Σχήμα 2.36: Διάγραμμα μεταβολής ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης και γραμμής τάσης κατά την φάση της εισαγωγής **N=2000 rpm**

- Φάση Εισαγωγής: $360^{\circ} - 540^{\circ}$ ή $2\pi - 3\pi$ [rad]



Σχήμα 2.37: Διάγραμμα μεταβολής ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης και γραμμή τάσης κατά την φάση της εισαγωγής **N=4000 rpm**



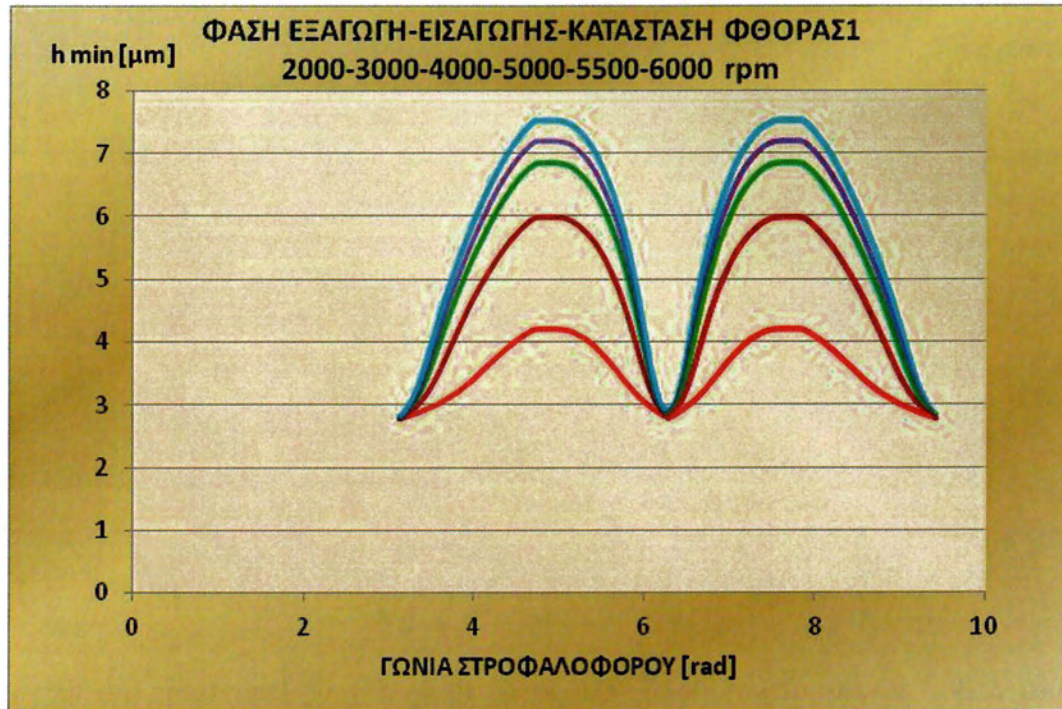
Σχήμα 2.38: Διάγραμμα μεταβολής ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης και γραμμή τάσης κατά την φάση της εισαγωγής **N=5000 rpm**



Σχήμα 2.39: Διάγραμμα μεταβολής ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης και γραμμή τάσης κατά την φάση της εισαγωγής **N=5500 rpm**

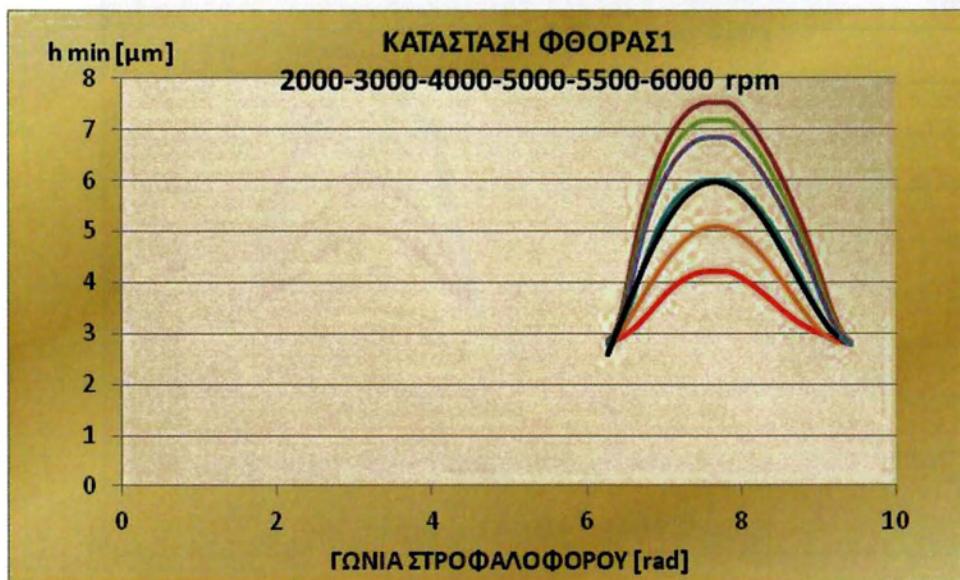


Σχήμα 2.40: Διάγραμμα μεταβολής ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης και γραμμή τάσης κατά την φάση της εισαγωγής **N=6000 rpm**

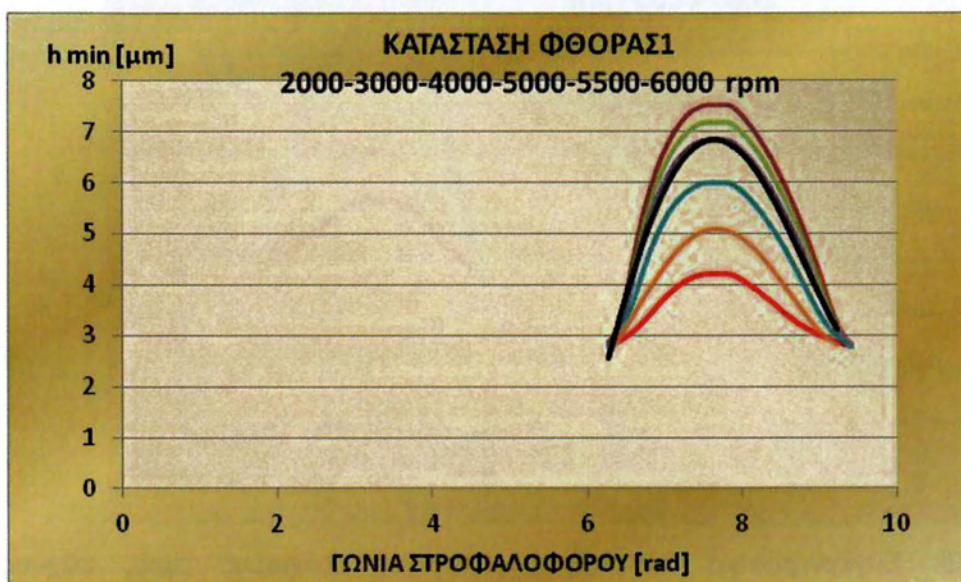


Σχήμα 2.41: Συγκεντρωτικό διάγραμμα, μεταβολή ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης (αποτελέσματα oilfilm) κατά την φάση της εισαγωγής και της εξαγωγής $N=2000-6000$ rpm (συμμετρικές καμπύλες).

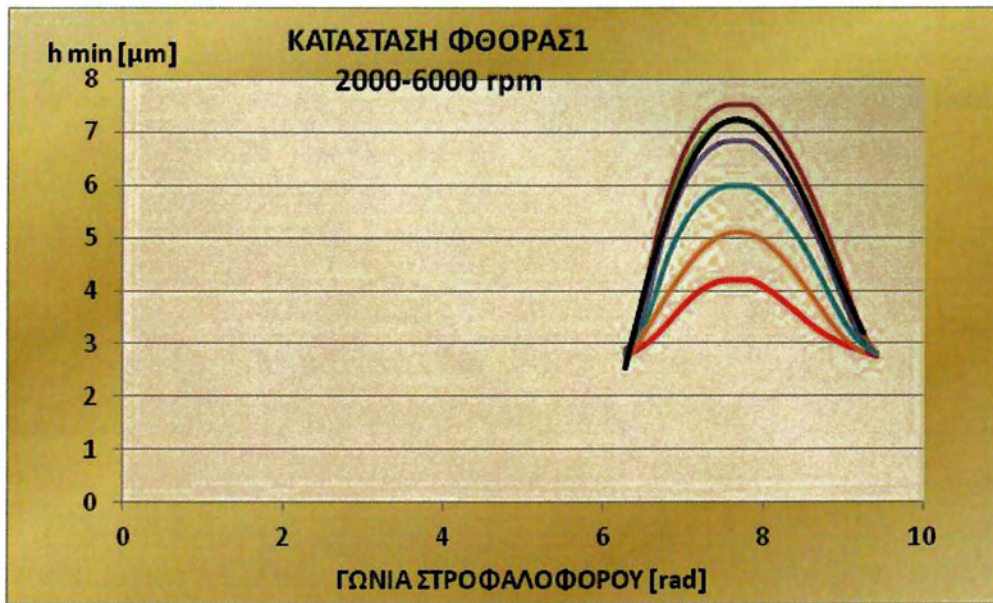
2.2.4 Μέθοδος ταχείας προσέγγισης για κατάσταση φθοράς 1



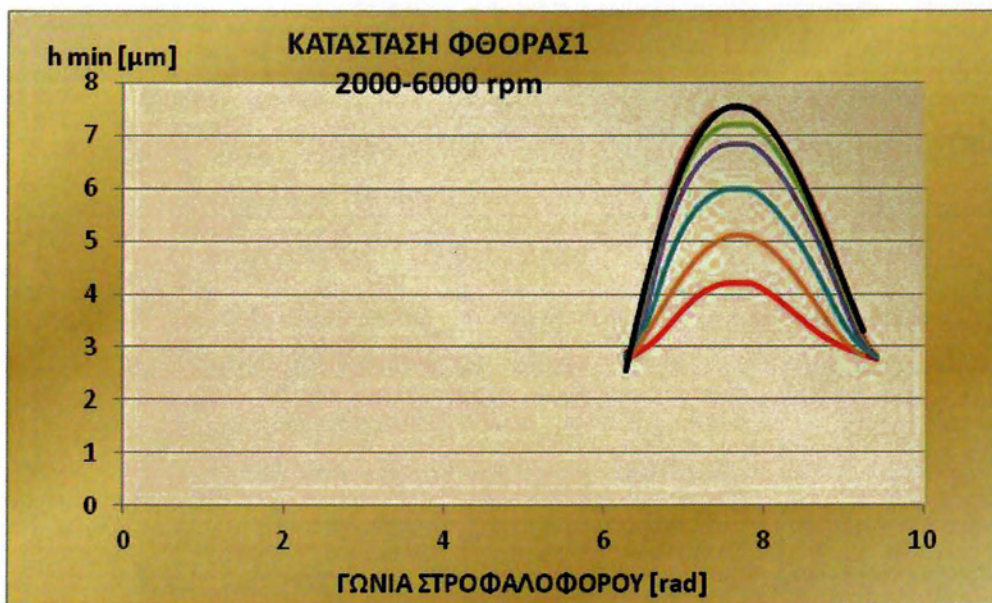
Σχήμα 2.42: Συγκεντρωτικό διάγραμμα, μεταβολή ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης κατά την φάση της εισαγωγής $N=2000-6000$ rpm [Μαύρη καμπύλη: Προσέγγιση θεωρητικής λύσης για $N=4000$ rpm]



Σχήμα 2.43: Συγκεντρωτικό διάγραμμα, μεταβολή ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης κατά την φάση της εισαγωγής $N=2000-6000$ rpm [Μαύρη καμπύλη: Προσέγγιση θεωρητικής λύσης για $N=5000$ rpm]



Σχήμα 2.44: Συγκεντρωτικό διάγραμμα, μεταβολή ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης κατά την φάση της εισαγωγής $N=2000-6000$ rpm [Μαύρη καμπύλη: Προσέγγιση θεωρητικής λύσης για $N=5500$ rpm]



Σχήμα 2.45: Συγκεντρωτικό διάγραμμα, μεταβολή ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης κατά την φάση της εισαγωγής $N=2000-6000$ rpm [Μαύρη καμπύλη: Προσέγγιση θεωρητικής λύσης για $N=6000$ rpm]

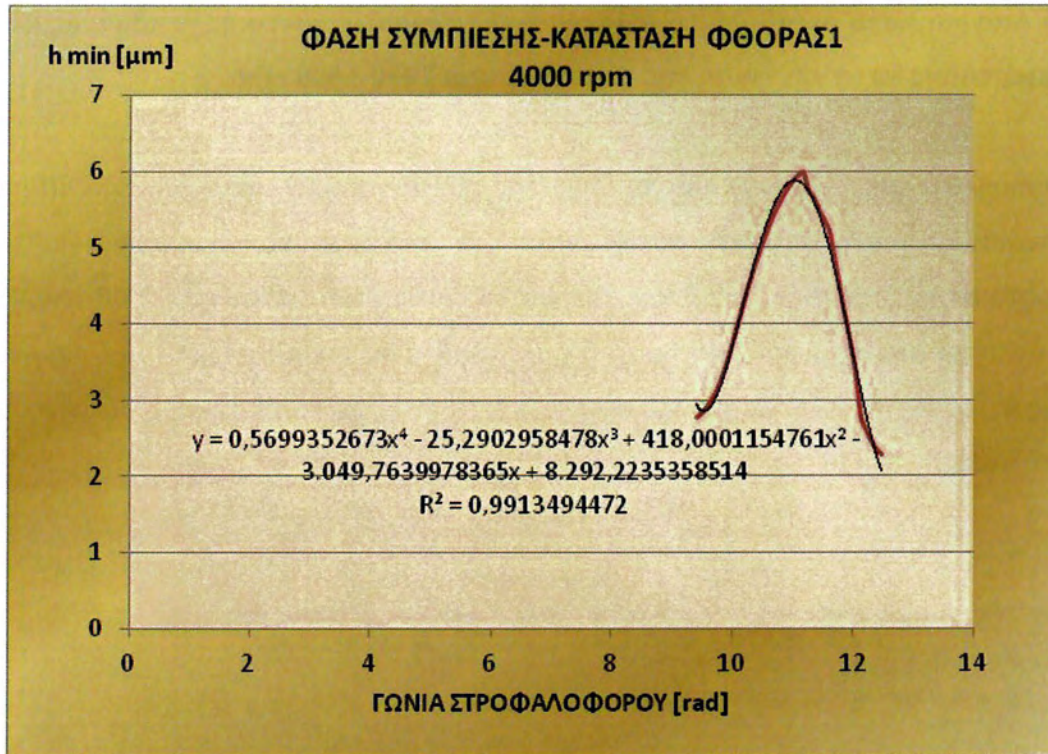
2.2.5 Διαγράμματα μεταβολής ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης και γραμμής τάσης κατά την φάση της συμπίεσης για 2000-6000 rpm.

Τα θεωρητικά αποτελέσματα που προέρχονται από τον υπολογιστικό κώδικα Oilfilm παρουσιάζονται στη συνέχεια συνεχίζοντας για την φάση της συμπίεσης για το ελάχιστο πάχος λιπαντικής μεμβράνης h_{min} . Τα διαγράμματα αυτά από 2000 – 6000 rpm δίνονται στα σχήματα 2.46 έως 2.50, τα οποία είναι συμπληρωμένα με γραμμές τάσης 4^ο βαθμού, που θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια κατά την ταχεία μέθοδο προσέγγισης.

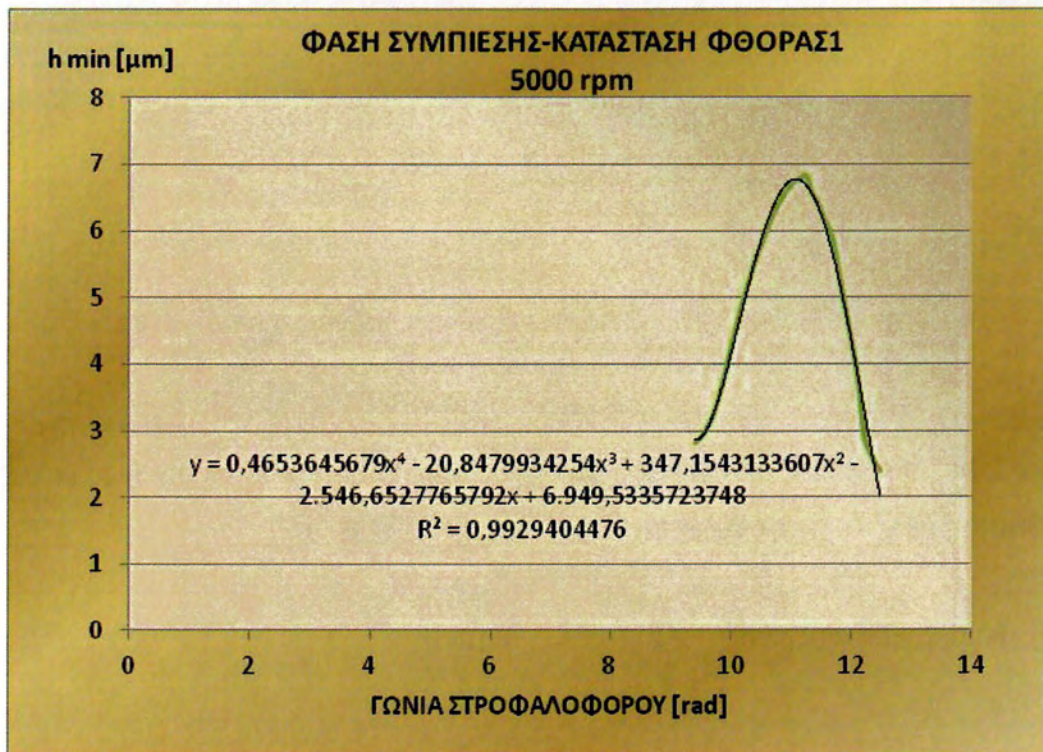


Σχήμα 2.46: Διάγραμμα μεταβολής ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης και γραμμής τάσης κατά την φάση της συμπίεσης $N=2000$ rpm

- Φάση Συμπίεσης: $540^\circ - 720^\circ$ ή $3\pi - 4\pi$ [rad]



Σχήμα 2.47: Διάγραμμα μεταβολής ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης και γραμμή τάσης κατά την φάση της συμπίεσης N=4000 rpm



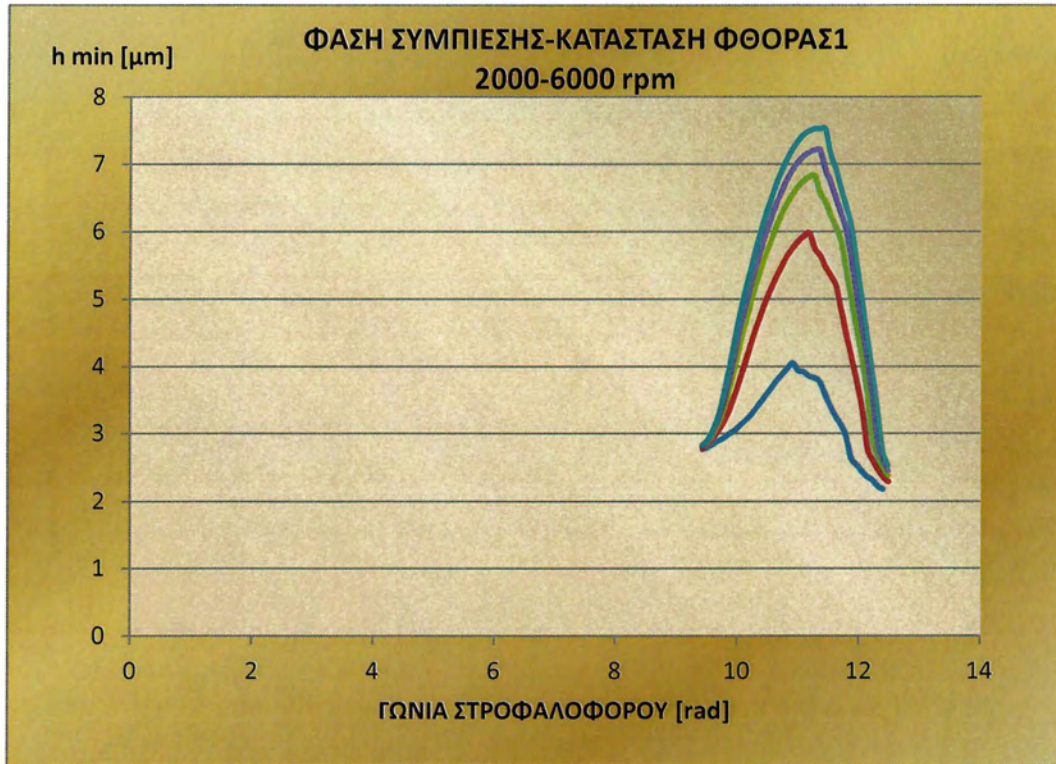
Σχήμα 2.48: Διάγραμμα μεταβολής ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης και γραμμή τάσης κατά την φάση της συμπίεσης N=5000 rpm



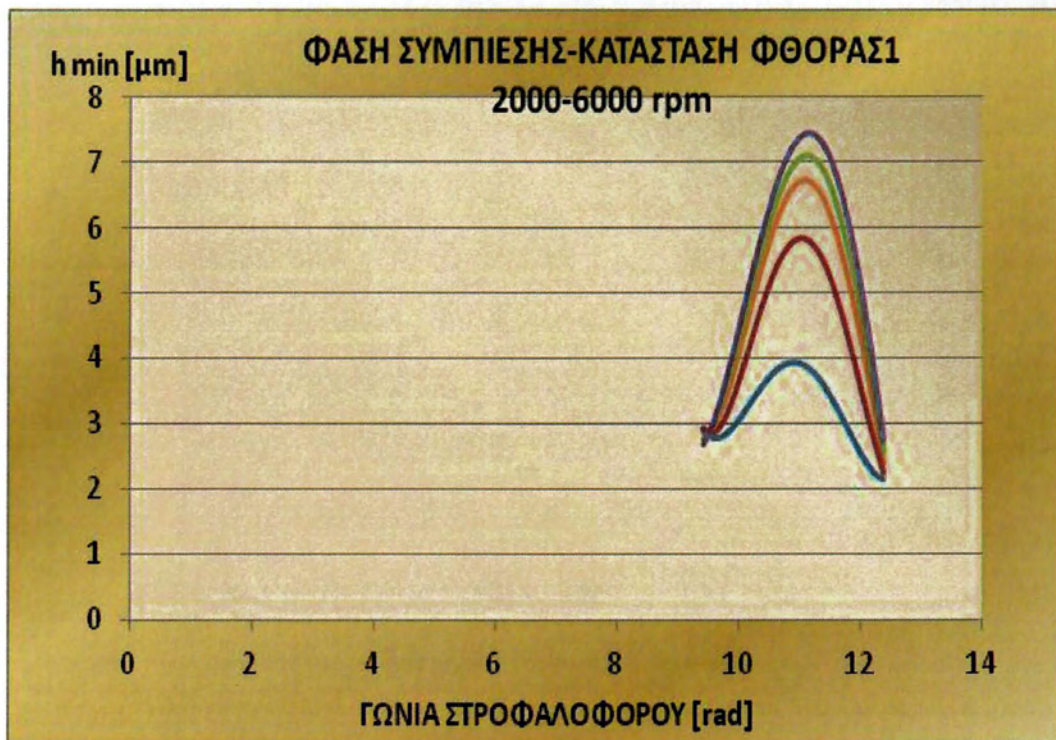
Σχήμα 2.49: Διάγραμμα μεταβολής ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης και γραμμή τάσης κατά την φάση της συμπίεσης $N=5500 \text{ rpm}$



Σχήμα 2.50: Διάγραμμα μεταβολής ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης και γραμμή τάσης κατά την φάση της συμπίεσης $N=6000 \text{ rpm}$

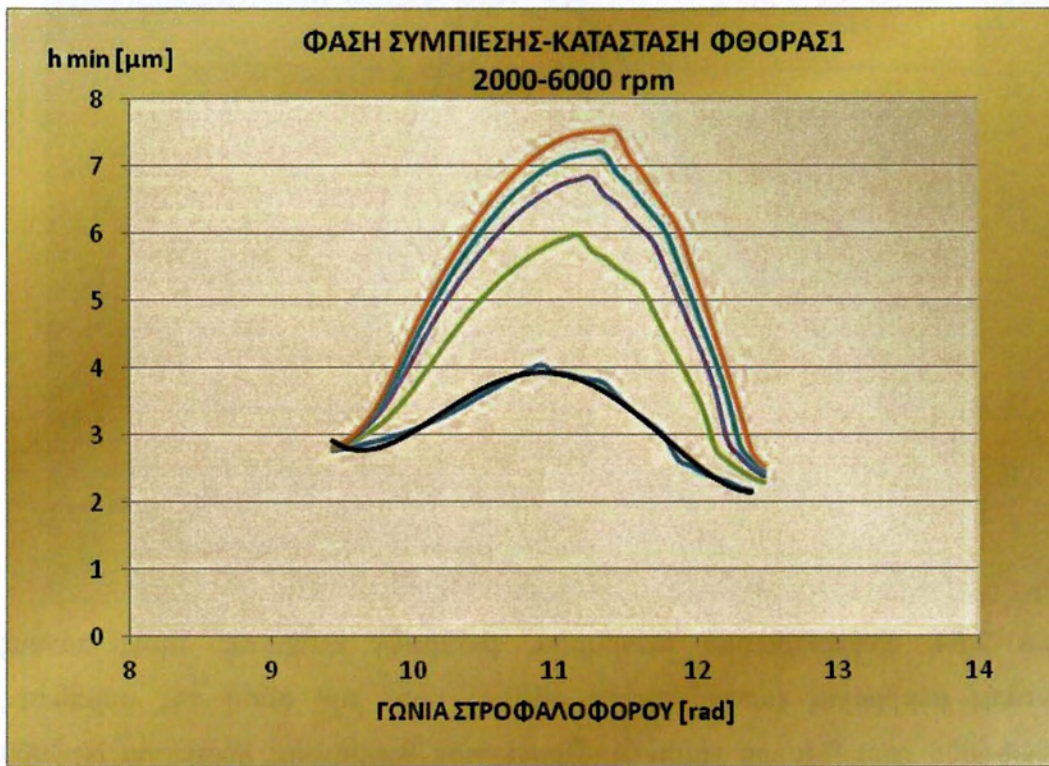


Σχήμα 2.51: Συγκεντρωτικό διάγραμμα θεωρητικής προσομοίωσης (αποτελέσματα oilfilm), μεταβολή ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης κατά την φάση της συμπίεσης $N=2000-6000$ rpm

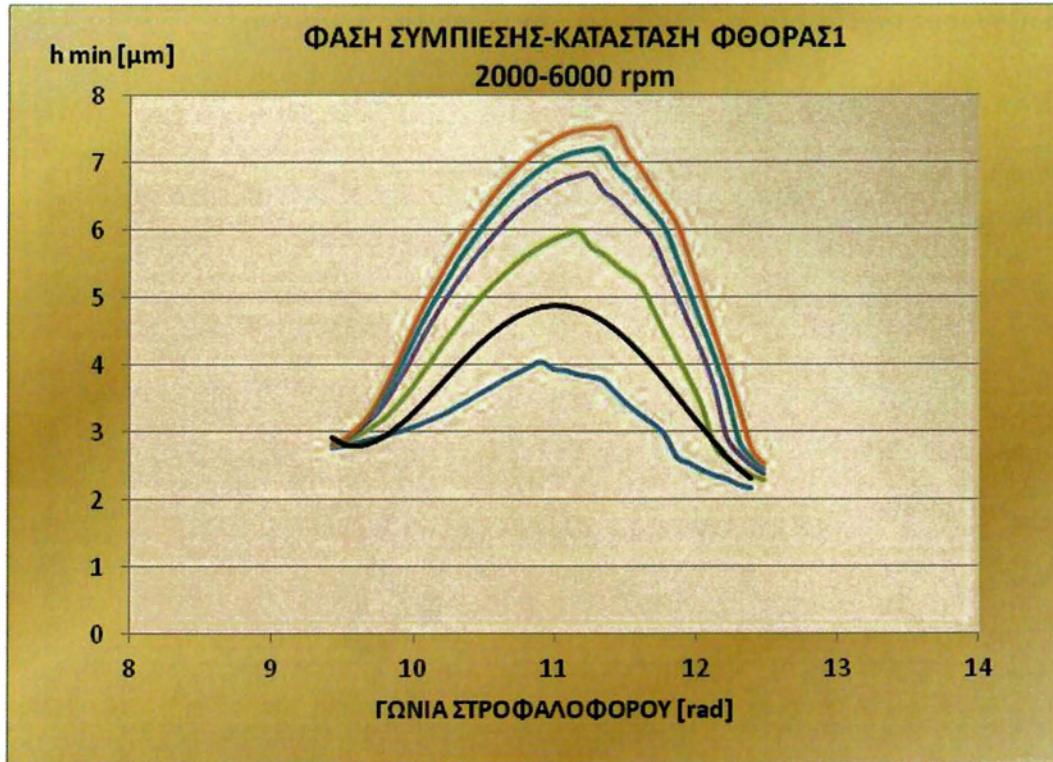


Σχήμα 2.52: Συγκεντρωτικό διάγραμμα, μεταβολή ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης κατά την φάση της συμπίεσης $N=2000-6000$ rpm

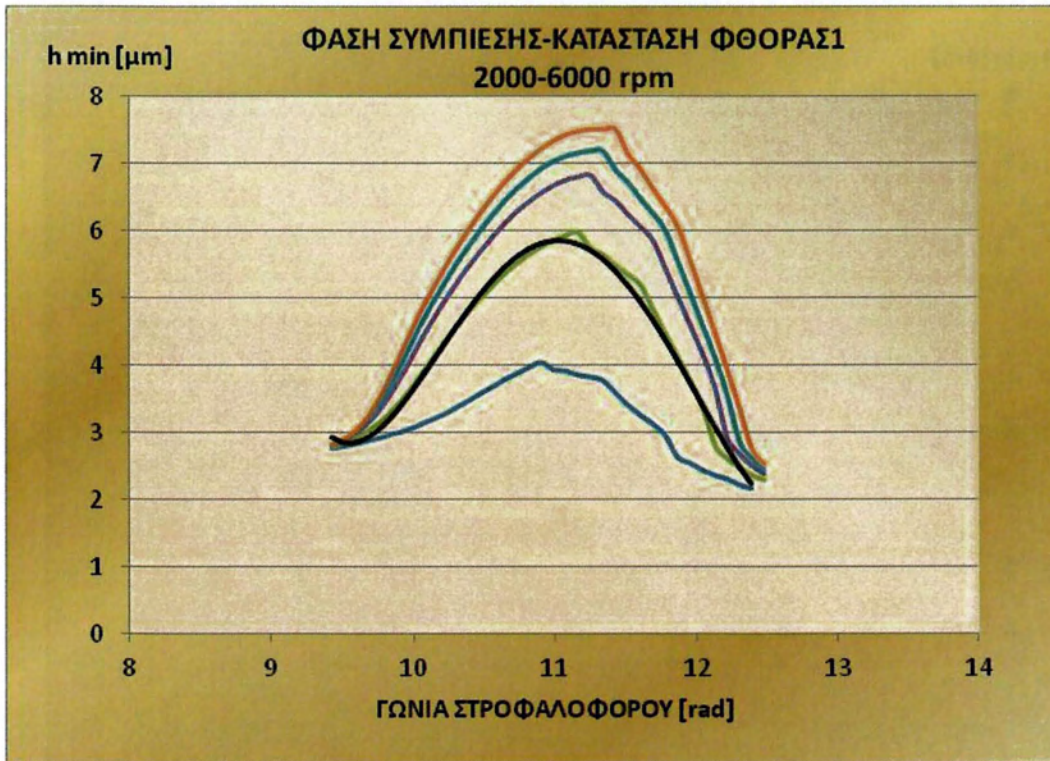
2.2.6 Μέθοδος ταχείας προσέγγισης για την φάση της συμπίεσης



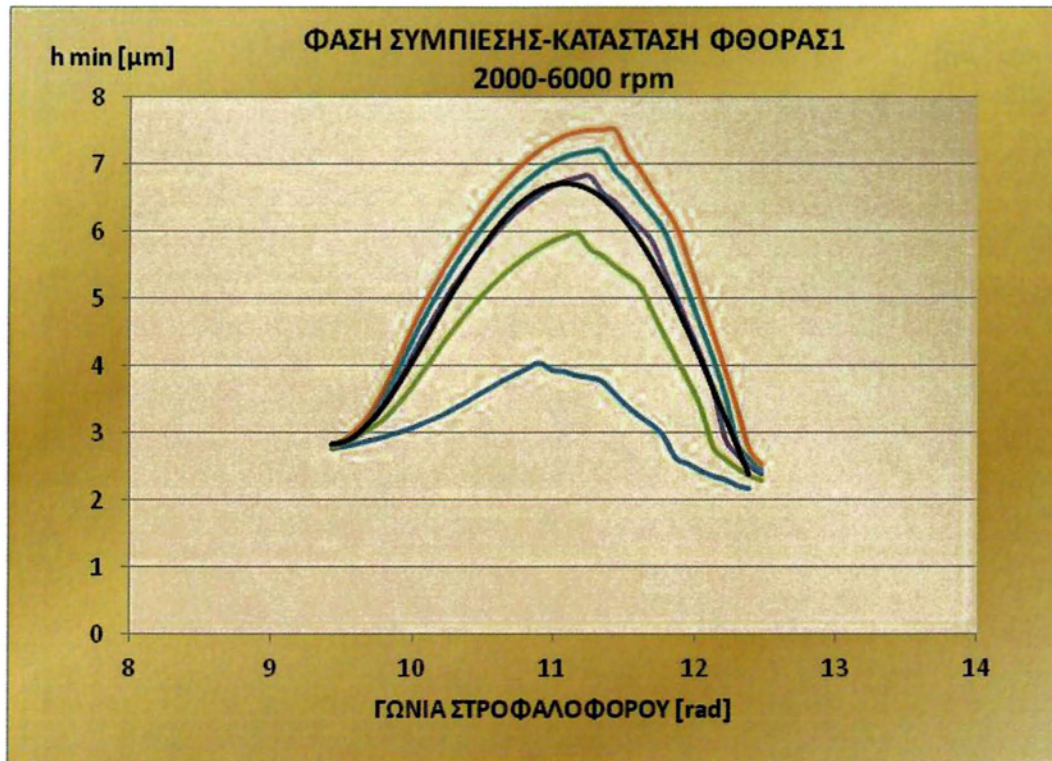
Σχήμα 2.53: Συγκεντρωτικό διάγραμμα, μεταβολή ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης (αποτελέσματα oilfilm) κατά την φάση της συμπίεσης **N=2000-6000 rpm** [Μαύρη καμπύλη: Προσέγγιση θεωρητικής λύσης για N=2000 rpm]



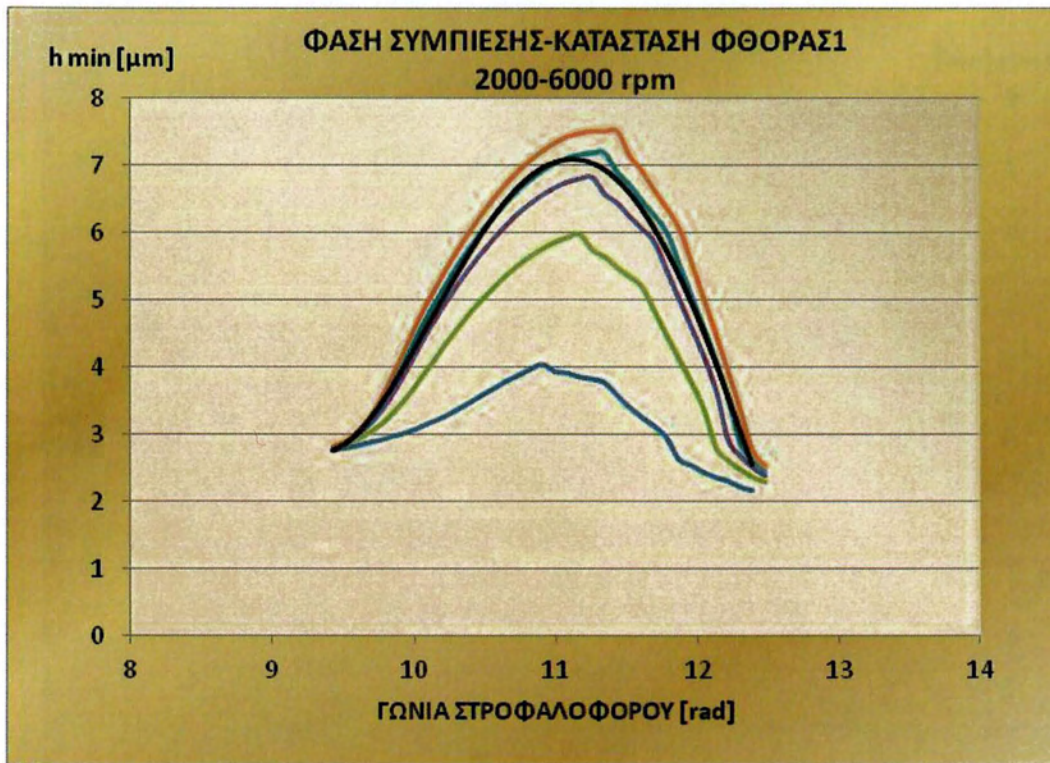
Σχήμα 2.54: Συγκεντρωτικό διάγραμμα, μεταβολή ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης (αποτελέσματα oilfilm) κατά την φάση της συμπίεσης $N=2000-6000$ rpm [Μαύρη καμπύλη: Προσέγγιση θεωρητικής λύσης για $N=3000$ rpm]



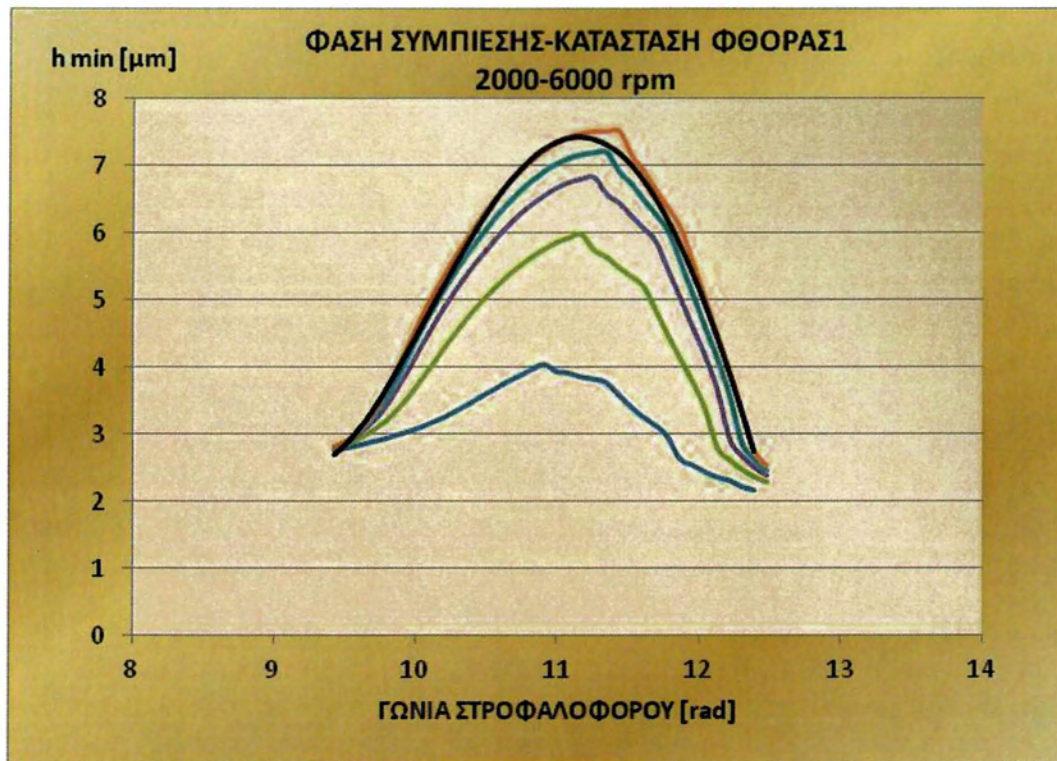
Σχήμα 2.55: Συγκεντρωτικό διάγραμμα, μεταβολή ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης (αποτελέσματα oilfilm) κατά την φάση της συμπίεσης $N=2000-6000$ rpm [Μαύρη καμπύλη: Προσέγγιση θεωρητικής λύσης για $N=4000$ rpm]



Σχήμα 2.56: Συγκεντρωτικό διάγραμμα, μεταβολή ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης (αποτελέσματα oilfilm) κατά την φάση της συμπίεσης **N=2000-6000 rpm** [Μαύρη καμπύλη: Προσέγγιση θεωρητικής λύσης για N=5000 rpm]



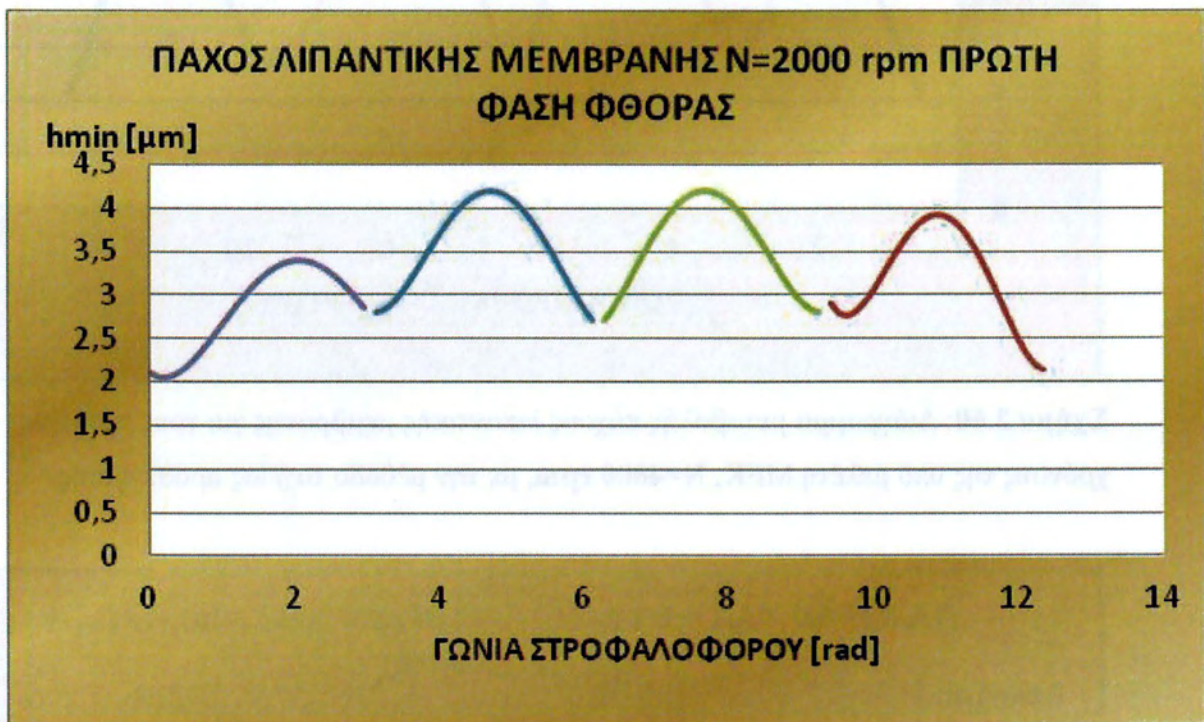
Σχήμα 2.57: Συγκεντρωτικό διάγραμμα, μεταβολή ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης (αποτελέσματα oilfilm) κατά την φάση της συμπίεσης **N=2000-6000 rpm** [Μαύρη καμπύλη: Προσέγγιση θεωρητικής λύσης για N=5500 rpm]



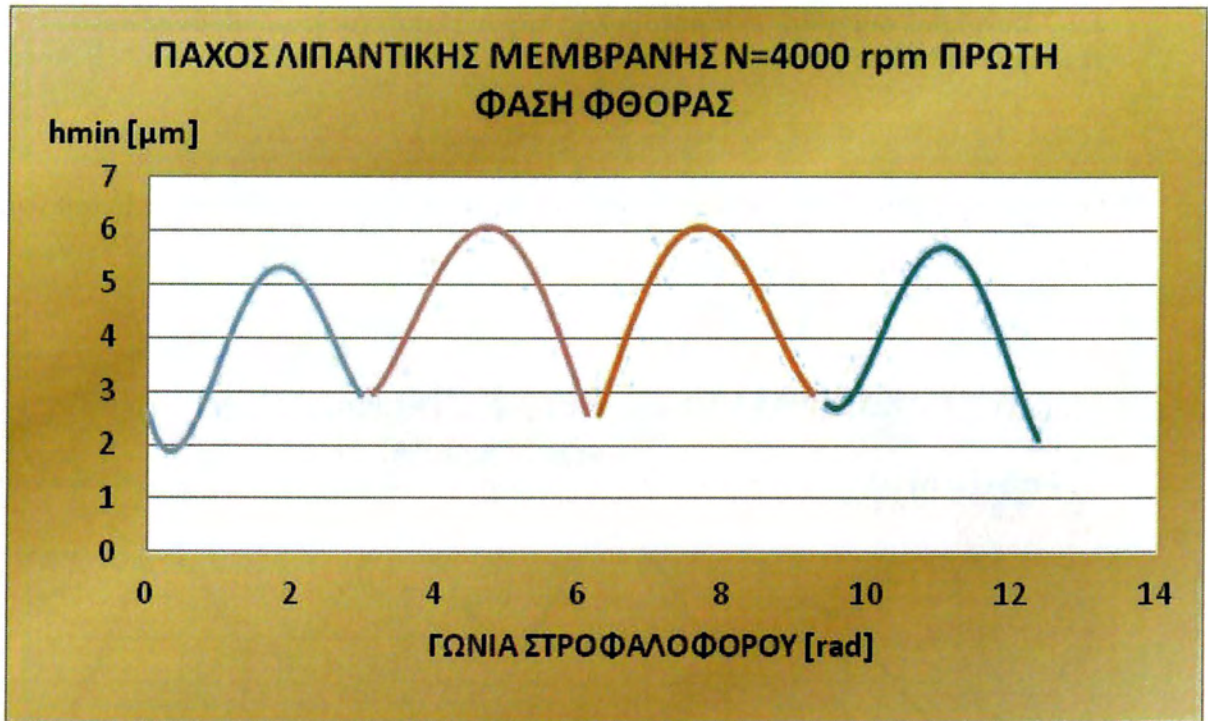
Σχήμα 2.58: Συγκεντρωτικό διάγραμμα, μεταβολή ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης (αποτελέσματα oilfilm) κατά την φάση της συμπίεσης $N=2000-6000$ rpm [Μαύρη καμπύλη: Προσέγγιση θεωρητικής λύσης για $N=6000$ rpm]

2.2.7 Συνολικά διαγράμματα μεταβολής πάχους λιπαντικής μεμβράνης σε τετράχρονη ΜΕΚ.

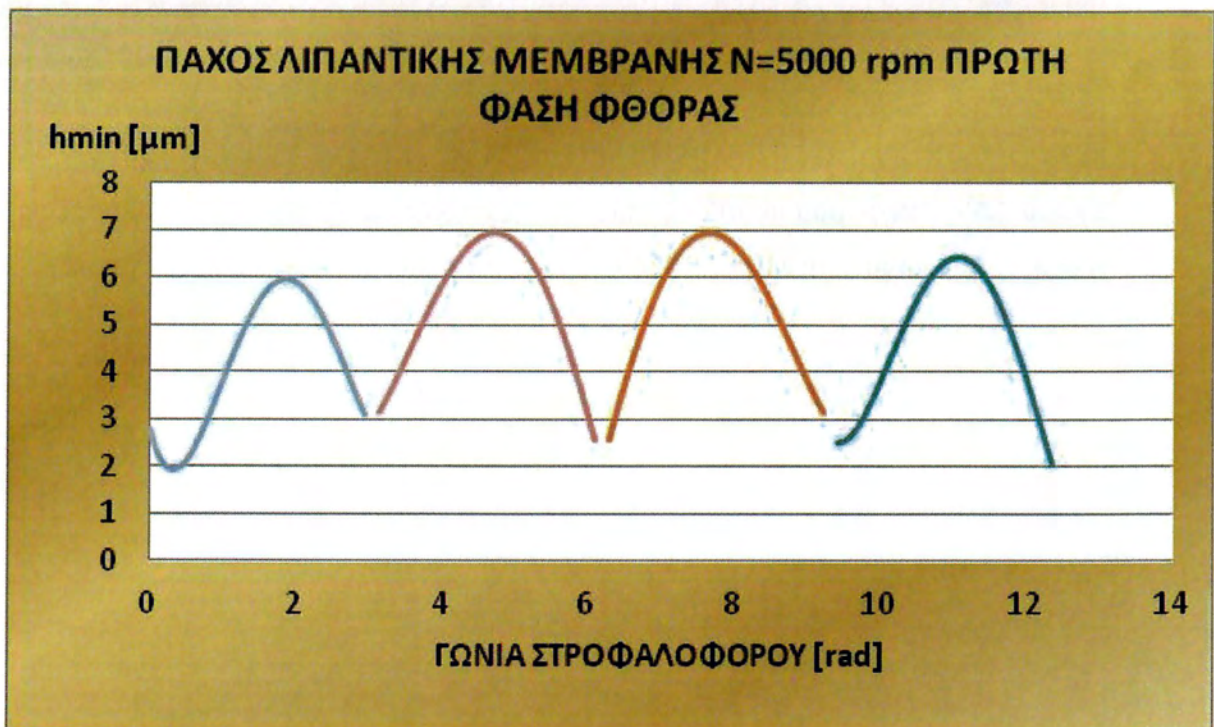
Οι επιμέρους καμπύλες (για κάθε χρόνο) αν ενωθούν δίνουν το διάγραμμα μεταβολής πάχους λιπαντικής μεμβράνης (σχήματα 2.59 έως 2.63).



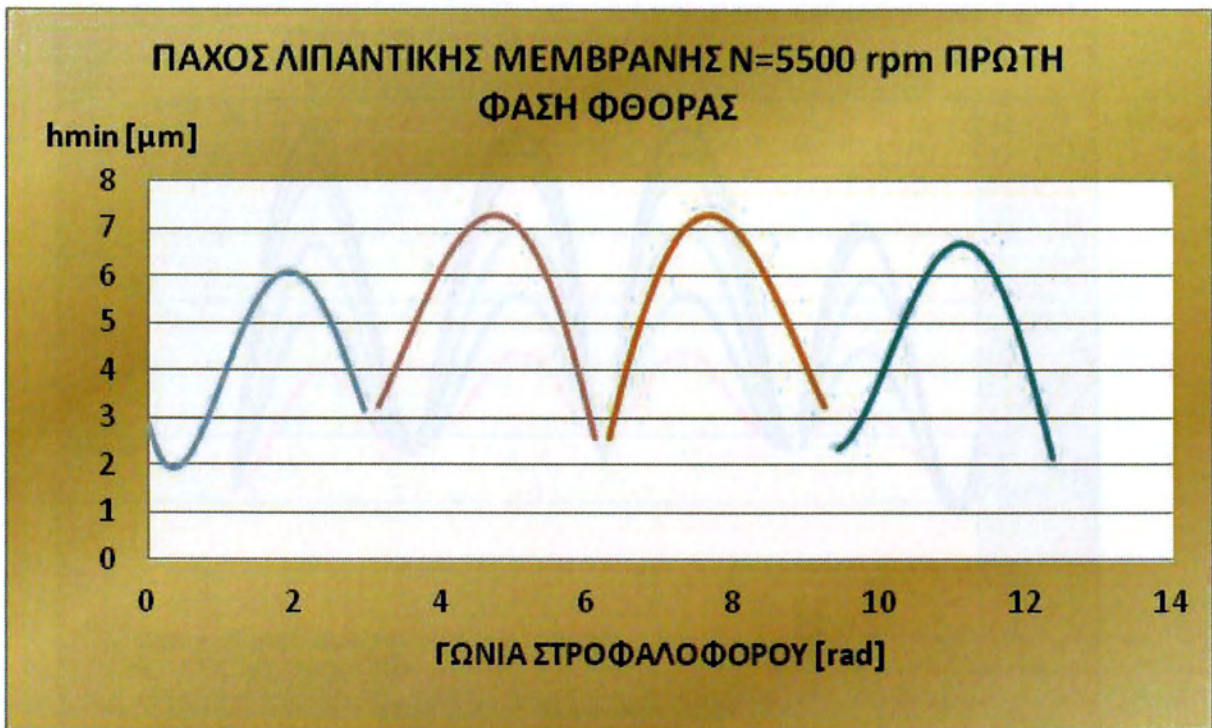
Σχήμα 2.59: Διάγραμμα μεταβολής πάχους λιπαντικής μεμβράνης για τους τέσσερις χρόνους της υπό μελέτη ΜΕΚ, N=2000 rpm, με την μέθοδο ταχείας προσέγγισης.



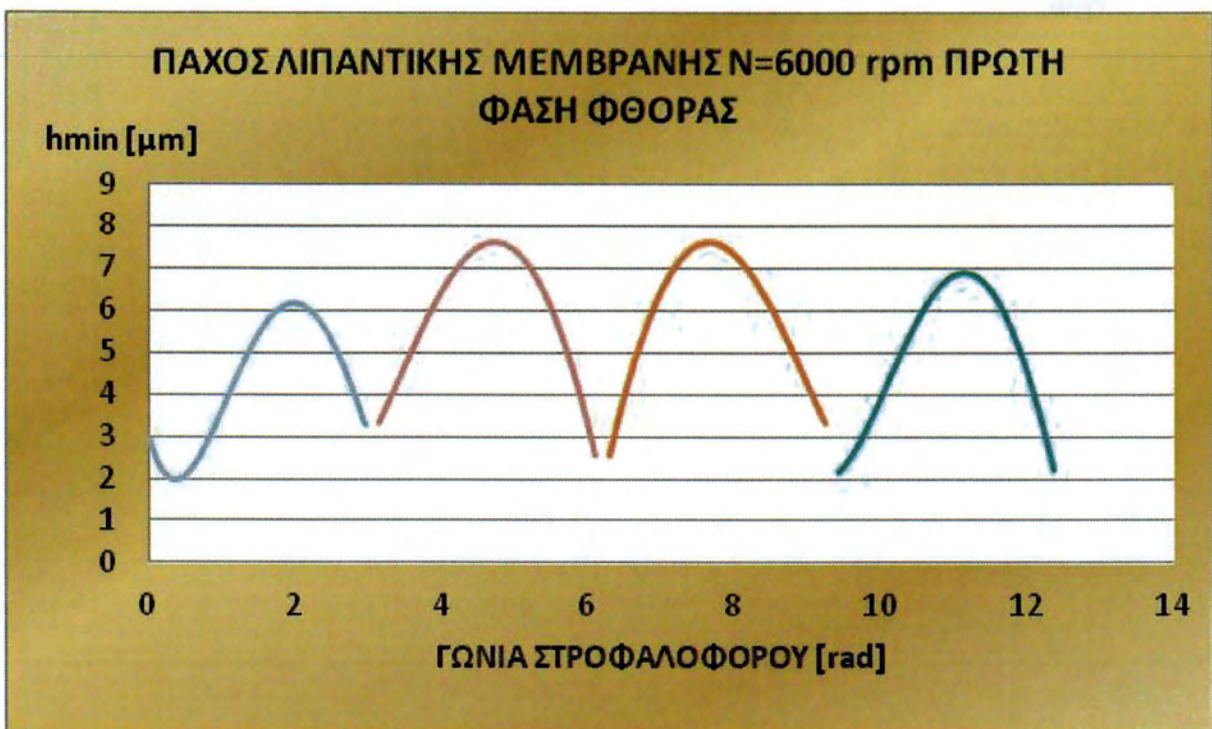
Σχήμα 2.60: Διάγραμμα μεταβολής πάχους λιπαντικής μεμβράνης για τους τέσσερις χρόνους της υπό μελέτη ΜΕΚ, **N=4000 rpm**, με την μέθοδο ταχείας προσέγγισης.



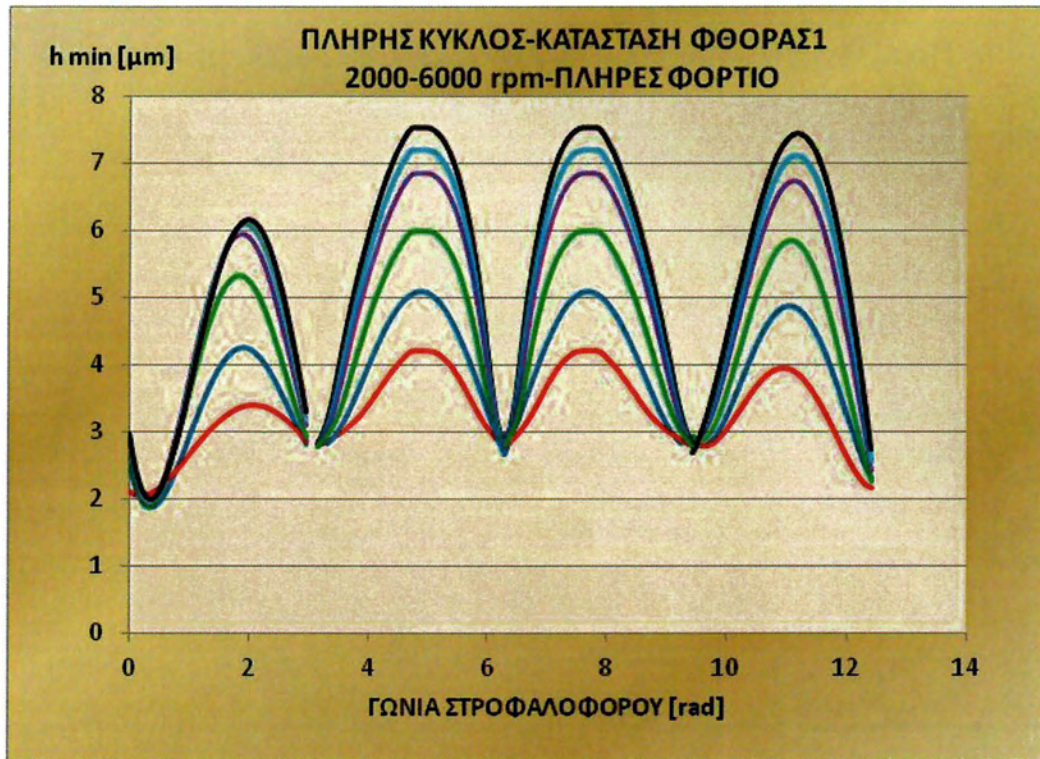
Σχήμα 2.61: Διάγραμμα μεταβολής πάχους λιπαντικής μεμβράνης για τους τέσσερις χρόνους της υπό μελέτη ΜΕΚ, **N=5000 rpm**, με την μέθοδο ταχείας προσέγγισης.



Σχήμα 2.62: Διάγραμμα μεταβολής πάχους λιπαντικής μεμβράνης για τους τέσσερις χρόνους της υπό μελέτη ΜΕΚ, **N=5500 rpm**, με την μέθοδο ταχείας προσέγγισης.



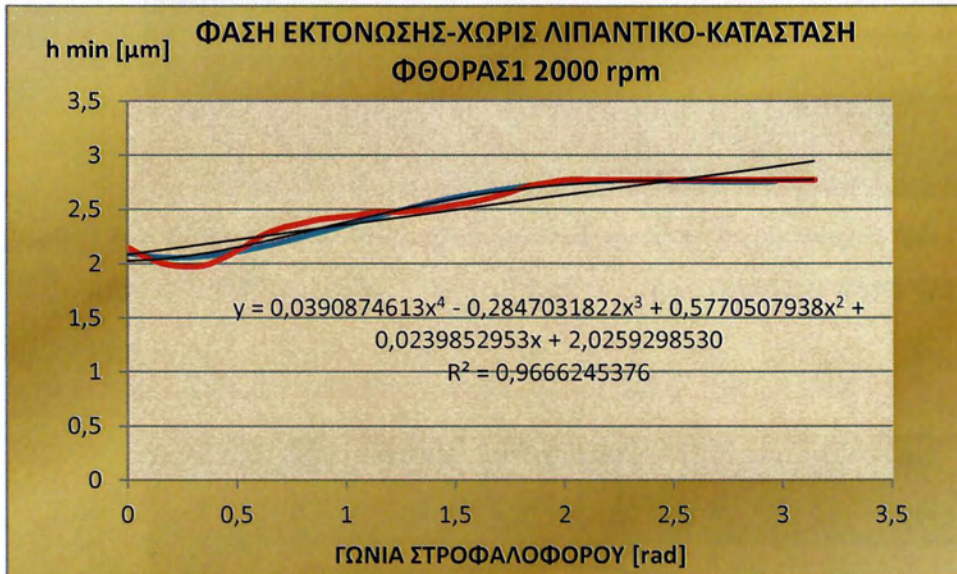
Σχήμα 2.63: Διάγραμμα μεταβολής πάχους λιπαντικής μεμβράνης για τους τέσσερις χρόνους της υπό μελέτη ΜΕΚ, **N=6000 rpm**, με την μέθοδο ταχείας προσέγγισης.



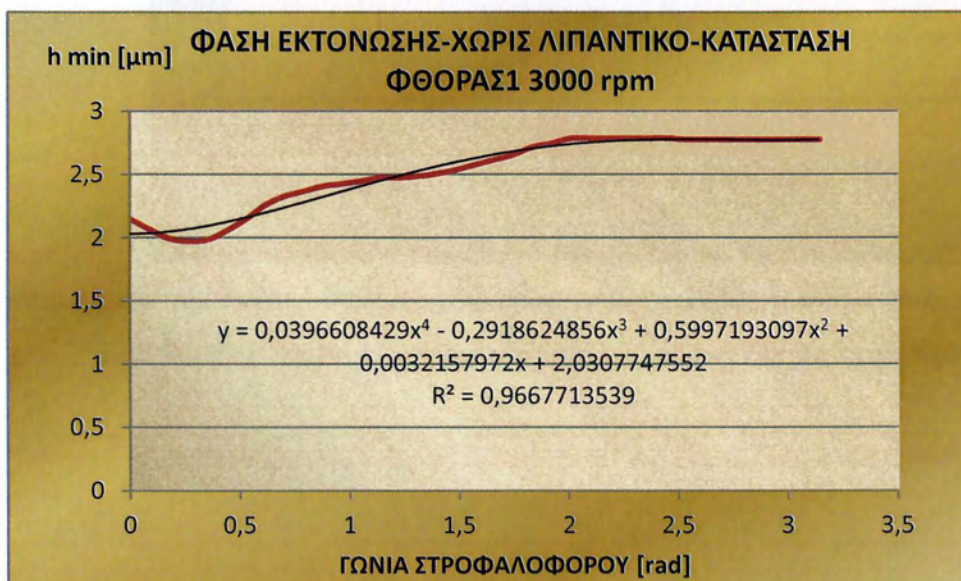
Σχήμα 2.64: Συγκεντρωτικό διάγραμμα, μεταβολή ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης (αποτελέσματα oilfilm) για όλες τις φάσεις, $N=2000-6000$ rpm.

2.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ - ΚΩΔΙΚΑΣ OILFILM - ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ ΚΥΛΙΝΔΡΟΥ (ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΧΩΡΙΣ ΛΙΠΑΝΤΙΚΟ)

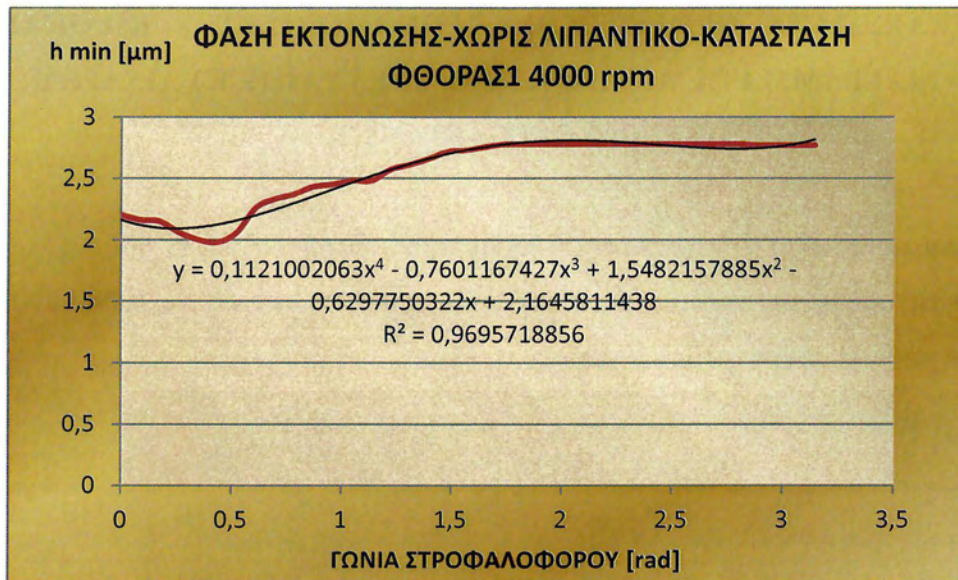
2.3.1 Διάγραμμα μεταβολής απόστασης διαχωρισμού επιφανειών και γραμμή τάσης κατά την φάση της εκτόνωσης, λειτουργία χωρίς λιπαντικό για 2000-6000 rpm για την μέθοδο ταχείας προσέγγισης.



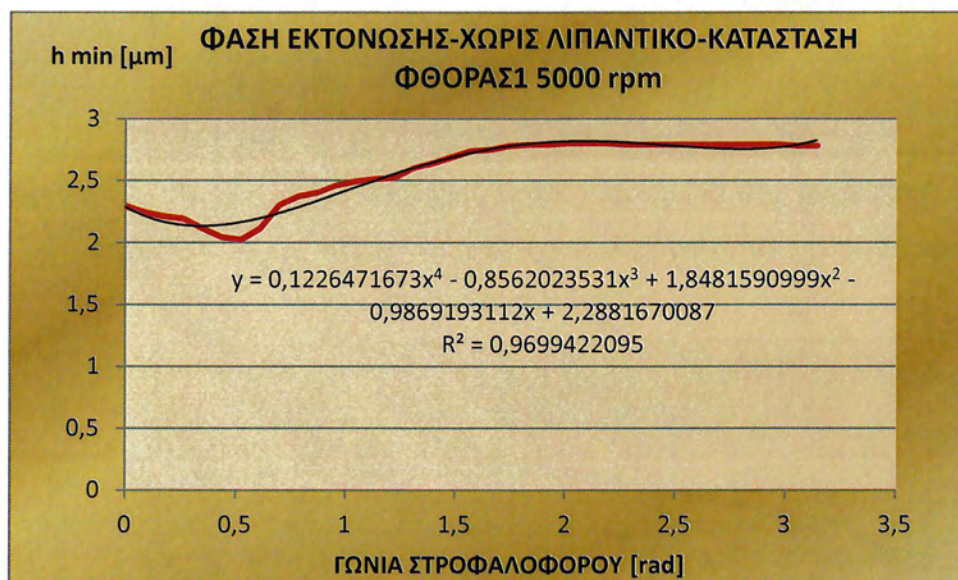
Σχήμα 2.65: Διάγραμμα μεταβολής απόστασης διαχωρισμού επιφανειών και γραμμή τάσης κατά την φάση της εκτόνωσης, λειτουργία χωρίς λιπαντικό N=2000 rpm



Σχήμα 2.66: Διάγραμμα μεταβολής απόστασης διαχωρισμού επιφανειών και γραμμή τάσης κατά την φάση της εκτόνωσης, λειτουργία χωρίς λιπαντικό N=3000 rpm



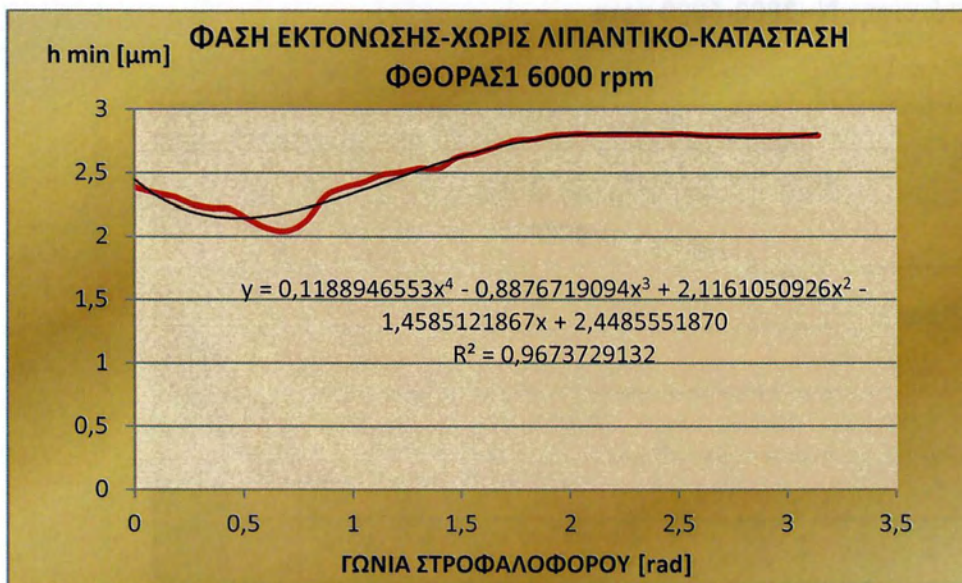
Σχήμα 2.67: Διάγραμμα μεταβολής απόστασης διαχωρισμού επιφανειών και γραμμής τάσης κατά την φάση της εκτόνωσης, λειτουργία χωρίς λιπαντικό **N=4000 rpm**



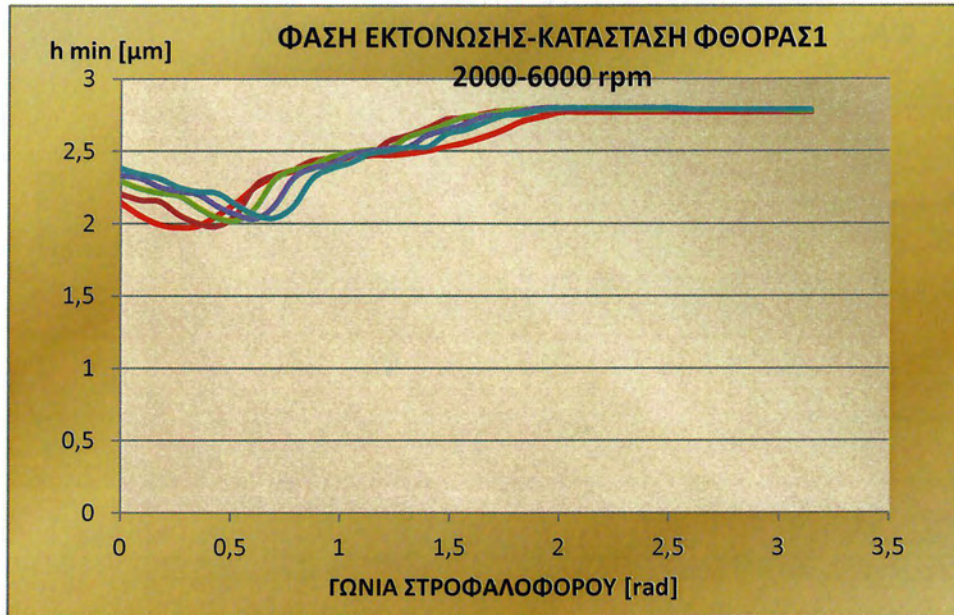
Σχήμα 2.68: Διάγραμμα μεταβολής απόστασης διαχωρισμού επιφανειών και γραμμής τάσης κατά την φάση της εκτόνωσης, λειτουργία χωρίς λιπαντικό **N=5000 rpm**



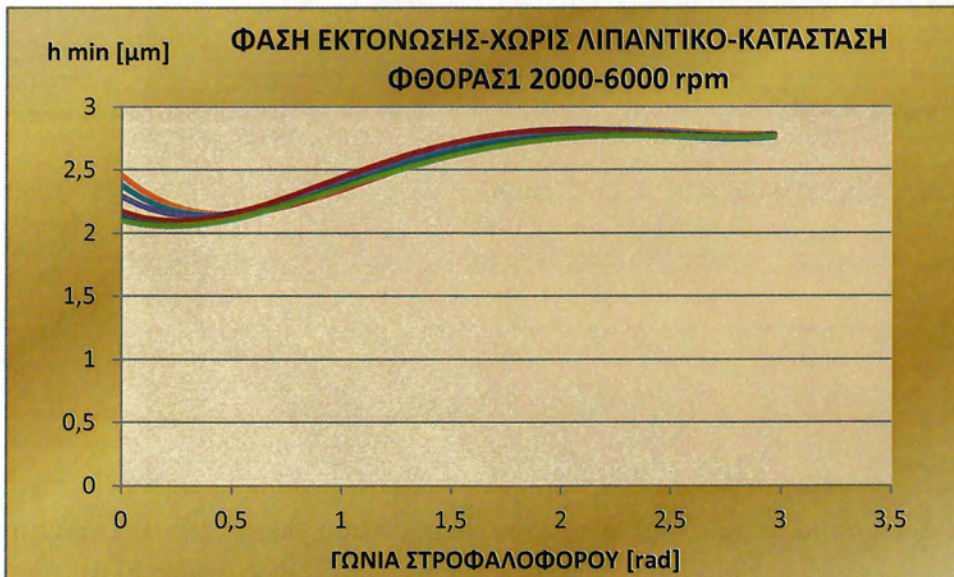
Σχήμα 2.69: Διάγραμμα μεταβολής απόστασης διαχωρισμού επιφανειών και γραμμή τάσης κατά την φάση της εκτόνωσης, λειτουργία χωρίς λιπαντικό **N=5500 rpm**



Σχήμα 2.70: Διάγραμμα μεταβολής απόστασης διαχωρισμού επιφανειών και γραμμή τάσης κατά την φάση της εκτόνωσης, λειτουργία χωρίς λιπαντικό **N=6000 rpm**

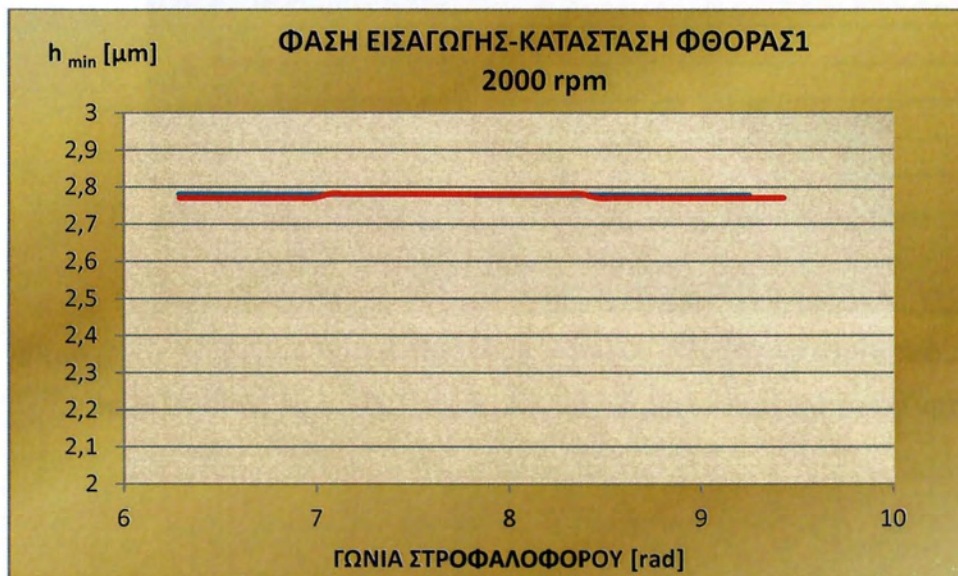


Σχήμα 2.71: Συγκεντρωτικό διάγραμμα, μεταβολή διαχωρισμού επιφανειών δακτυλίου κυλίνδρου (αποτελέσματα oilfilm, λειτουργία χωρίς λιπαντικό) κατά την φάση της εκτόνωσης $N=2000-6000$ rpm

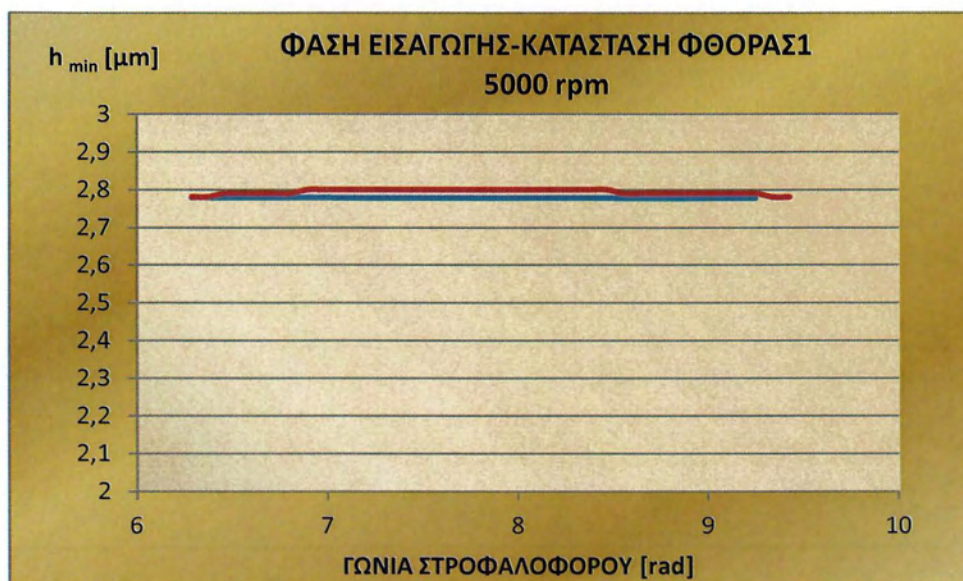


Σχήμα 2.72: Συγκεντρωτικό διάγραμμα, μεταβολή διαχωρισμού επιφανειών δακτυλίου κυλίνδρου (γραμμές τάσης, λειτουργία χωρίς λιπαντικό) κατά την φάση της εκτόνωσης $N=2000-6000$ rpm

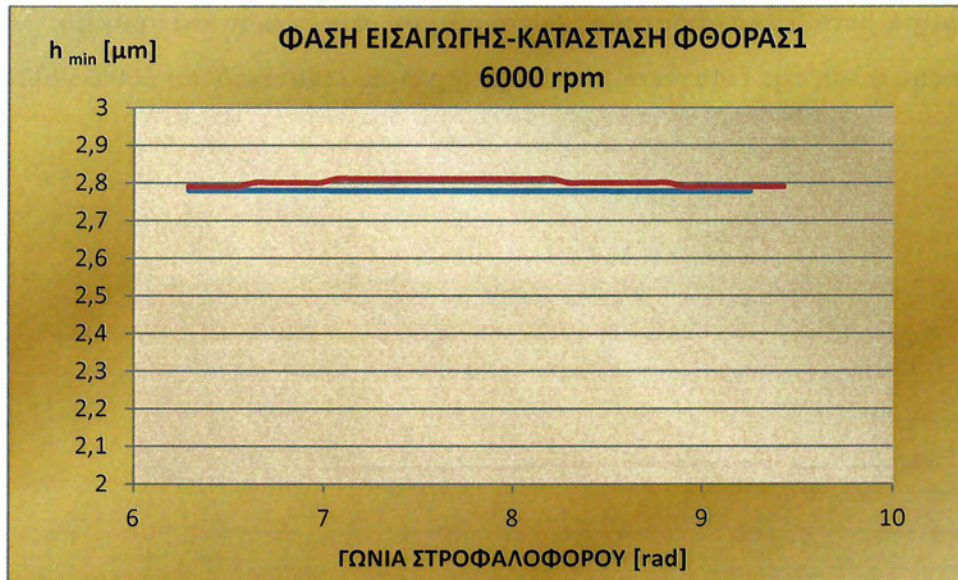
2.3.2 Διάγραμμα μεταβολής απόστασης διαχωρισμού επιφανειών και γραμμής τάσης κατά την φάση της εισαγωγής, λειτουργία χωρίς λιπαντικό για 2000-6000 rpm.



Σχήμα 2.73: Διάγραμμα μεταβολής απόστασης διαχωρισμού επιφανειών και γραμμής τάσης κατά την φάση της εισαγωγής, λειτουργία χωρίς λιπαντικό $N=2000$ rpm



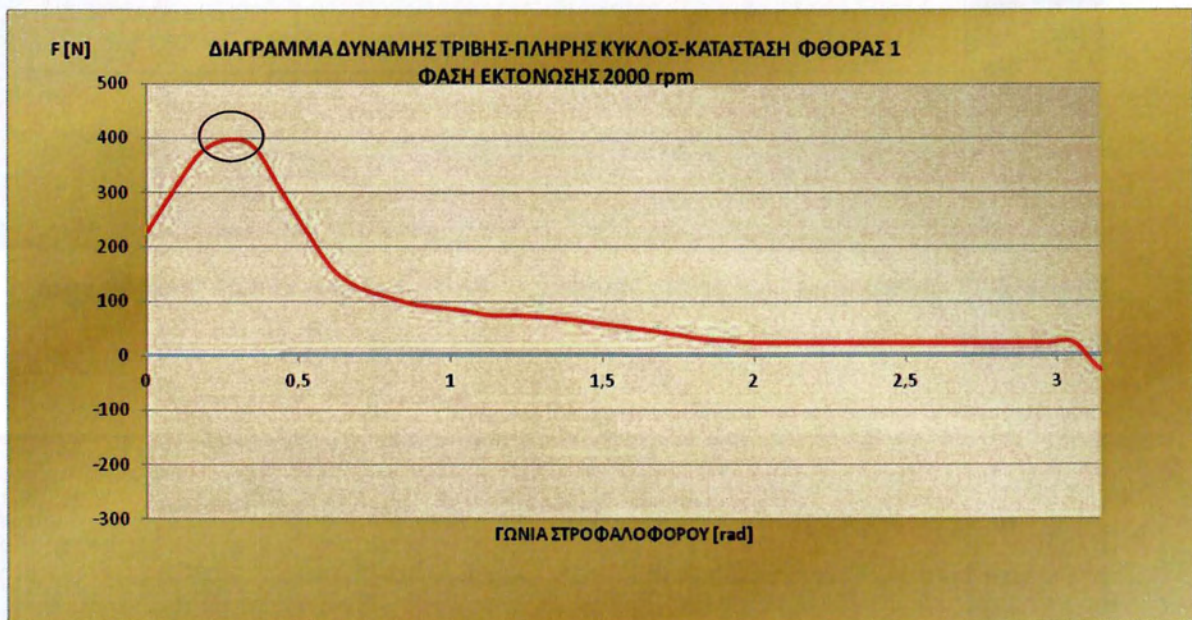
Σχήμα 2.74: Διάγραμμα μεταβολής απόστασης διαχωρισμού επιφανειών και γραμμής τάσης κατά την φάση της εισαγωγής, λειτουργία χωρίς λιπαντικό $N=5000$ rpm



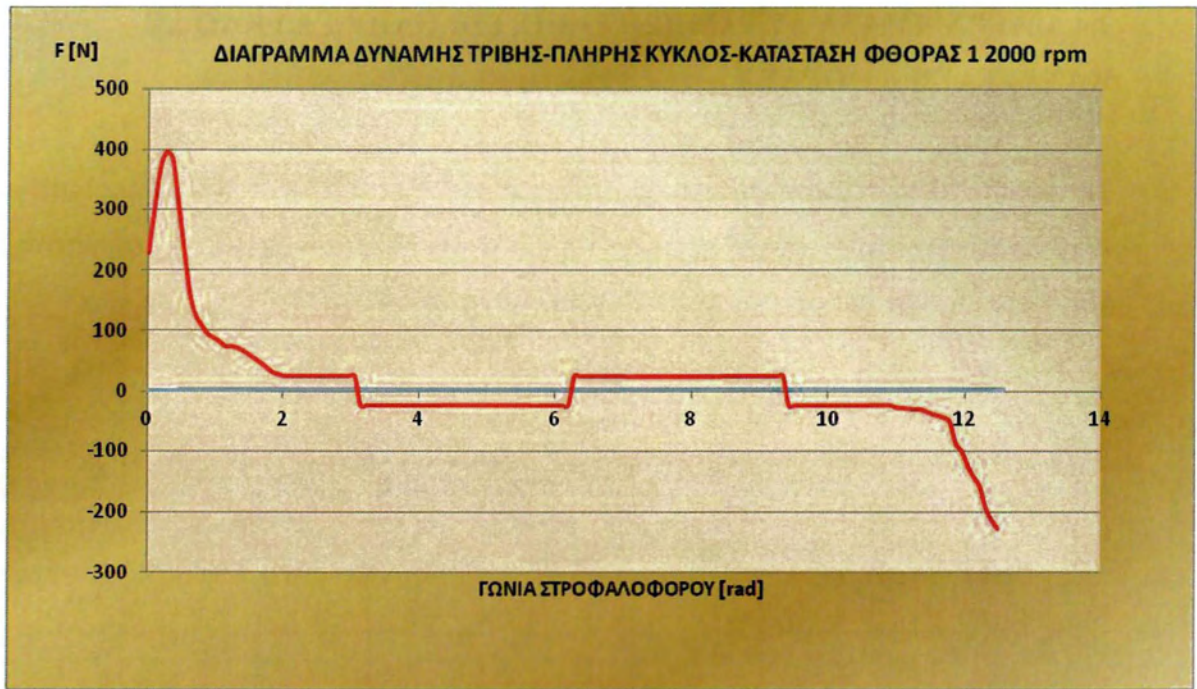
Σχήμα 2.75: Διάγραμμα μεταβολής απόστασης διαχωρισμού επιφανειών και γραμμής τάσης κατά την φάση της εισαγωγής, λειτουργία χωρίς λιπαντικό $N=6000$ rpm

2.4 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΥΝΑΜΗΣ ΤΡΙΒΗΣ ΓΙΑ ΠΛΗΡΗ ΚΥΚΛΟ ΣΕ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΦΘΟΡΑΣ 1

Τα θεωρητικά αποτελέσματα που προέρχονται από τον υπολογιστικό κώδικα Oilfilm παρουσιάζονται στη συνέχεια εξετάζοντας τις φάσεις της εκτόνωσης, της συμπίεσης, της εξαγωγής και της εισαγωγής για την δύναμη τριβής.



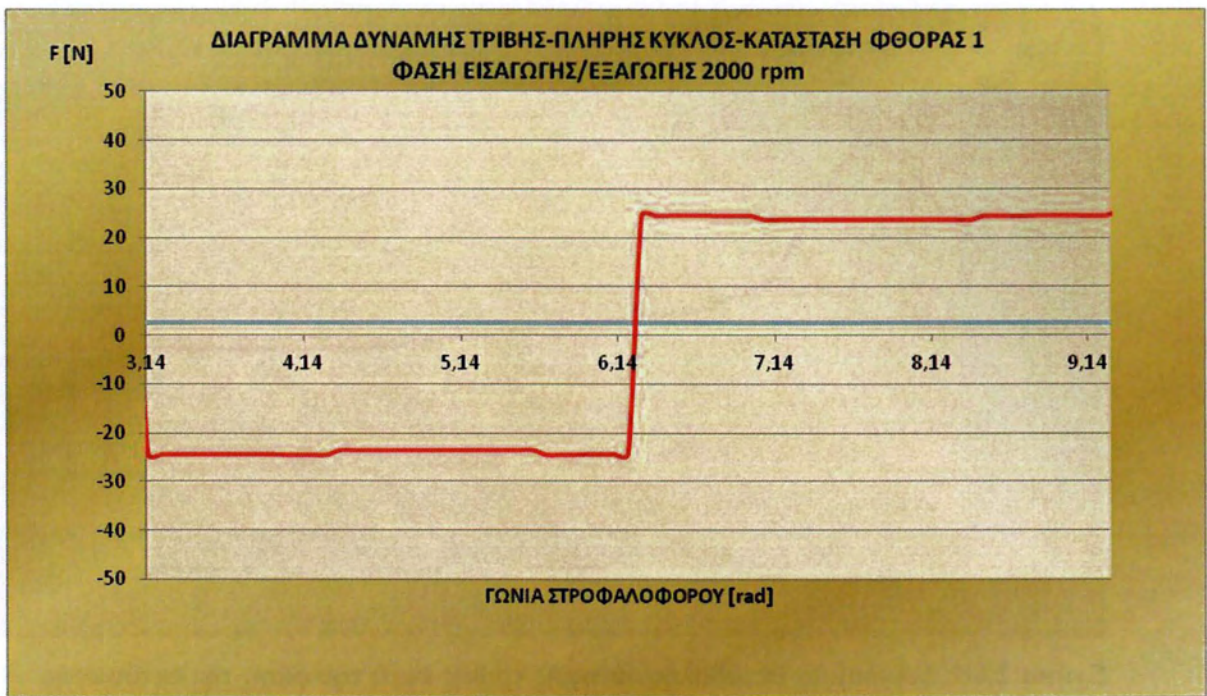
Σχήμα 2.76: Διάγραμμα μεταβολής δύναμης τριβής κατά την φάση της εκτόνωσης $N=2000$ rpm, $0 - \pi$ [rad]



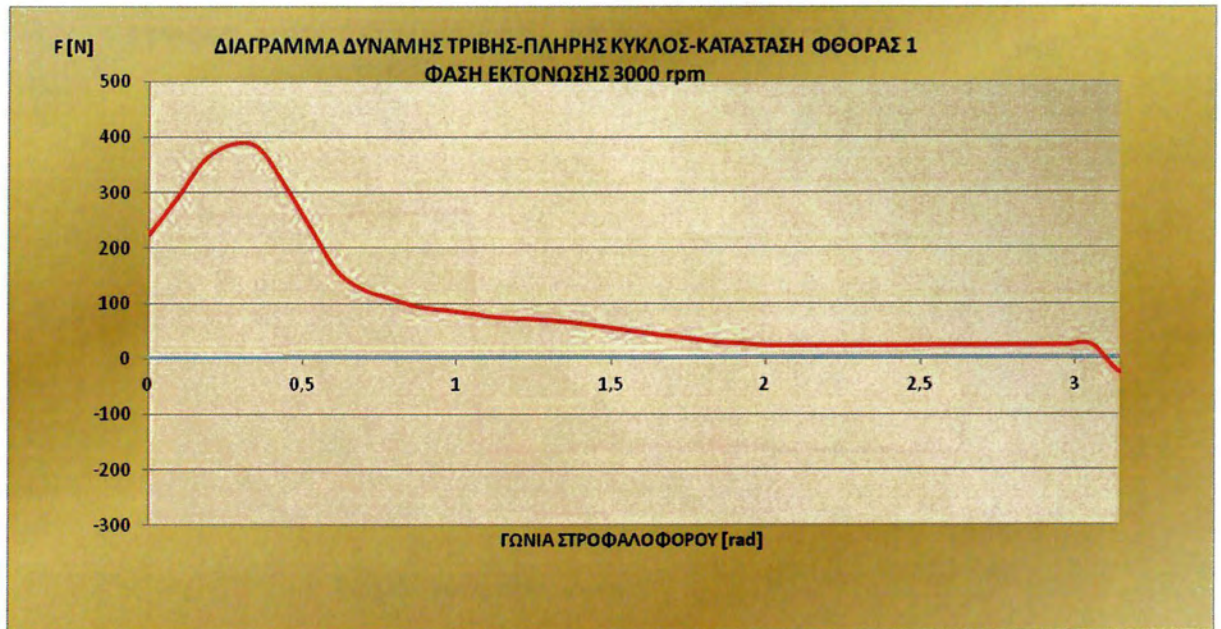
Σχήμα 2.77: Διάγραμμα μεταβολής δύναμης τριβής για πλήρη κύκλο $N=2000$ rpm, $0 - 4\pi$ [rad]



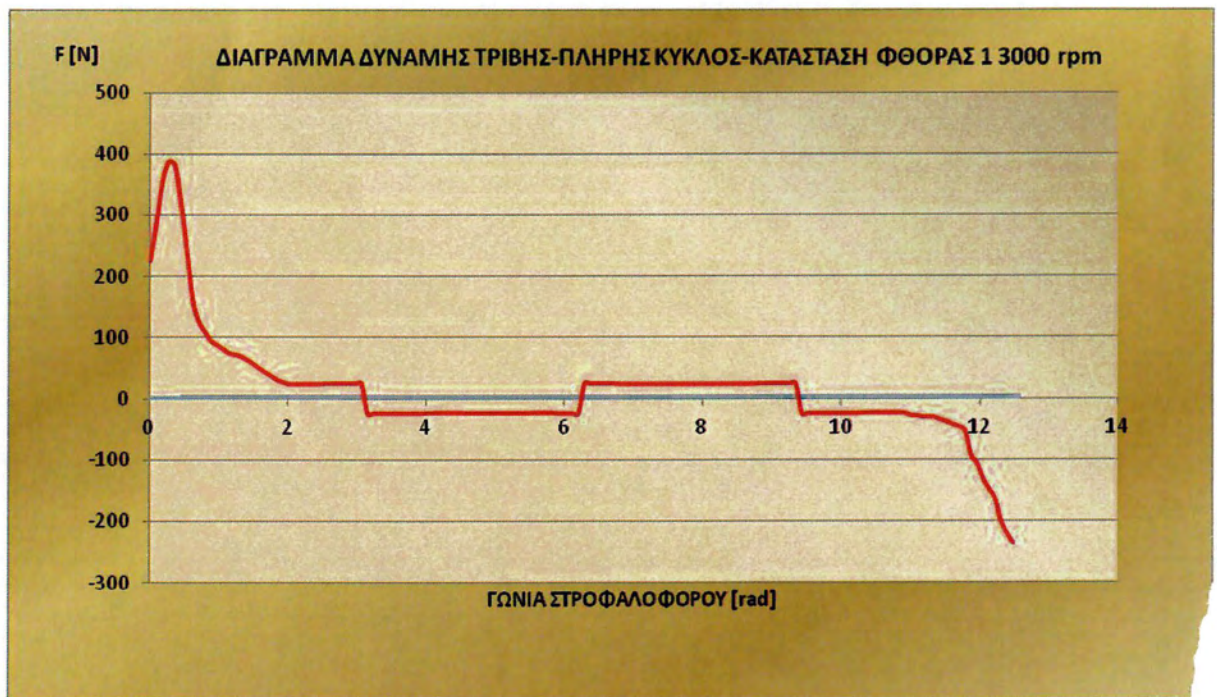
Σχήμα 2.78: Διάγραμμα μεταβολής δύναμης τριβής κατά την φάση της συμπίεσης $N=2000$ rpm, $3\pi - 4\pi$ [rad]



Σχήμα 2.79: Διάγραμμα μεταβολής δύναμης τριβής κατά τις φάσεις της εξαγωγής/εισαγωγής $N=2000$ rpm, $\pi - 2\pi$ [rad]



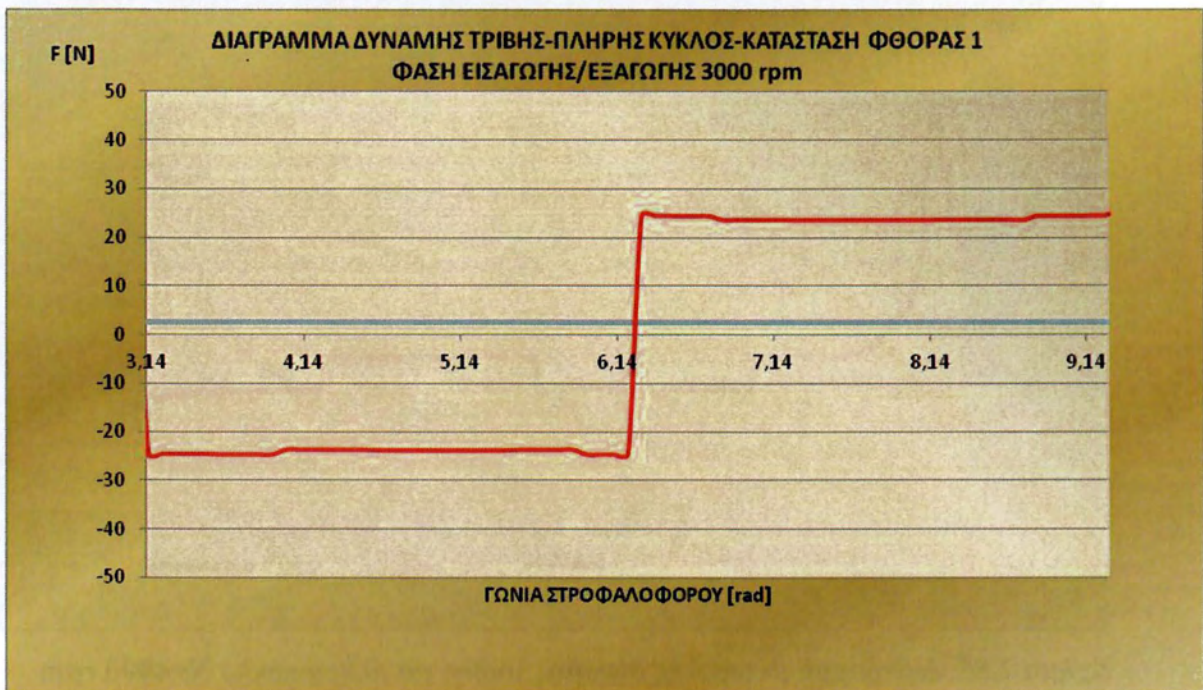
Σχήμα 2.80: Διάγραμμα μεταβολής δύναμης τριβής κατά την φάση της εκτόνωσης $N=3000$ rpm, $0 - \pi$ [rad]



Σχήμα 2.81: Διάγραμμα μεταβολής δύναμης τριβής για πλήρη κύκλο $N=3000$ rpm, $0 - 4\pi$ [rad]



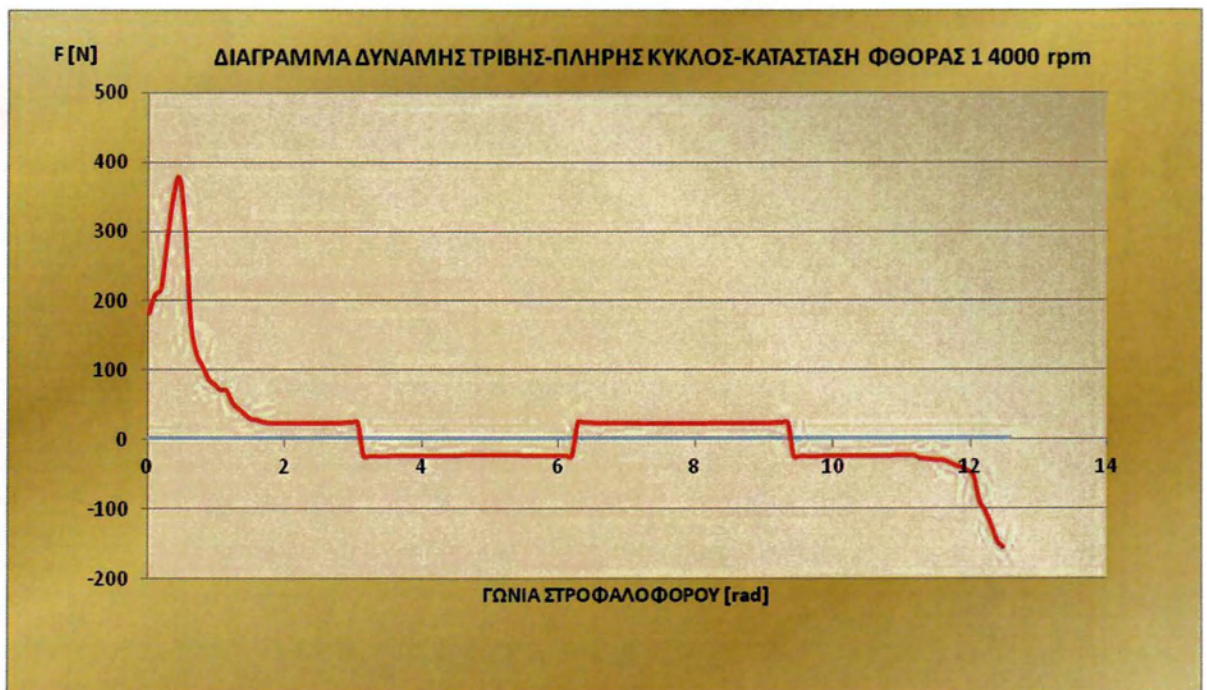
Σχήμα 2.82: Διάγραμμα μεταβολής δύναμης τριβής κατά την φάση της συμπίεσης $N=3000 \text{ rpm}$, $3\pi - 4\pi$ [rad]



Σχήμα 2.83: Διάγραμμα μεταβολής δύναμης τριβής κατά τις φάσεις της εξαγωγής/εισαγωγής $N=3000 \text{ rpm}$, $\pi - 2\pi$ [rad]



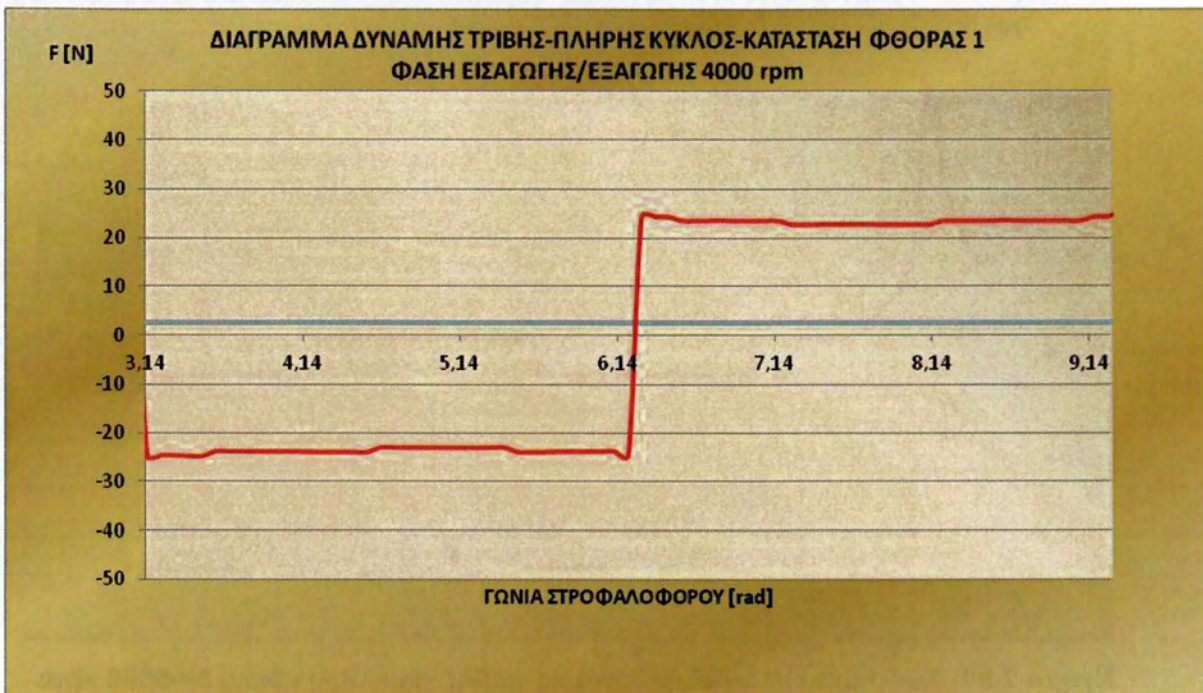
Σχήμα 2.84: Διάγραμμα μεταβολής δύναμης τριβής κατά την φάση της εκτόνωσης $N=4000$ rpm, $0 - \pi$ [rad]



Σχήμα 2.85: Διάγραμμα μεταβολής δύναμης τριβής για πλήρη κύκλο $N=4000$ rpm $0 - 4\pi$ [rad]



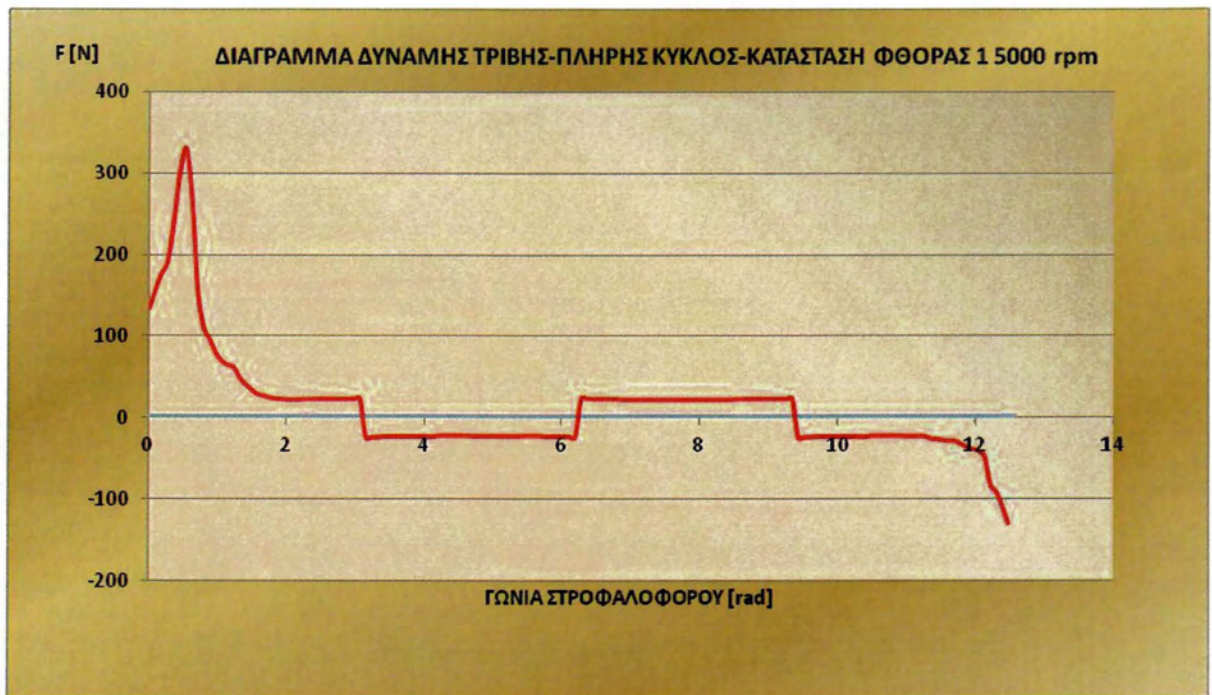
Σχήμα 2.86: Διάγραμμα μεταβολής δύναμης τριβής κατά την φάση της συμπίεσης $N=4000 \text{ rpm}$, $3\pi - 4\pi$ [rad]



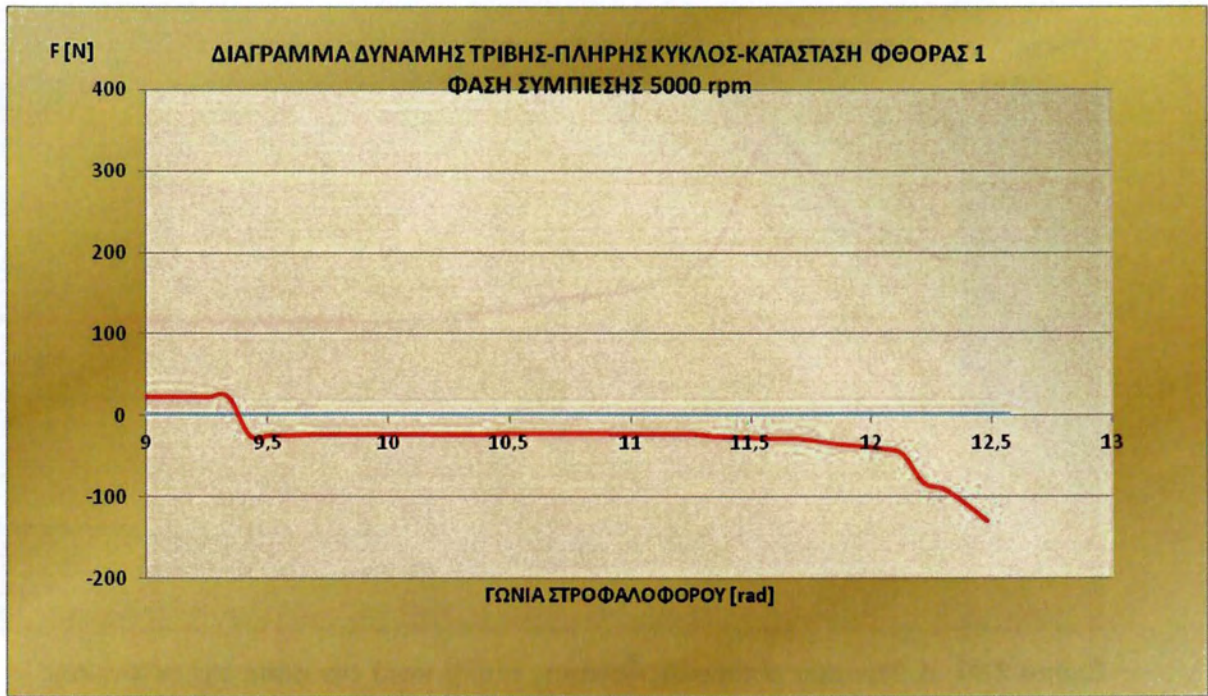
Σχήμα 2.87: Διάγραμμα μεταβολής δύναμης τριβής κατά τις φάσεις της εξαγωγής/εισαγωγής $N=4000 \text{ rpm}$, $\pi - 2\pi$ [rad]



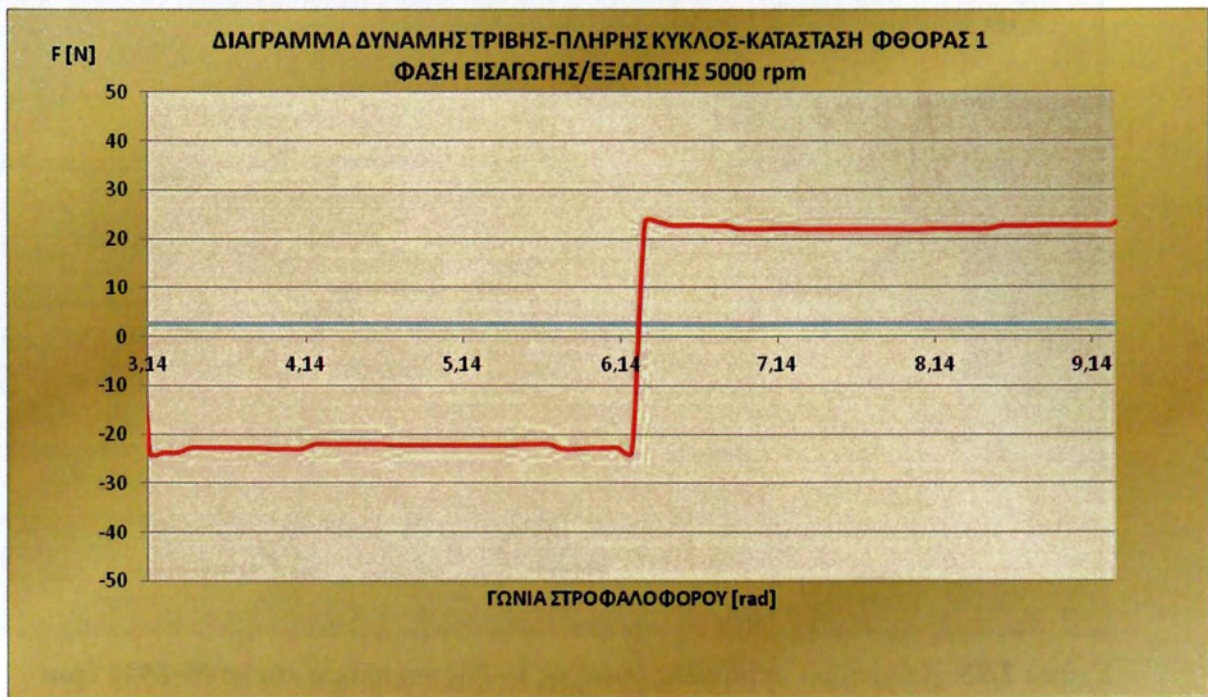
Σχήμα 2.88: Διάγραμμα μεταβολής δύναμης τριβής κατά την φάση της εκτόνωσης $N=5000$ rpm, $0 - \pi$ [rad]



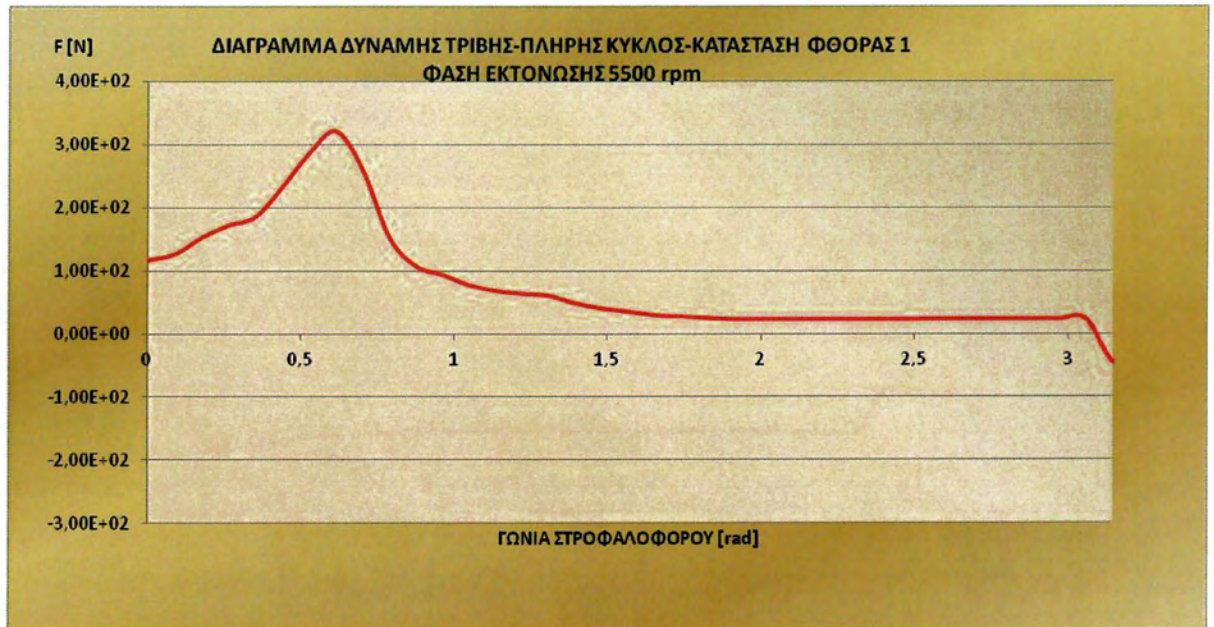
Σχήμα 2.89: Διάγραμμα μεταβολής δύναμης τριβής για πλήρη κύκλο $N=5000$ rpm $0 - 4\pi$ [rad]



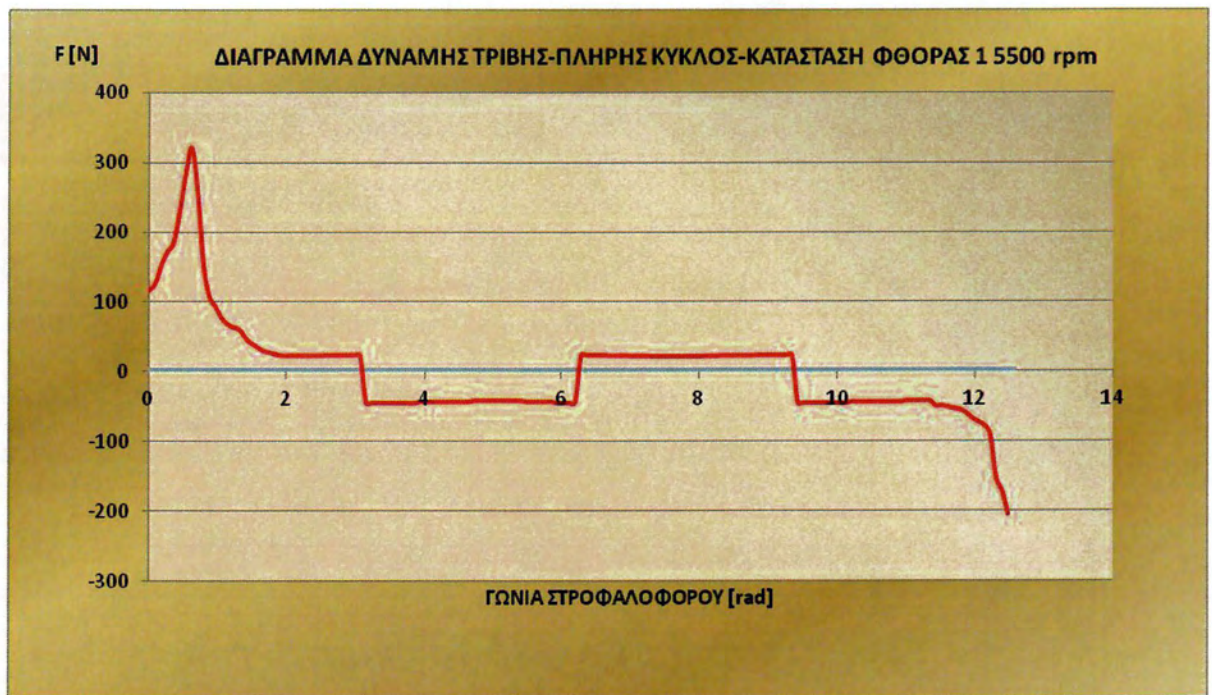
Σχήμα 2.90: Διάγραμμα μεταβολής δύναμης τριβής κατά την φάση της συμπίεσης $N=5000 \text{ rpm}$, $3\pi - 4\pi$ [rad]



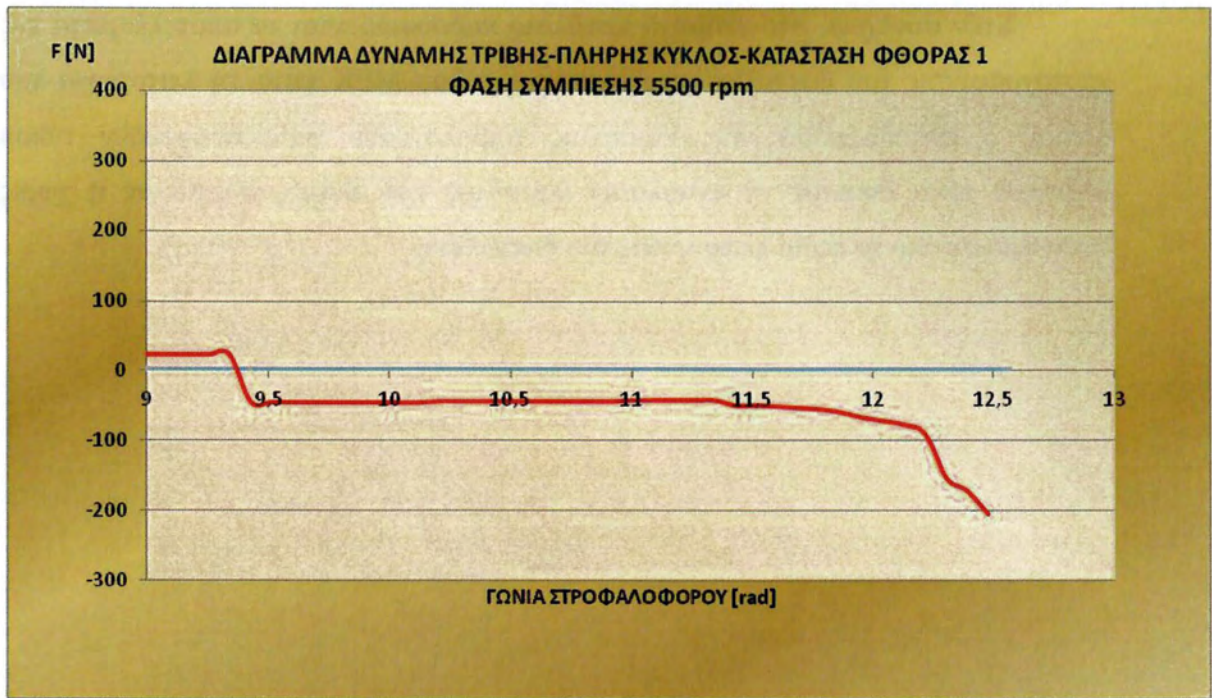
Σχήμα 2.91: Διάγραμμα μεταβολής δύναμης τριβής κατά τις φάσεις της εξαγωγής/εισαγωγής $N=5000 \text{ rpm}$, $\pi - 2\pi$ [rad]



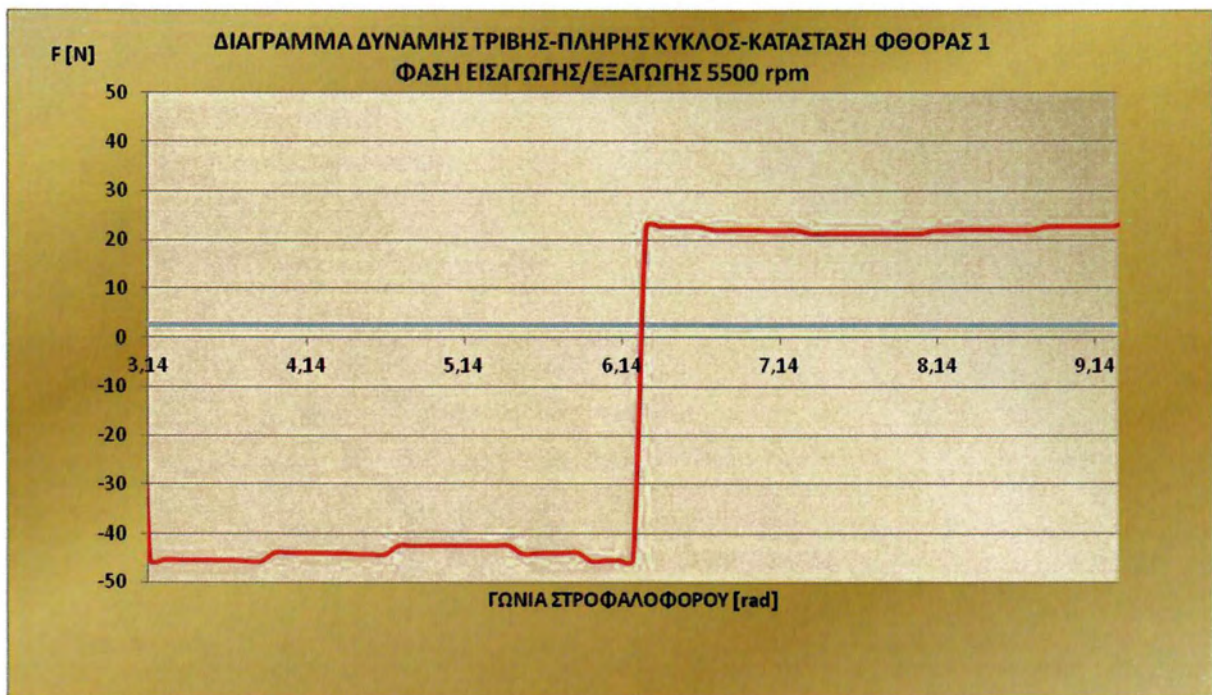
Σχήμα 2.92: Διάγραμμα μεταβολής δύναμης τριβής κατά την φάση της εκτόνωσης $N=5500$ rpm, $0 - \pi$ [rad]



Σχήμα 2.93: Διάγραμμα μεταβολής δύναμης τριβής για πλήρη κύκλο $N=5500$ rpm $0 - 4\pi$ [rad]



Σχήμα 2.94: Διάγραμμα μεταβολής δύναμης τριβής κατά την φάση της συμπίεσης $N=5500$ rpm, $3\pi - 4\pi$ [rad]

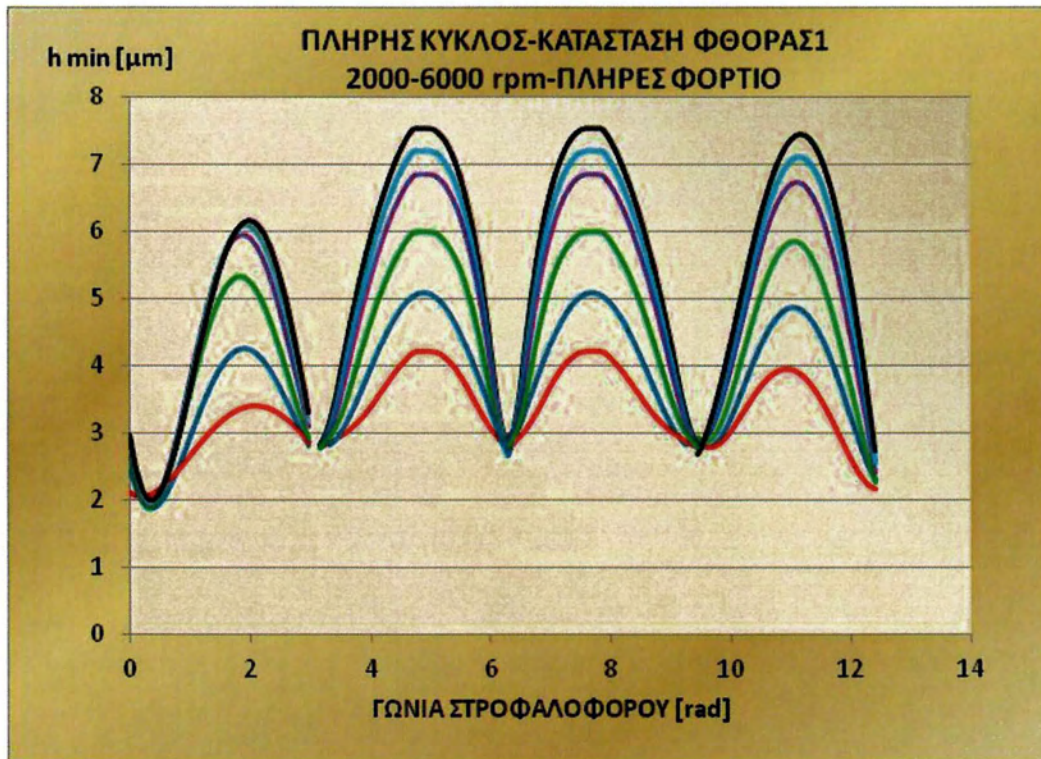


Σχήμα 2.95: Διάγραμμα μεταβολής δύναμης τριβής κατά τις φάσεις της εξαγωγής/εισαγωγής $N=5500$ rpm, $\pi - 2\pi$ [rad]

Στην συνέχεια, στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της χαρτογράφησης του δακτυλίου της φωτιάς εμβόλου MEK κατά τη λειτουργία του οποίου ο προσδιορισμός της καμπύλης τριβολογικών χαρακτηριστικών τύπου Striebeck είναι δυνατόν να αναπλάσει καμπύλες υπό πλήρες φορτίο με ή χωρίς λιπαντικό σε όλο το πεδίο λειτουργίας του δακτυλίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΑΧΕΙΑΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ ΤΙΜΩΝ ΤΡΙΒΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΔΑΚΤΥΛΙΩΝ ΕΜΒΟΛΟΥ ΜΕΚ



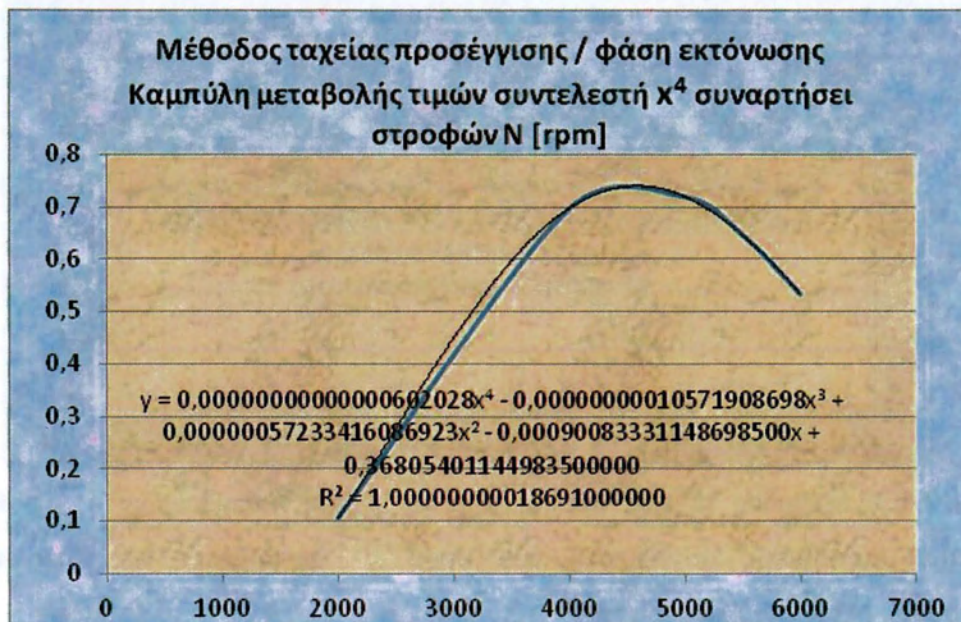
Αποτελέσματα μεθόδου ταχείας προσέγγισης τιμών πάχους λιπαντικής μεμβράνης

3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΑΧΕΙΑΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ ΤΙΜΩΝ ΤΡΙΒΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΔΑΚΤΥΛΙΩΝ ΕΜΒΟΛΟΥ ΜΕΚ

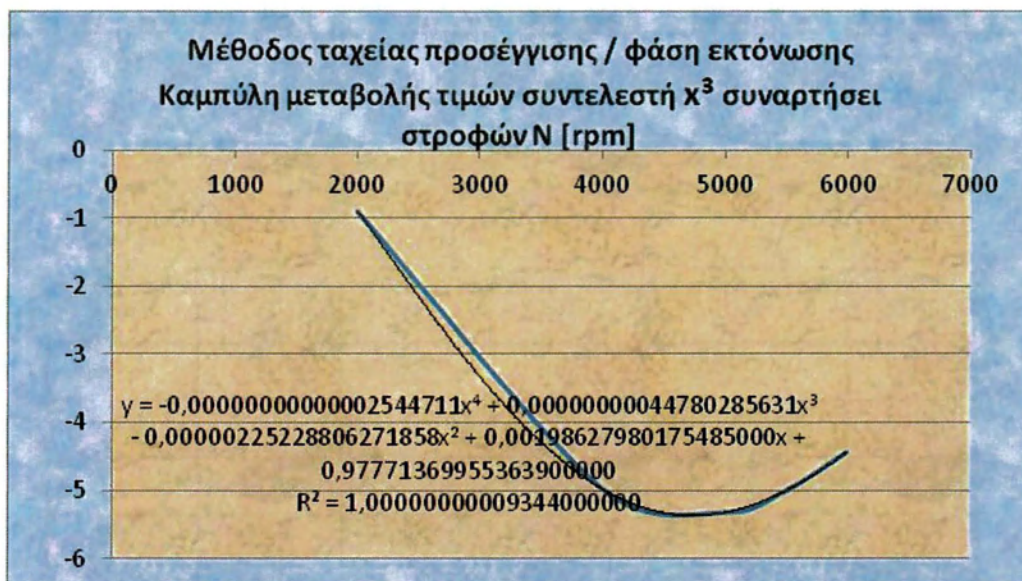
3.1 ΕΚΤΟΝΩΣΗ

| rpm | α_4 | α_3 | α_2 | α_1 | α_0 |
|------|-------------|------------|------------|------------|------------|
| 2001 | 0,106608386 | -0,88607 | 1,999868 | -0,67 | 2,11 |
| 4001 | 0,697381269 | -4,96991 | 10,37071 | -5,13 | 2,61 |
| 5001 | 0,719932793 | -5,32685 | 11,46221 | -5,81 | 2,77 |
| 5501 | 0,646303714 | -5,01105 | 11,23595 | -6,00 | 2,88 |
| 6000 | 0,534041090 | -4,44102 | 10,51222 | -5,93 | 2,96 |
| 5500 | 0,646498536 | -5,01196 | 11,23691 | -6,00014 | 2,875943 |

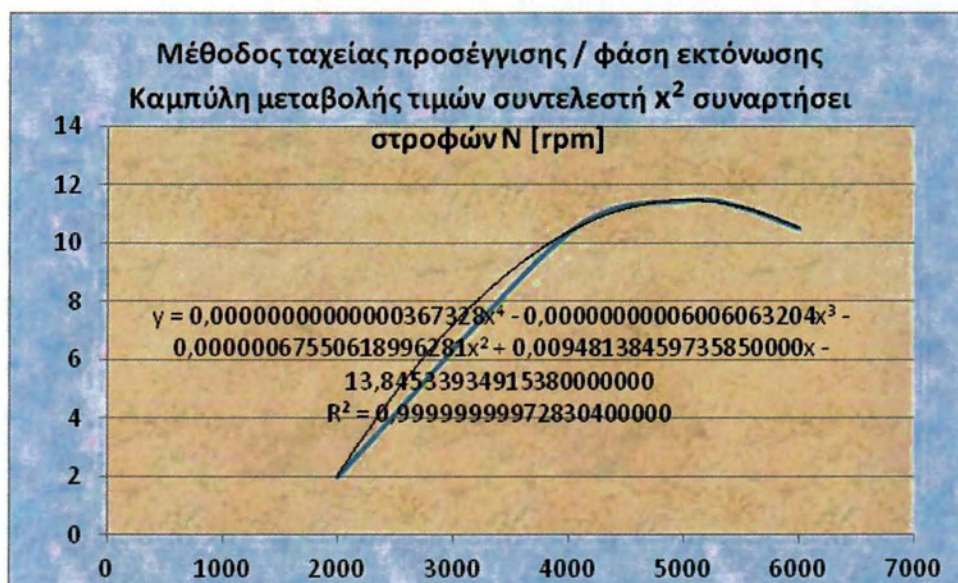
Πίνακας 3.1: Μέθοδος ταχείας προσέγγισης, πίνακας τιμών συντελεστών πολυωνύμων 4^{ΟΥ} βαθμού που επελέγησαν για την απεικόνιση των καμπυλών ελαχίστου πάχους λιπαντικής μεμβράνης κατά την φάση της εκτόνωσης.



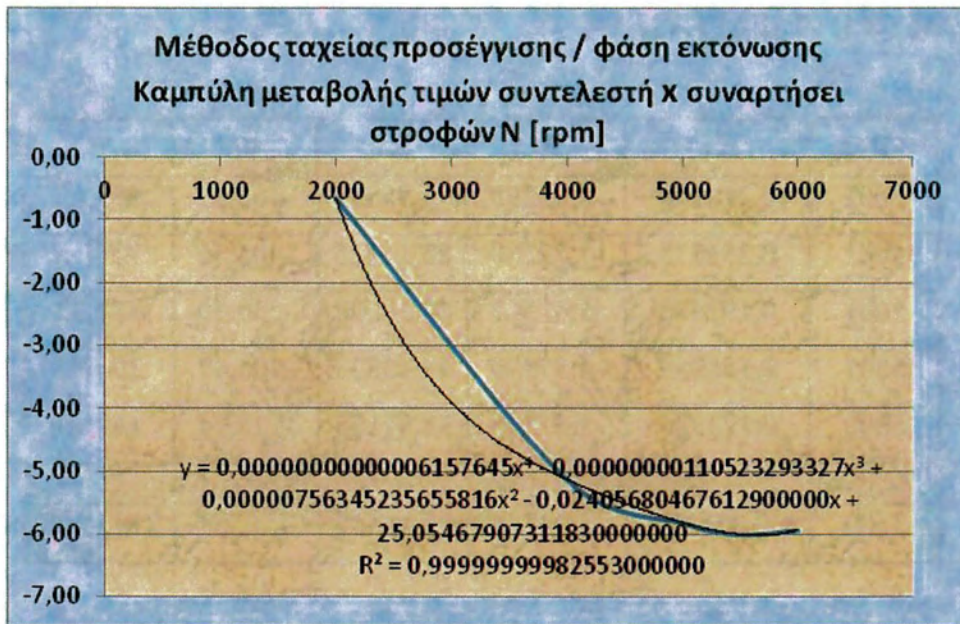
Σχήμα 3.1.1: Μέθοδος ταχείας προσέγγισης με χρήση πολυωνύμων 4^{ΟΥ} βαθμού, διάγραμμα μεταβολής συντελεστή του όρου x^4 συναρτήσεως της συχνότητας περιστροφής N από 2000-6000 rpm.



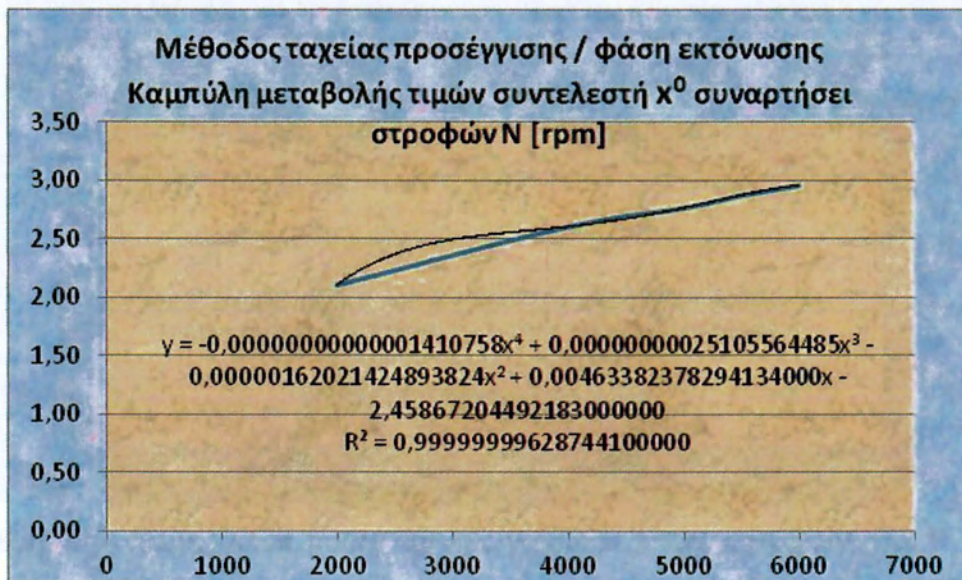
Σχήμα 3.1.2: Μέθοδος ταχείας προσέγγισης με χρήση πολωνύμων 4^{ΟΥ} βαθμού, διάγραμμα μεταβολής συντελεστή του όρου x^3 συναρτήσεως της συχνότητας περιστροφής N από 2000-6000 rpm.



Σχήμα 3.1.3: Μέθοδος ταχείας προσέγγισης με χρήση πολωνύμων 4^{ΟΥ} βαθμού, διάγραμμα μεταβολής συντελεστή του όρου x^2 συναρτήσεως της συχνότητας περιστροφής N από 2000-6000 rpm.



Σχήμα 3.1.4: Μέθοδος ταχείας προσέγγισης με χρήση πολυωνύμων 4^{ΟΥ} βαθμού, διάγραμμα μεταβολής συντελεστή του όρου x συναρτήσε της συχνότητας περιστροφής N από 2000-6000 rpm.

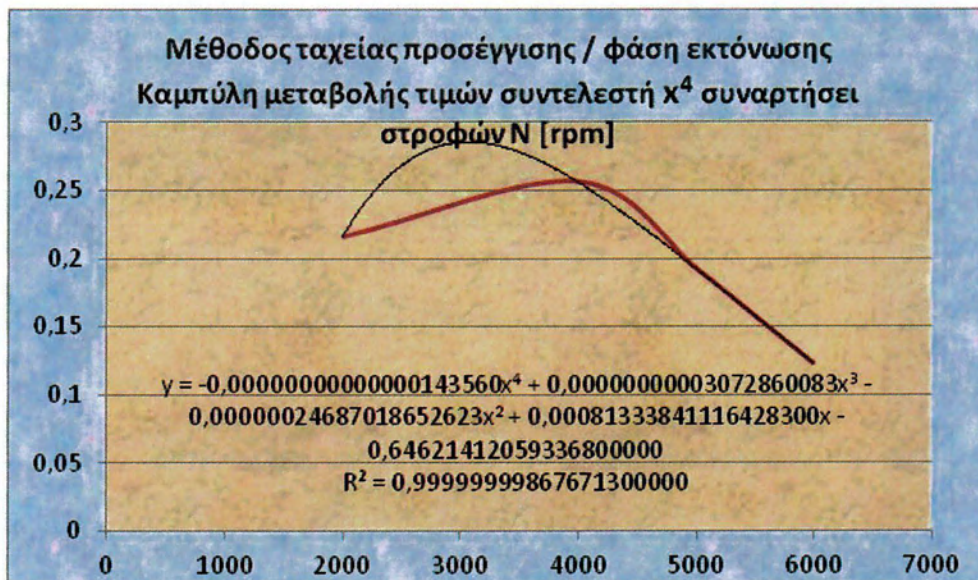


Σχήμα 3.1.5: Μέθοδος ταχείας προσέγγισης με χρήση πολυωνύμων 4^{ΟΥ} βαθμού, διάγραμμα μεταβολής συντελεστή του όρου x⁰ (σταθερός όρος) συναρτήσε της συχνότητας περιστροφής N από 2000-6000 rpm.

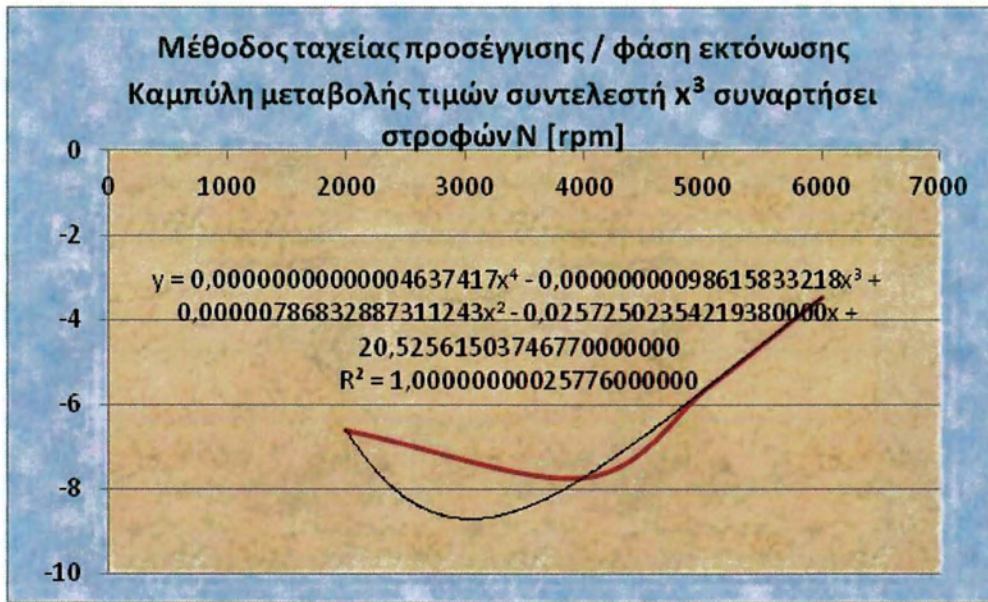
3.2 ΕΞΑΓΩΓΗ / ΕΙΣΑΓΩΓΗ

| rpm | α_4 | α_3 | α_2 | α_1 | α_0 |
|------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 2001 | 0,215990 | -6,60299 | 74,55197 | -368,10 | 673,63 |
| 4001 | 0,256278 | -7,72180 | 85,11125 | -405,36 | 705,46 |
| 5001 | 0,192478 | -5,67503 | 60,29522 | -270,79 | 431,32 |
| 5501 | 0,158059 | -4,57970 | 47,15833 | -200,47 | 290,07 |
| 6000 | 0,123326 | -3,47396 | 33,91155 | -129,74 | 148,45 |
| 3500 | 0,27837 | -8,44745 | 94,18102 | -456,276 | 812,9138 |

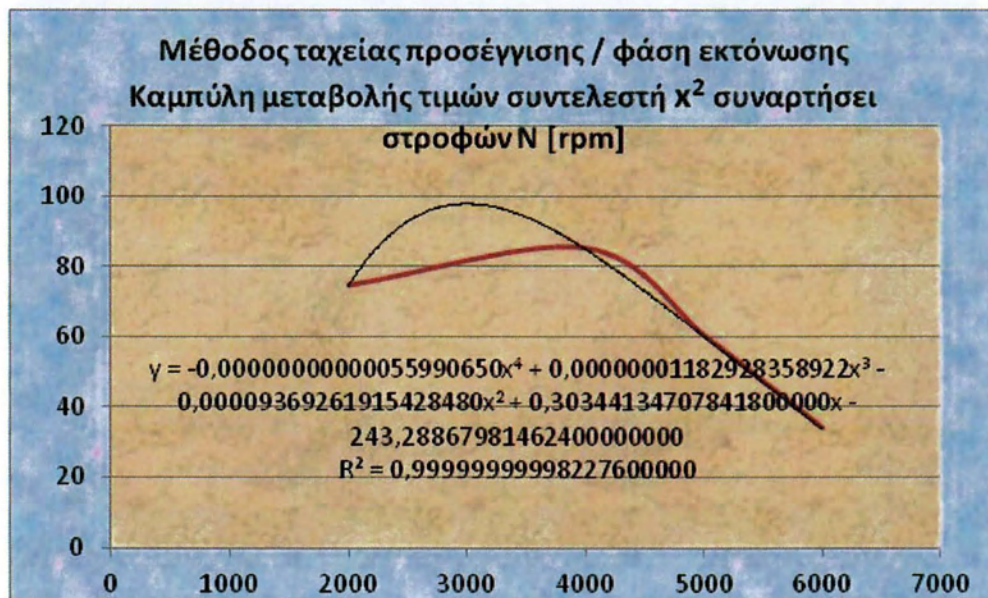
Πίνακας 3.2: Μέθοδος ταχείας προσέγγισης, πίνακας τιμών συντελεστών πολυωνύμων 4^{ΟΥ} βαθμού που επελέγησαν για την απεικόνιση των καμπυλών ελαχίστου πάχους λιπαντικής μεμβράνης κατά την φάση της εισαγωγής.



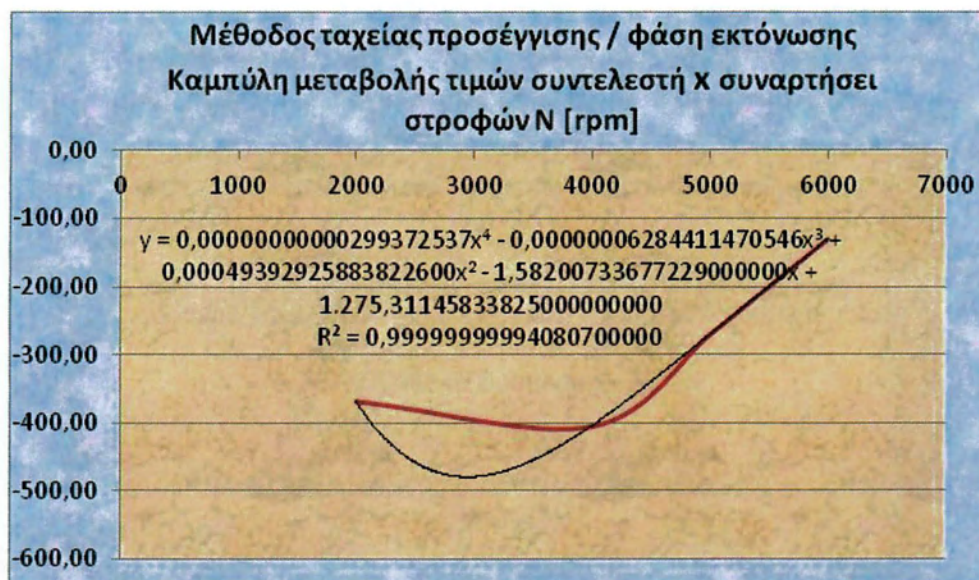
Σχήμα 3.2.1: Μέθοδος ταχείας προσέγγισης με χρήση πολυωνύμων 4^{ΟΥ} βαθμού, διάγραμμα μεταβολής συντελεστή του όρου x^4 συναρτήσεως της συχνότητας περιστροφής N από 2000-6000 rpm.



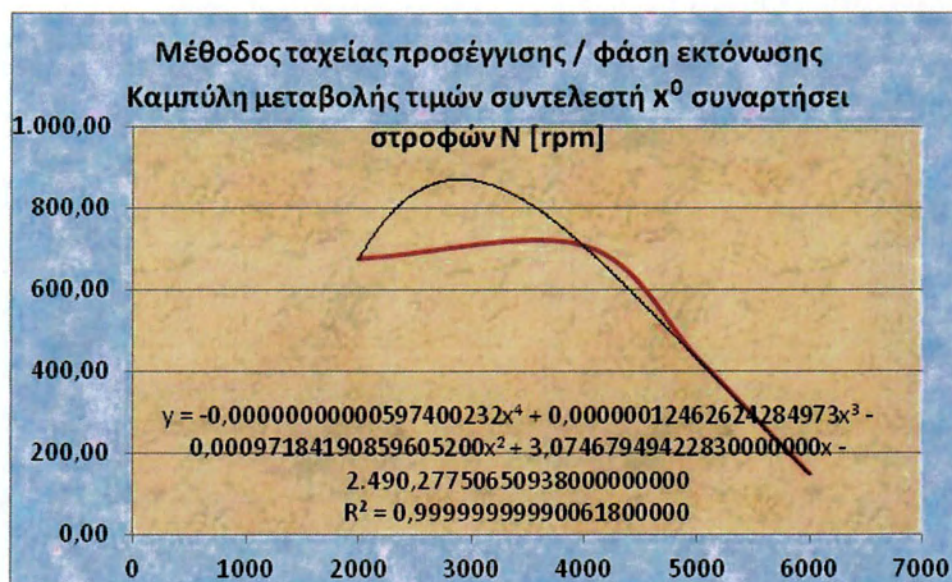
Σχήμα 3.2.2: Μέθοδος ταχείας προσέγγισης με χρήση πολυωνύμων 4^{ΟΥ} βαθμού, διάγραμμα μεταβολής συντελεστή του όρου x^3 συναρτήσεως της συχνότητας περιστροφής N από 2000-6000 rpm.



Σχήμα 3.2.3: Μέθοδος ταχείας προσέγγισης με χρήση πολυωνύμων 4^{ΟΥ} βαθμού, διάγραμμα μεταβολής συντελεστή του όρου x^4 συναρτήσεως της συχνότητας περιστροφής N από 2000-6000 rpm.



Σχήμα 3.2.4: Μέθοδος ταχείας προσέγγισης με χρήση πολυωνύμων 4^{ΟΥ} βαθμού, διάγραμμα μεταβολής συντελεστή του όρου x συναρτήσε της συχνότητας περιστροφής N από 2000-6000 rpm.

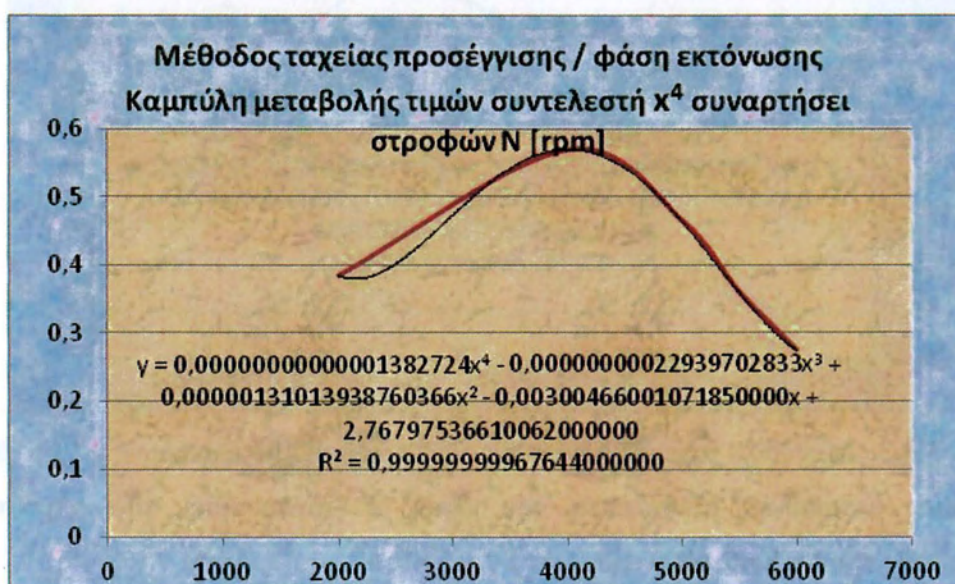


Σχήμα 3.2.5: Μέθοδος ταχείας προσέγγισης με χρήση πολυωνύμων 4^{ΟΥ} βαθμού, διάγραμμα μεταβολής συντελεστή του όρου x⁰ (σταθερός όρος) συναρτήσε της συχνότητας περιστροφής N από 2000-6000 rpm.

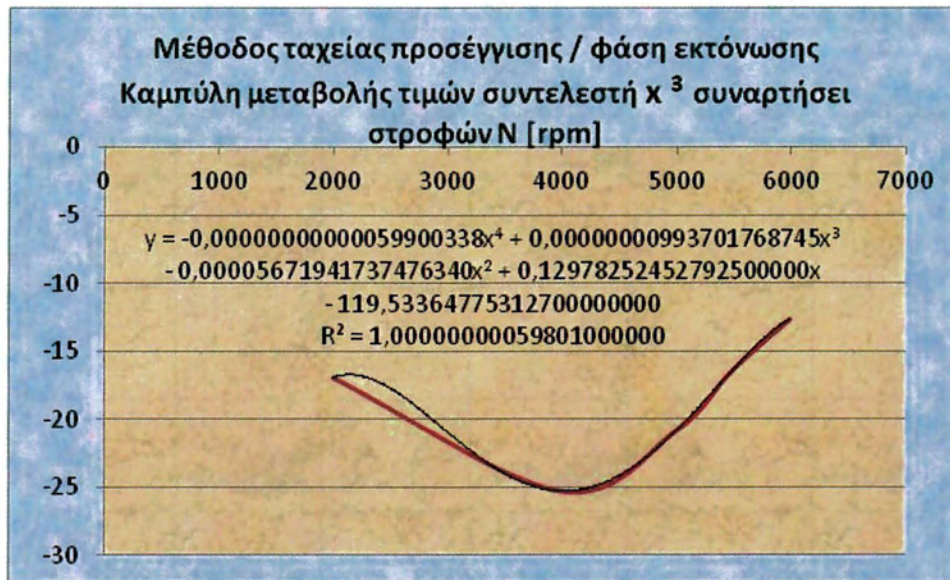
3.3 ΣΥΜΠΙΕΣΗ

| rpm | α_4 | α_3 | α_2 | α_1 | α_0 |
|------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 2001 | 0,385198 | -16,9312 | 277,5761 | 2.011,70 | 5.441,66 |
| 4001 | 0,569935 | -25,2903 | 418,0001 | 3.049,76 | 8.292,22 |
| 5001 | 0,465365 | -20,8480 | 347,1543 | 2.546,65 | 6.949,53 |
| 5501 | 0,360715 | -16,3373 | 274,3549 | 2.025,05 | 5.549,54 |
| 6000 | 0,275384 | -12,6501 | 214,6947 | 1.596,51 | 4.396,35 |
| 3500 | 0,540425 | -23,946 | 395,3581 | -2882,58 | 7835,213 |

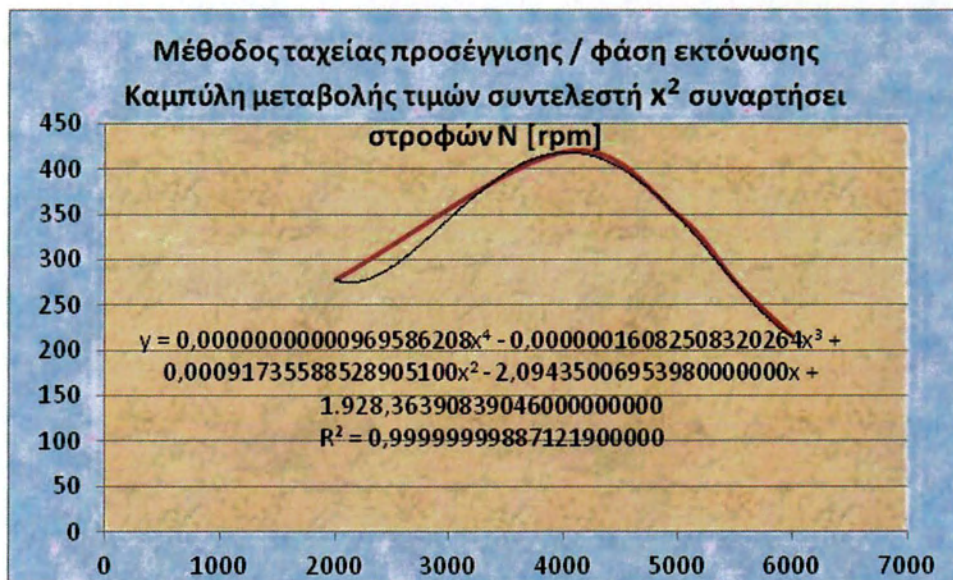
Πίνακας 3.3: Μέθοδος ταχείας προσέγγισης, πίνακας τιμών συντελεστών πολυωνύμων 4^{ΟΥ} βαθμού που επελέγησαν για την απεικόνιση των καμπυλών ελαχίστου πάχους λιπαντικής μεμβράνης κατά την φάση της συμπίεσης.



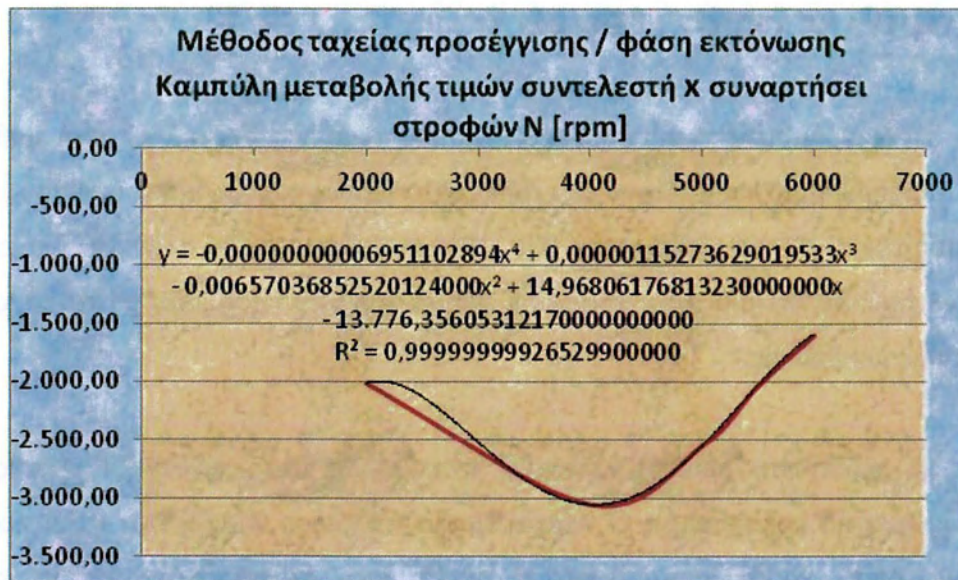
Σχήμα 3.3.1: Μέθοδος ταχείας προσέγγισης με χρήση πολυωνύμων 4^{ΟΥ} βαθμού, διάγραμμα μεταβολής συντελεστή του όρου x^4 συναρτήσεως της συχνότητας περιστροφής N από 2000-6000 rpm.



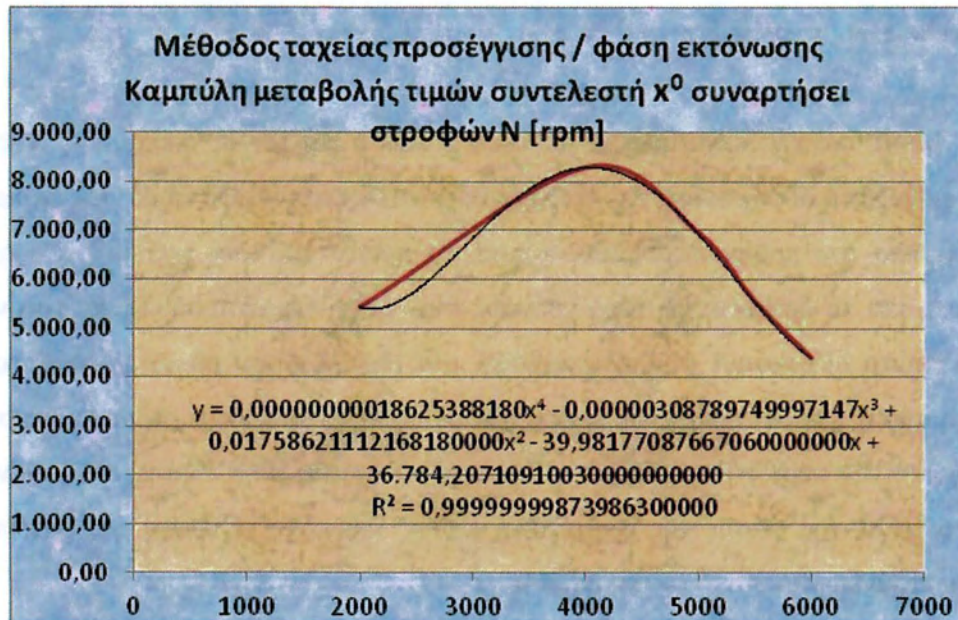
Σχήμα 3.3.2: Μέθοδος ταχείας προσέγγισης με χρήση πολυωνύμων 4^{ΟΥ} βαθμού, διάγραμμα μεταβολής συντελεστή του όρου x^3 συναρτήσεως της συχνότητας περιστροφής N από 2000-6000 rpm.



Σχήμα 3.3.3: Μέθοδος ταχείας προσέγγισης με χρήση πολυωνύμων 4^{ΟΥ} βαθμού, διάγραμμα μεταβολής συντελεστή του όρου x^2 συναρτήσεως της συχνότητας περιστροφής N από 2000-6000 rpm.



Σχήμα 3.3.4: Μέθοδος ταχείας προσέγγισης με χρήση πολυωνύμων 4^{ΟΥ} βαθμού, διάγραμμα μεταβολής συντελεστή του όρου x συναρτήσε της συχνότητας περιστροφής N από 2000-6000 rpm.



Σχήμα 3.3.5: Μέθοδος ταχείας προσέγγισης με χρήση πολυωνύμων 4^{ΟΥ} βαθμού, διάγραμμα μεταβολής συντελεστή του όρου x⁰ (σταθερός όρος) συναρτήσε της συχνότητας περιστροφής N από 2000-6000 rpm.

3.4 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΤΥΠΟΥ STRIEBECK

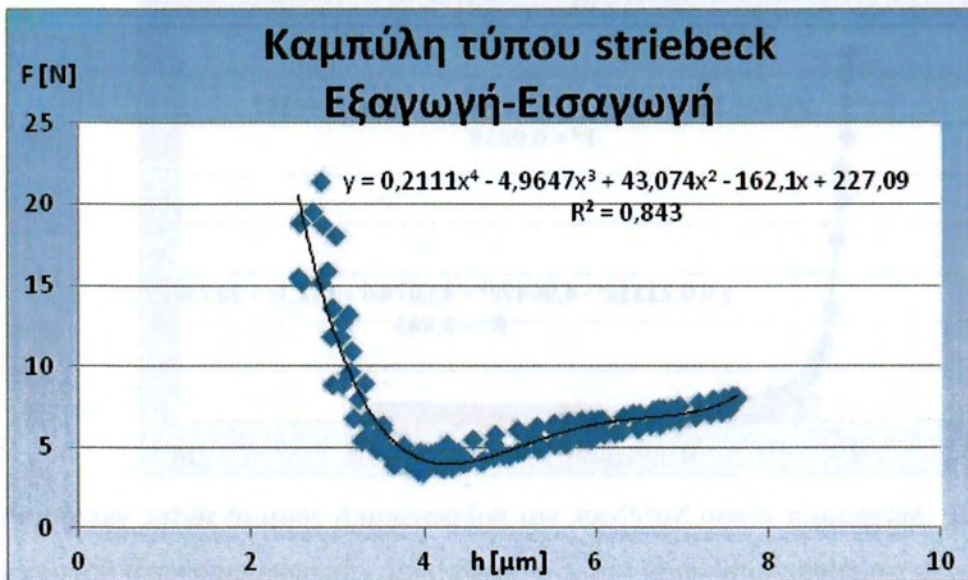
Τα διαγράμματα τύπου striebeck είναι διαγράμματα του συντελεστή τριβής (μ ή f) συναρτήσει μιας παραμέτρου που συνδέει το ιξώδες του λιπαντικού μέσου (η), τη γραμμική ταχύτητα του συστήματος (U), την επιφανειακή πίεση στην διεπιφάνεια (p) και ενδεχομένως και μια άλλη γραμμική παράμετρο που σχετίζεται με το πάχος της λιπαντικής μεμβράνης.

Σε περίπτωση μεικτής λίπανσης η καμπύλη αυτή εμφανίζει σαφώς δύο κλάδους (μορφή boomerang). Ο «κατακόρυφος» κλάδος αναφέρεται στην περιοχή επαφών, όπου εμφανίζονται μεγάλες τιμές των συντελεστών τριβής και ο «οριζόντιος», με ελαφρά ανοδική πορεία, αντιστοιχεί στην υδροδυναμική περιοχή λίπανσης. Στην περίπτωση αντιστοίχων διαγραμμάτων σχετικών με την τριβολογική συμπεριφορά δακτυλίων εμβόλων MEK αντί του συντελεστή τριβής (μ ή f) συνηθίζεται να δίνονται παρόμοια διαγράμματα είτε της δύναμης τριβής (F) είτε του λόγου F/h (όπου h η τιμή του πάχους της λιπαντικής μεμβράνης) εκεί όπου εμφανίζεται η αντίστοιχη τιμή της δύναμης F ή ακόμη και διαγράμματα «τύπου Striebeck» των μεγεθών F/h .

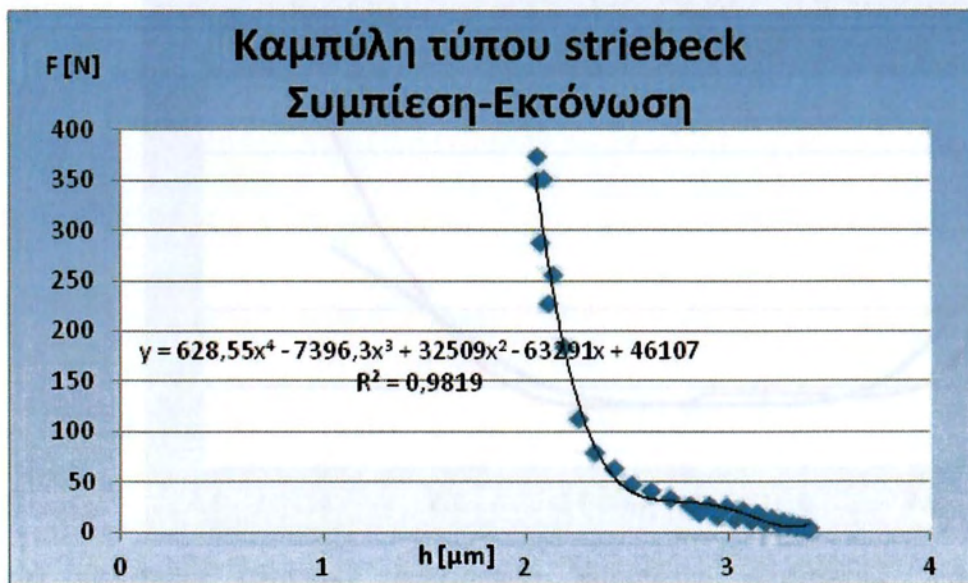
Μετά από επεξεργασία των μεγεθών F και h για τον συγκεκριμένο δακτύλιο στους διαφορετικούς χρόνους της τετράχρονης MEK κατασκευάστηκαν τα παρακάτω διαγράμματα του προαναφερθέντος τύπου, το πρώτο για τους χρόνους εξαγωγή – εισαγωγή και το δεύτερο για τους χρόνους συμπίεση – εκτόνωση. Είναι αυτονόητο ότι το πρώτο διάγραμμα συμπεριλαμβάνει μία μεγαλύτερου εύρους υδροδυναμική περιοχή από ότι το δεύτερο, ενώ παράλληλα το δεύτερο εμφανίζει σημαντικότερη και διευρυμένη την περιοχή επαφών και τούτο λόγω της υψηλής πίεσης του κυλίνδρου κατά το τέλος της φάσης της συμπίεσης, καθώς και κατά τη φάση της εκτόνωσης στην διεπιφάνεια δακτυλίου – κυλίνδρου.

Η επεξεργασία των δύο διαγραμμάτων και με την χρήση των αντίστοιχων τιμών τάσης οδηγούν αμέσως στον προσδιορισμό της δύναμης τριβής F με μόνο την γνώση των τιμών του πάχους της λιπαντικής μεμβράνης h για την αντίστοιχη φάση.

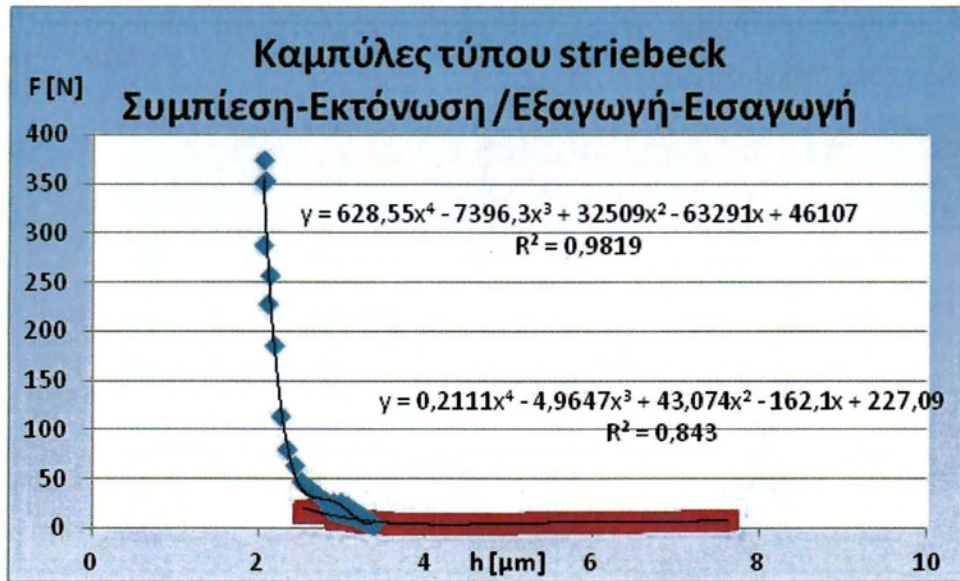
Ακολουθούν διαγράμματα για τις αντίστοιχες συγκρίσεις και την υποστήριξη της ακολουθούμενης μεθοδολογίας.



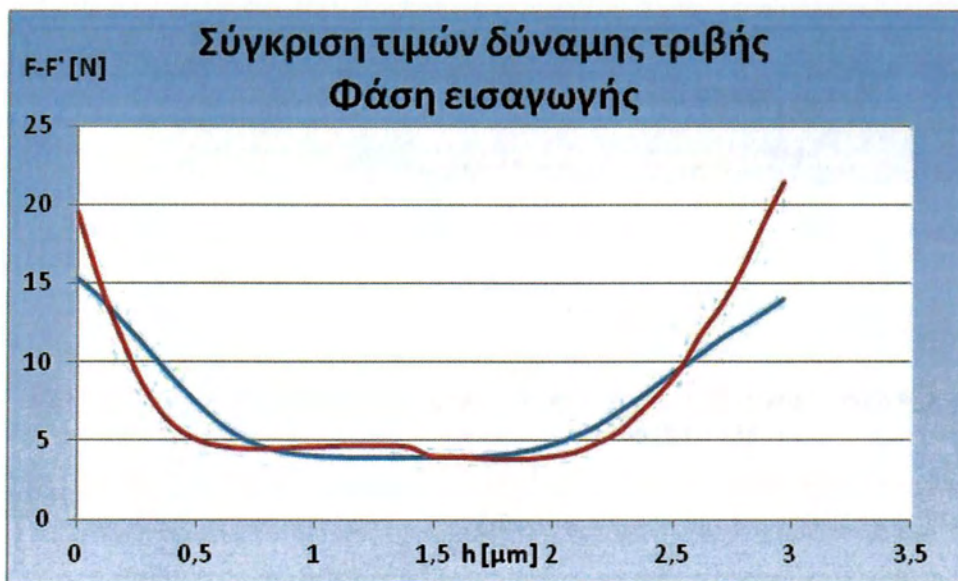
Σχήμα 3.4.1: Διάγραμμα τύπου Striebeck και πολυωνυμική γραμμή τάσης για χρήση κατά τις φάσεις εξαγωγή-εισαγωγή.



Σχήμα 3.4.2: Διάγραμμα τύπου Striebeck και πολυωνυμική γραμμή τάσης για χρήση κατά τις φάσεις συμπίεση-εκτόνωση.



Σχήμα 3.4.3: Διάγραμμα τύπου Striebeck και πολυωνυμική γραμμή τάσης για χρήση κατά τις φάσεις συμπίεση-εκτόνωση (μπλε καμπύλη) και εξαγωγή-εισαγωγή (κόκκινη καμπύλη).

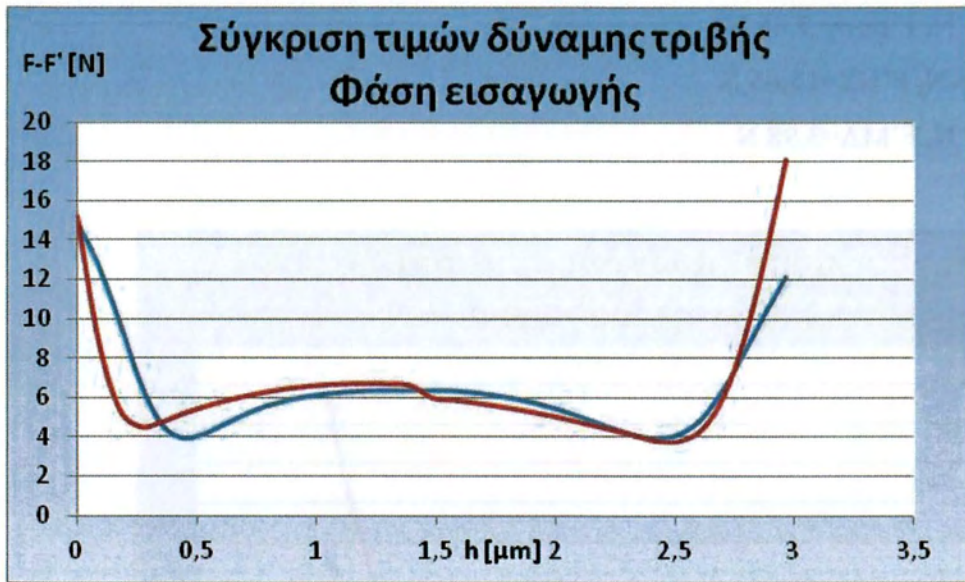


Σχήμα 3.4.4: Συγκριτικό διάγραμμα θεωρητικών (κόκκινη καμπύλη) και προσεγγιστικών τιμών (μπλε καμπύλη) για τη δύναμη τριβής δακτυλίου-κυλίνδρου κατά την φάση της εισαγωγής N=2000 rpm.

$F_{min}=7,63 \text{ N}$, $F'_{min}=7,36 \text{ N}$

$F_{N\Sigma}=20,45 \text{ N}$, $F'_{N\Sigma}=14,62 \text{ N}$

$F_{M\Delta}=3,99 \text{ N}$, $F'_{M\Delta}=3,95 \text{ N}$

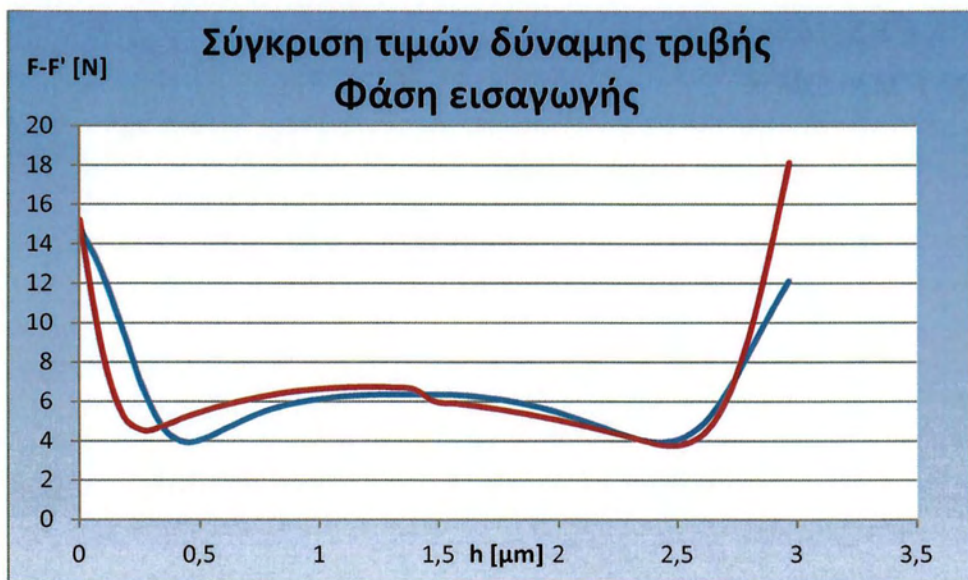


Σχήμα 3.4.5: Συγκριτικό διάγραμμα θεωρητικών (κόκκινη καμπύλη) και προσεγγιστικών τιμών (μπλε καμπύλη) για τη δύναμη τριβής δακτυλίου-κυλίνδρου κατά την φάση της εισαγωγής $N=4000$ rpm.

$$F_{\min}=6,54 \text{ N}, F'_{\min}=6,46 \text{ N}$$

$$F_{N\Sigma}=16,66 \text{ N}, F'_{N\Sigma}=13,51 \text{ N}$$

$$F_{M\Delta}=5,88 \text{ N}, F'_{M\Delta}=6,34 \text{ N}$$

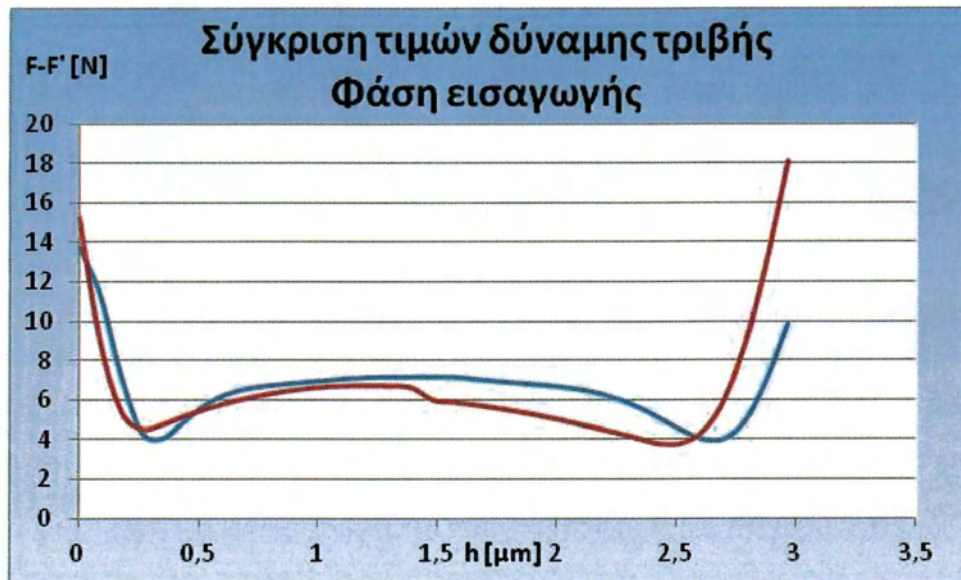


Σχήμα 3.4.6: Συγκριτικό διάγραμμα θεωρητικών (κόκκινη καμπύλη) και προσεγγιστικών τιμών (μπλε καμπύλη) για τη δύναμη τριβής δακτυλίου-κυλίνδρου κατά την φάση της εισαγωγής $N=5000$ rpm.

$F_{\min}=7,63 \text{ N}$, $F'_{\min}=7,45 \text{ N}$

$F_{N\Sigma}=20,45 \text{ N}$, $F'_{N\Sigma}=15,65 \text{ N}$

$F_{M\Delta}=3,99 \text{ N}$, $F'_{M\Delta}=3,98 \text{ N}$

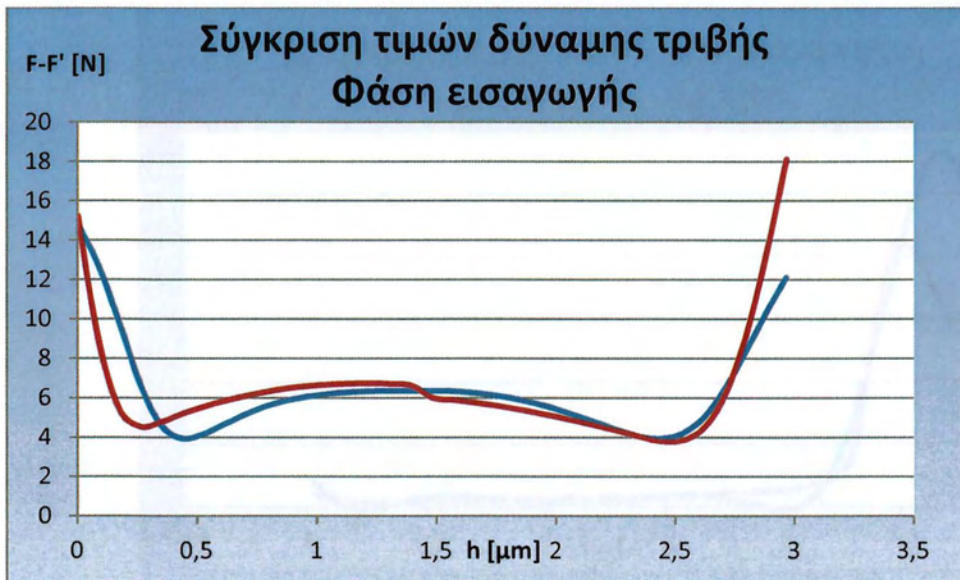


Σχήμα 3.4.7: Συγκριτικό διάγραμμα θεωρητικών (κόκκινη καμπύλη) και προσεγγιστικών τιμών (μπλε καμπύλη) για τη δύναμη τριβής δακτυλίου-κυλίνδρου κατά την φάση της εισαγωγής $N=5500 \text{ rpm}$.

$F_{\min}=6,54 \text{ N}$, $F'_{\min}=6,64 \text{ N}$

$F_{N\Sigma}=11,82 \text{ N}$, $F'_{N\Sigma}=16,66 \text{ N}$

$F_{M\Delta}=7,15 \text{ N}$, $F'_{M\Delta}=5,88 \text{ N}$



Σχήμα 3.4.8: Συγκριτικό διάγραμμα θεωρητικών (κόκκινη καμπύλη) και προσεγγιστικών τιμών (μπλε καμπύλη) για τη δύναμη τριβής δακτυλίου-κυλίνδρου κατά την φάση της εισαγωγής $N=6000$ rpm.

$F_{\min}=7,70$ N, $F'_{\min}=6,80$ N

$F_{N\Sigma}=11,11$ N, $F'_{N\Sigma}=11,14$ N

$F_{M\Delta}=7,37$ N, $F'_{M\Delta}=7,75$ N



Σχήμα 3.4.9: Συγκριτικό διάγραμμα θεωρητικών (κόκκινη καμπύλη) και προσεγγιστικών τιμών (μπλε καμπύλη) για τη δύναμη τριβής δακτυλίου-κυλίνδρου κατά την φάση της εκτόνωσης $N=4000$ rpm.

$F_{\min}=55,35$ N, $F'_{\min}=58,58$ N

$F_{\max}=299,33$ N, $F'_{\max}=295,45$ N

$F_{M\Delta}=9,78$ N, $F'_{M\Delta}=7,24$ N



Σχήμα 3.4.10: Συγκριτικό διάγραμμα θεωρητικών (κόκκινη καμπύλη) και προσεγγιστικών τιμών (μπλε καμπύλη) για τη δύναμη τριβής δακτυλίου-κυλίνδρου κατά την φάση της εκτόνωσης $N=5000$ rpm.

$F_{\min}=51,00$ N, $F'_{\min}=44,47$ N

$F_{\max}=281,55$ N, $F'_{\max}=211,34$ N

$F_{M\Delta}=6,48$ N, $F'_{M\Delta}=8,10$ N

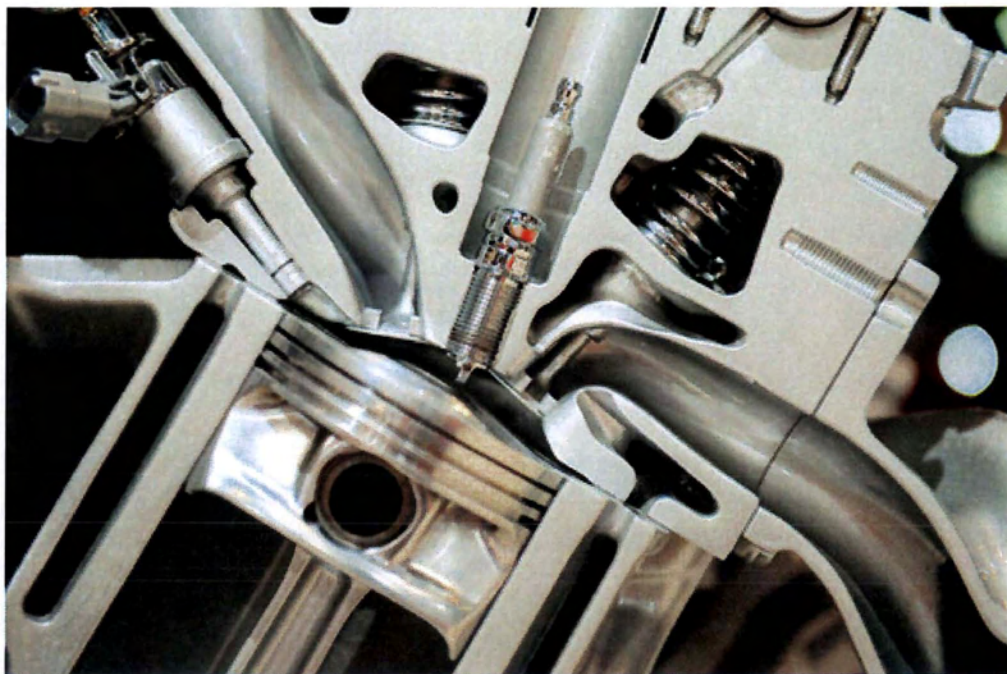
Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και οι προοπτικές που προκύπτουν από την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας που υποστηρίζουν την εφαρμογή και επέκταση της μεθόδου σε άλλα τριβολογικά υποσυστήματα των ΜΕΚ.



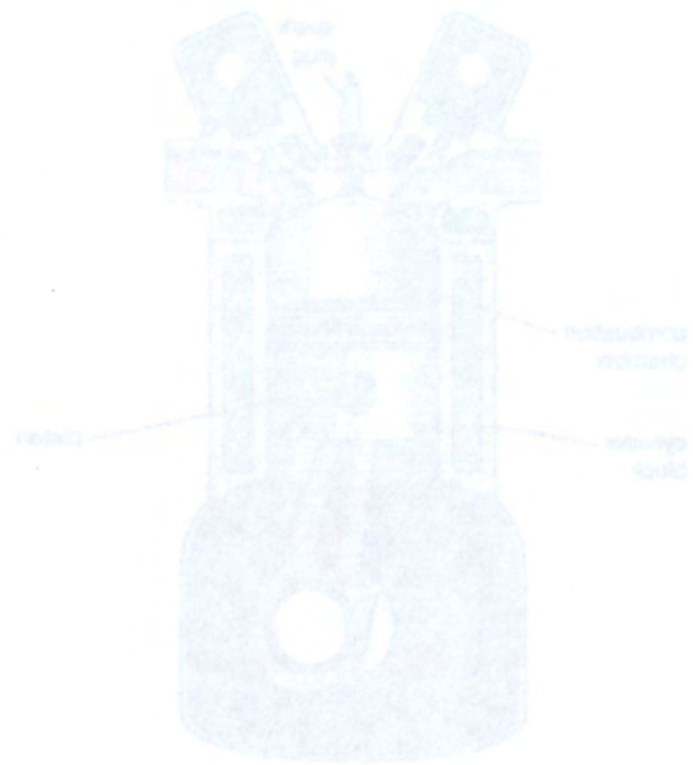
Εικόνα 1: Μικροσκοπική εικόνα του πελάτη

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

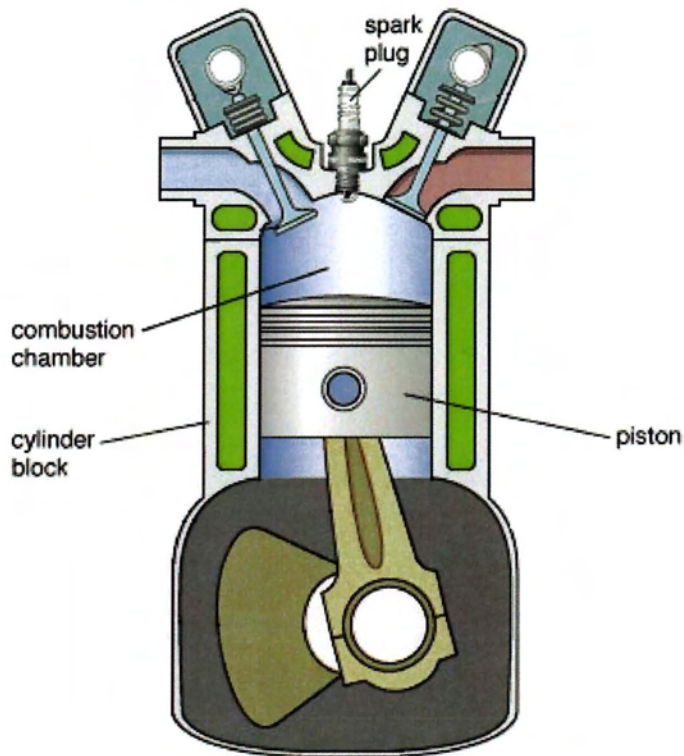
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ



Τομή του υπό μελέτη συστήματος



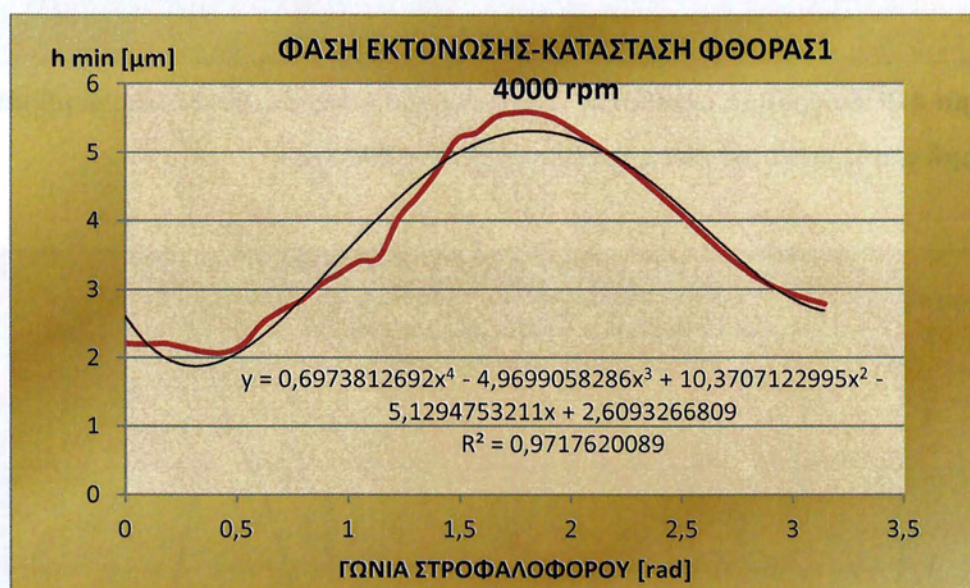
Dieser Teil des Apparates ist ein Ventiltrieb, der durch die Handhabung des Ventils die Ventile des Motors steuert. Die Ventile sind an der Pleuelstange des Pleuellagers befestigt. Die Pleuelstange ist an der Pleuellagerbox befestigt. Die Pleuellagerbox ist an der Pleuellagerbox befestigt. Die Pleuellagerbox ist an der Pleuellagerbox befestigt.



Ταχείες μέθοδοι προσέγγισης λειτουργικών χαρακτηριστικών στοιχείων μηχανών εμφανίζονται σε συνεχή βάση στην διεθνή βιβλιογραφία με σκοπό την αμεσότερη και ταχύτερη, καθώς και οικονομικότερη διαδικασία επίλυσης τεχνικών προβλημάτων. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο υπολογιστικός κώδικας Oilfilm, προηγούμενη έκδοση του οποίου είχε επικυρωθεί συγκρινόμενος με μία μέθοδο ταχείας σύγκλισης (Hirani-τριβολογική εταιρία Ινδίας) για εγκάρσιο υδροδυναμικό έδρανο ολίσθησης. Έτσι, τα τελικά συμπεράσματα που εμφανίζονται στη συνέχεια θεωρούνται ότι είναι επεξεργασμένα για άμεση χρήση.

Από την παρούσα διπλωματική εργασία εξάγονται τα ακόλουθα αξιωματικώς συμπεράσματα.

Η επεξεργασία θεωρητικών αποτελεσμάτων που σχετίζονται με τον υπολογισμό του πάχους της λιπαντικής μεμβράνης του 1^{ου} δακτυλίου με την μέθοδο της ταχείας προσέγγισης δίνει πολύ καλά προσεγγιστικά αποτελέσματα με την βοήθεια πολυωνύμων 4^{ου} βαθμού τόσο κατά την φάση της εκτόνωσης, όσο και κατά τις φάσεις εξαγωγής – εισαγωγής και συμπίεσης.



Σχήμα 4.1: Διάγραμμα μεταβολής ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης και γραμμή τάσης κατά την φάση της εκτόνωσης **N=4000 rpm**

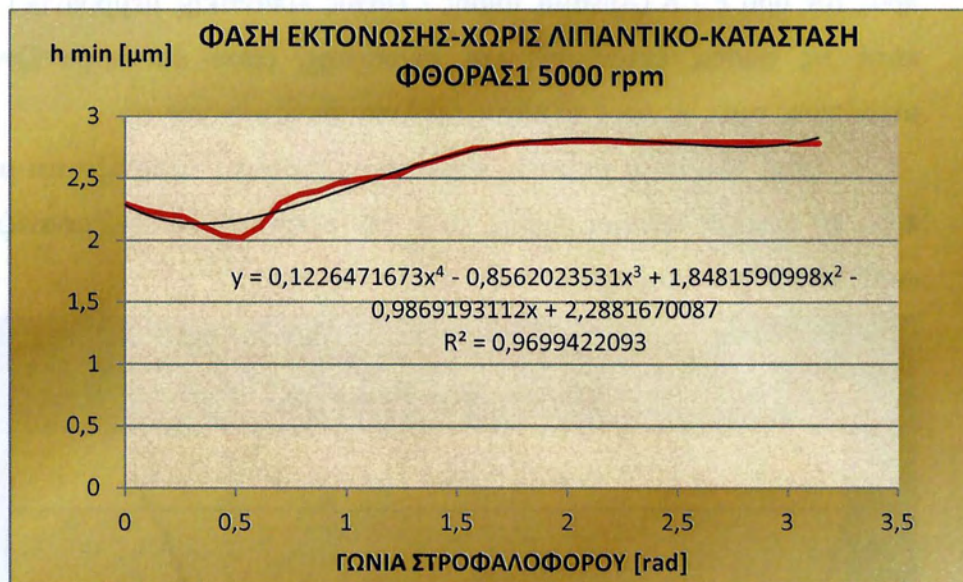


Σχήμα 4.2: Διάγραμμα μεταβολής ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης και γραμμή τάσης κατά την φάση της εξαγωγής **N=5000 rpm**

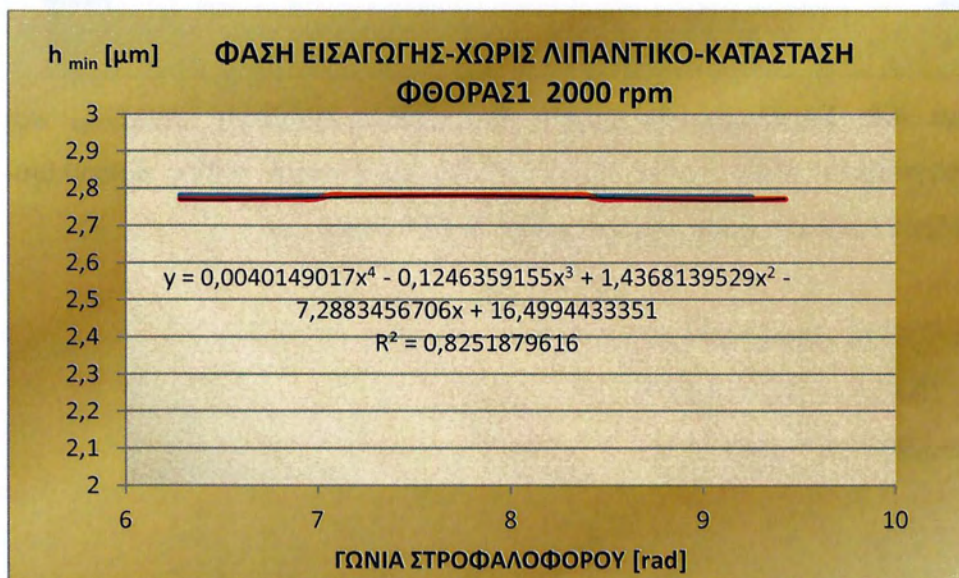


Σχήμα 4.3: Διάγραμμα μεταβολής ελάχιστης τιμής πάχους λιπαντικής μεμβράνης και γραμμή τάσης κατά την φάση της συμπίεσης **N=4000 rpm**

Για λειτουργία ΜΕΚ χωρίς λιπαντικό τα αποτελέσματα της ταχείας μεθόδου είναι εξίσου καλής προσέγγισης και βεβαίως με μικρότερη διασπορά.



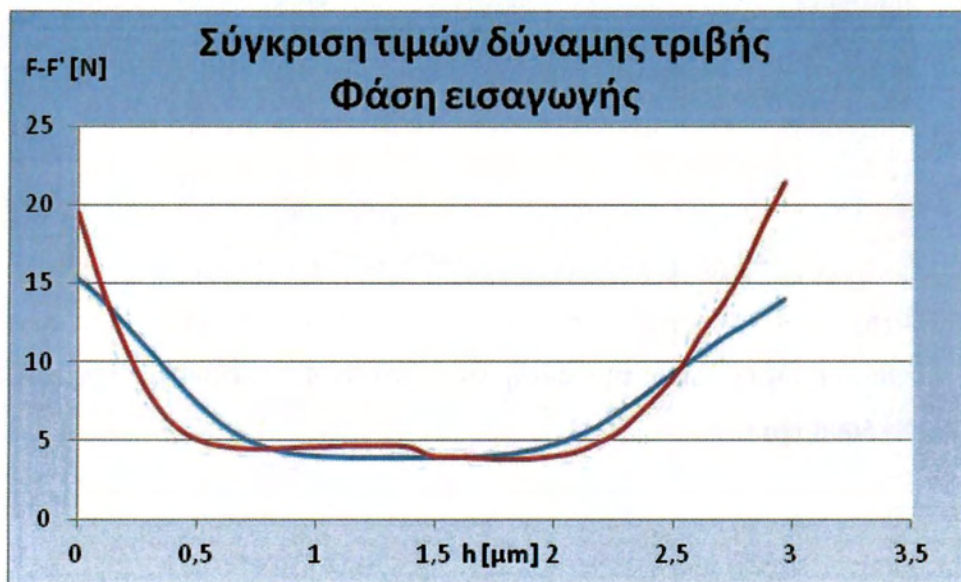
Σχήμα 4.4: Διάγραμμα μεταβολής απόστασης διαχωρισμού επιφανειών και γραμμή τάσης κατά την φάση της εκτόνωσης, λειτουργία χωρίς λιπαντικό **N=5000 rpm**



Σχήμα 4.5: Διάγραμμα μεταβολής απόστασης διαχωρισμού επιφανειών και γραμμή τάσης κατά την φάση της εισαγωγής, λειτουργία χωρίς λιπαντικό **N=2000 rpm**

Ως προς τη δύναμη τριβής η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε δίνει λιγότερο αξιόπιστα αποτελέσματα και τούτο ερμηνεύεται μέσω των καμπυλών τύπου Striebeck, οι οποίες εμφανίζουν σημαντική ευαισθησία ως προς τον όρο F/h (Δύναμη τριβής / Πάχος λιπαντικής μεμβράνης) κυρίως κατά τις φάσεις εκτόνωσης και συμπίεσης, όπου και εμφανίζονται οι μικρότερες τιμές ως προς το πάχος της λιπαντικής μεμβράνης.

Παρ' όλα αυτά οι μόνες σημαντικές διαφορές εμφανίζονται μόνο ως προς τη μέγιστη δύναμη τριβής κατά την εκτόνωση, όπου εμφανίζεται το «ασθενές» σημείο της μεθόδου που ακολουθήθηκε.



Σχήμα 4.6: Συγκριτικό διάγραμμα θεωρητικών (κόκκινη καμπύλη) και προσεγγιστικών τιμών (μπλε καμπύλη) για τη δύναμη τριβής δακτυλίου-κυλίνδρου κατά την φάση της εισαγωγής $N=2000$ rpm.

$$F_{\min}=7,63 \text{ N}, F'_{\min}=7,36 \text{ N}$$

$$F_{N\Sigma}=20,45 \text{ N}, F'_{N\Sigma}=14,62 \text{ N}$$

$$F_{M\Delta}=3,99 \text{ N}, F'_{M\Delta}=3,95 \text{ N}$$

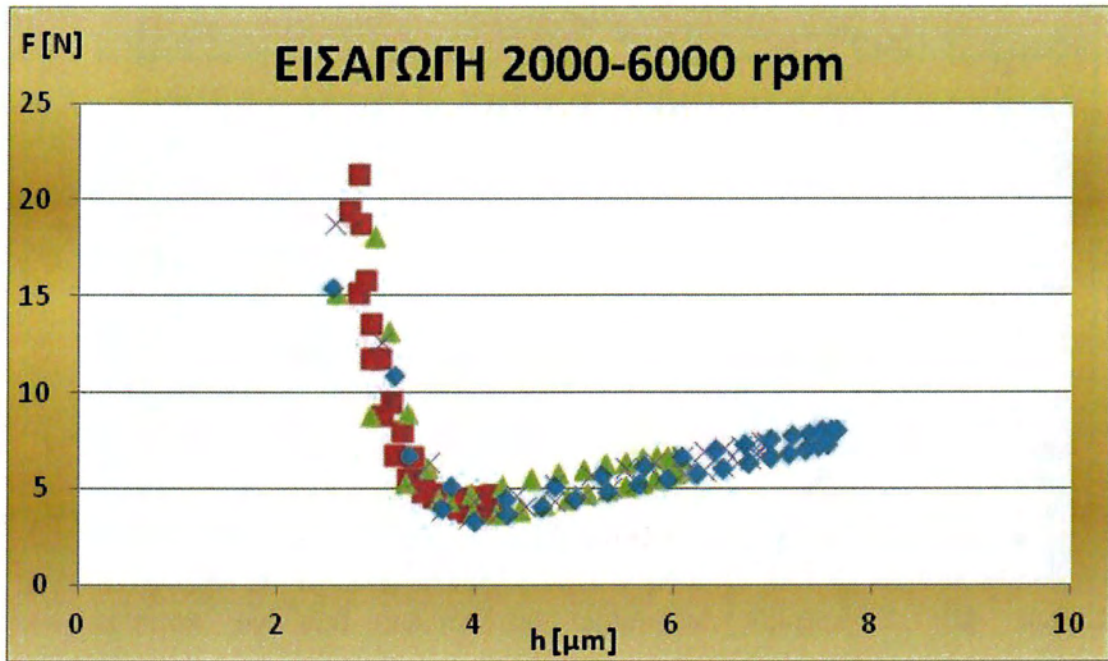


Σχήμα 4.7: Συγκριτικό διάγραμμα θεωρητικών (κόκκινη καμπύλη) και προσεγγιστικών τιμών (μπλε καμπύλη) για τη δύναμη τριβής δακτυλίου-κυλίνδρου κατά την φάση της εκτόνωσης $N=4000$ rpm.

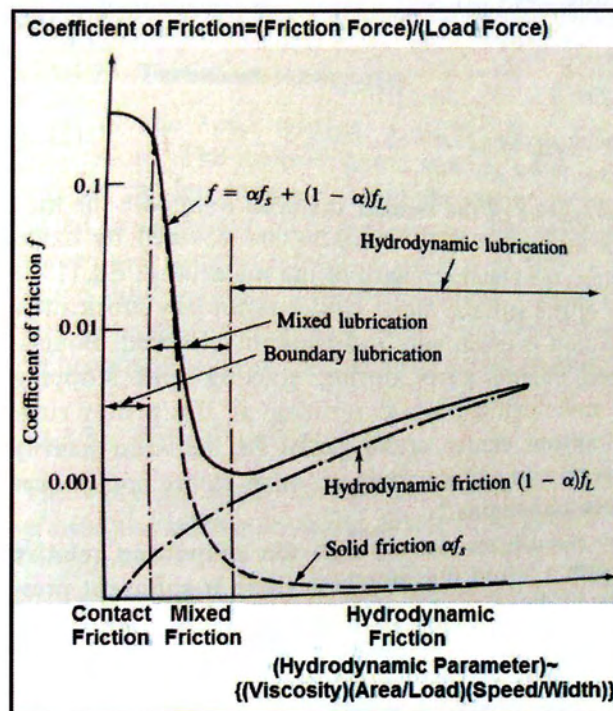
$$F_{\min}=55,35 \text{ N}, F'_{\min}=58,58 \text{ N}$$

$$F_{\max}=299,33 \text{ N}, F'_{\max}=295,45 \text{ N}$$

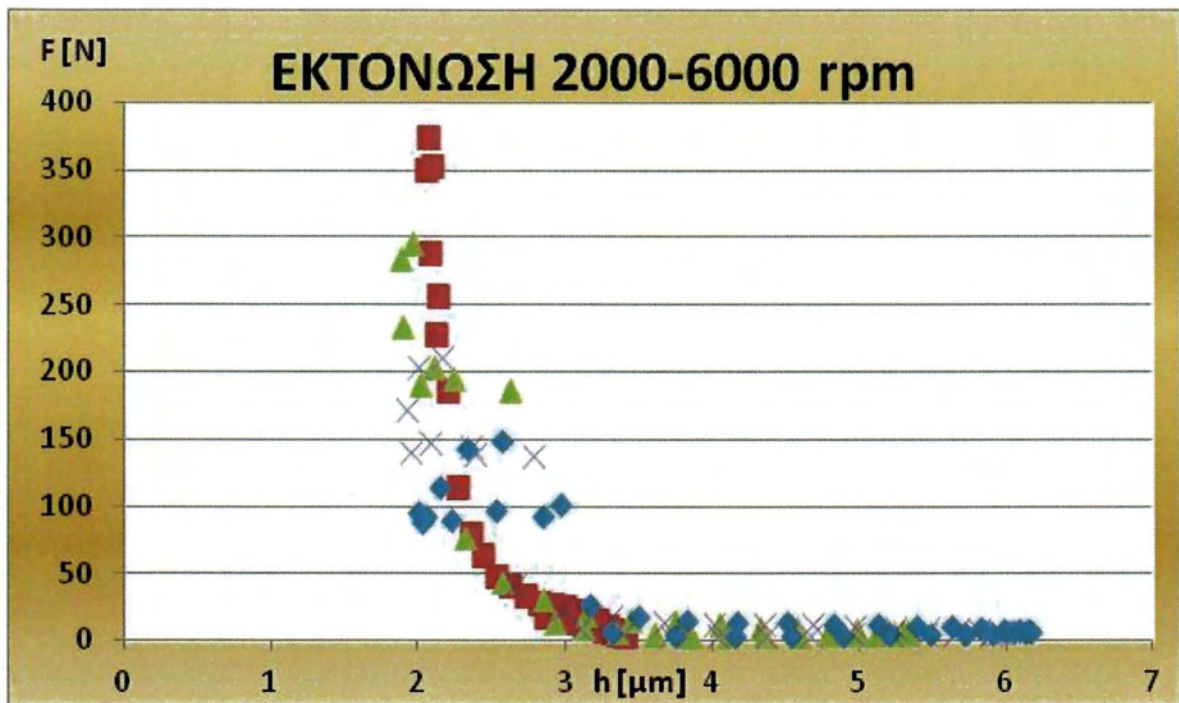
$$F_{M\Delta}=9,78 \text{ N}, F'_{M\Delta}=7,24 \text{ N}$$



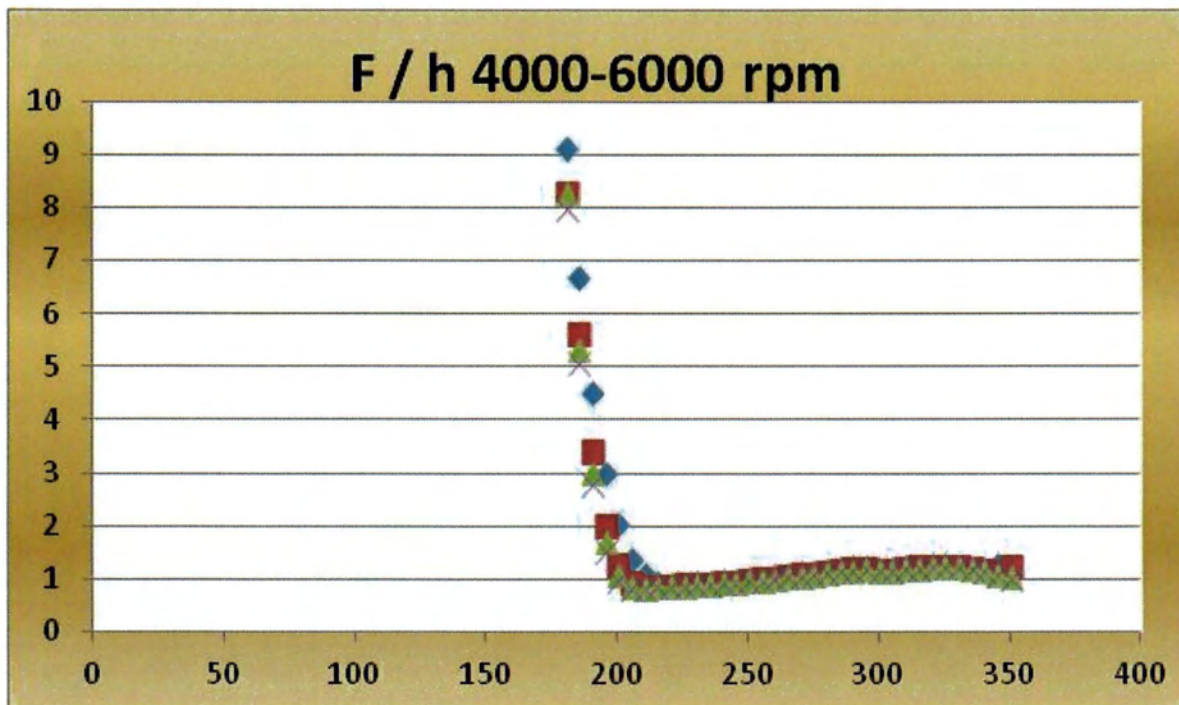
Σχήμα 4.8: Τυπικό διάγραμμα τύπου Stribeck μεταβολής της τιμής της δύναμης τριβής συναρτήσει του πάχους h της λιπαντικής μεμβράνης.



Σχήμα 4.9: Τυπικό διάγραμμα τύπου Stribeck μεταβολής της τιμής του συντελεστή τριβής συναρτήσει «υδροδυναμικής παραμέτρου»



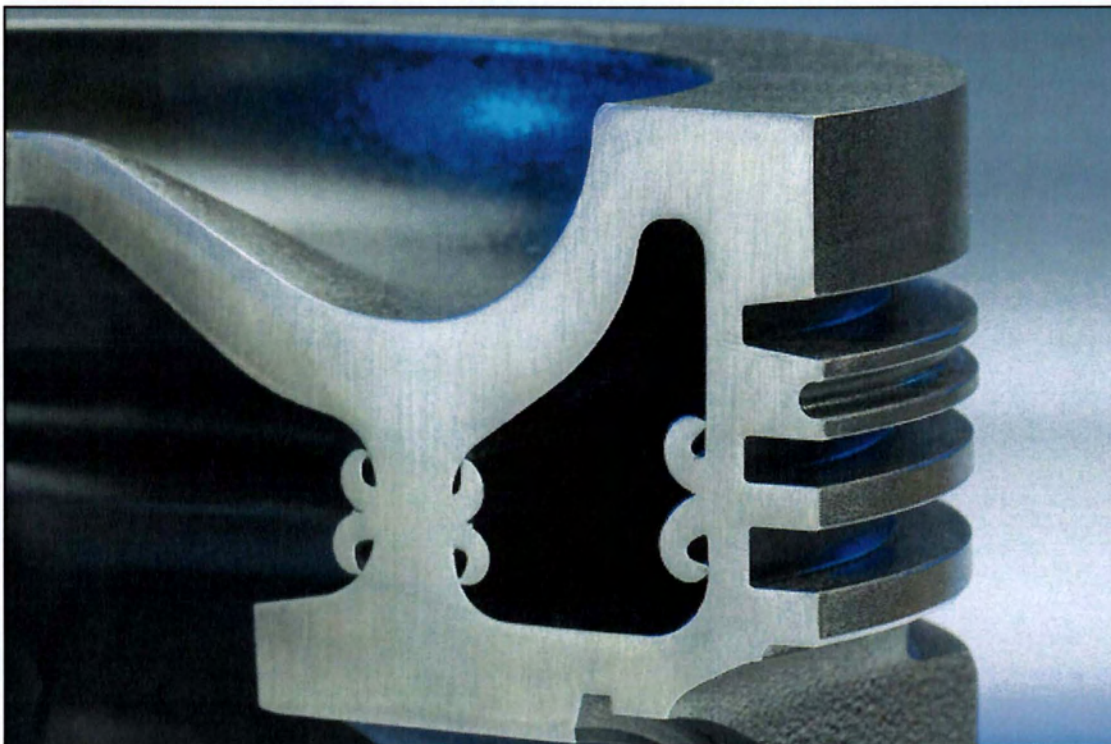
Σχήμα 4.10: Διάγραμμα μεταβολής δύναμης τριβής F συναρτήσει του ελάχιστου πάχους λιπαντικής μεμβράνης h για την φάση της εκτόνωσης.



Σχήμα 4.12: Διάγραμμα μεταβολής μεγέθους F / h . Τυπικό διάγραμμα τύπου Stribeck μεταβολής της τιμής του συντελεστή τριβής συναρτήσει «υδροδυναμικής παραμέτρου» για την φάση της εξαγωγής.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ



Τομή εμβόλου ΜΕΚ τριών δακτυλίων με διαμόρφωση κοιλότητας που αντιστοιχεί στον θάλαμο καύσης.

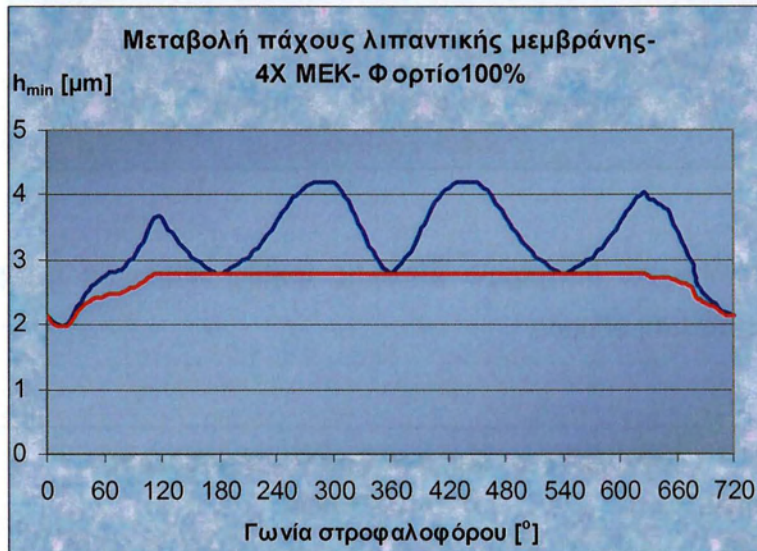
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ

Στην συνέχεια ακολουθούν τα αποτελέσματα ομαδοποιημένα ανά δακτύλιο.

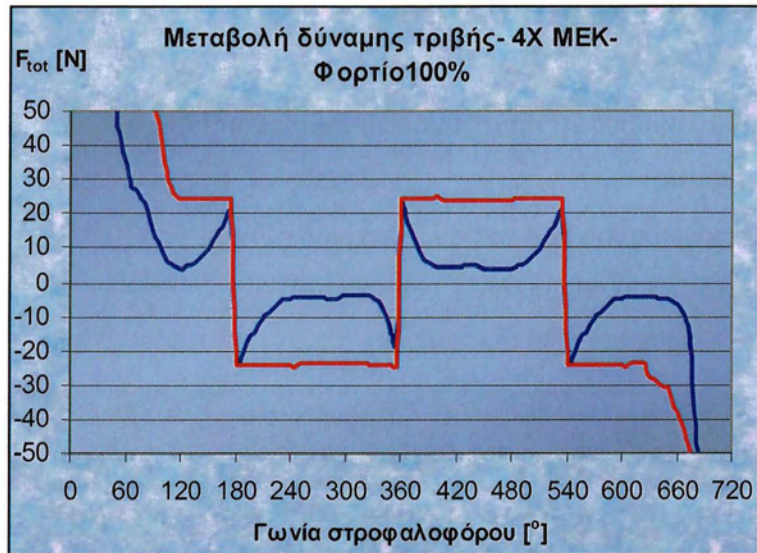
2000rpm-100%φορτίο

Καμπύλη χρώματος κυανού παρουσία λιπαντικού.

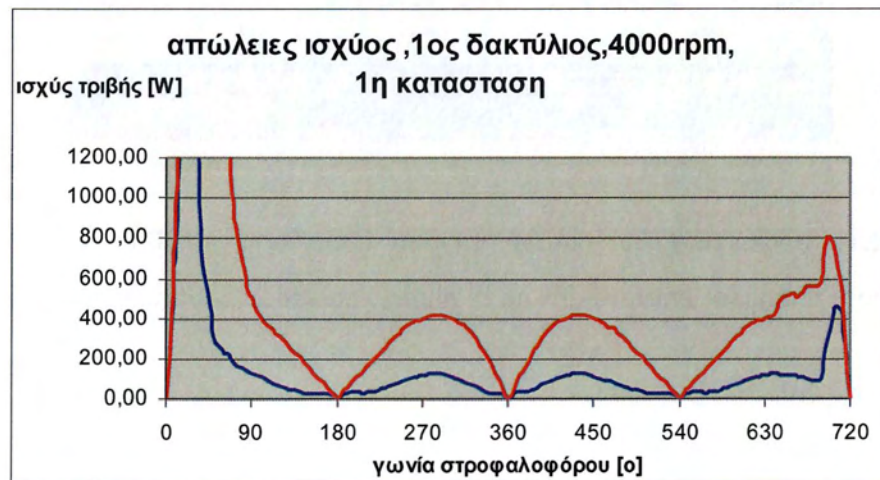
Καμπύλη χρώματος ερυθρού απουσία λιπαντικού.



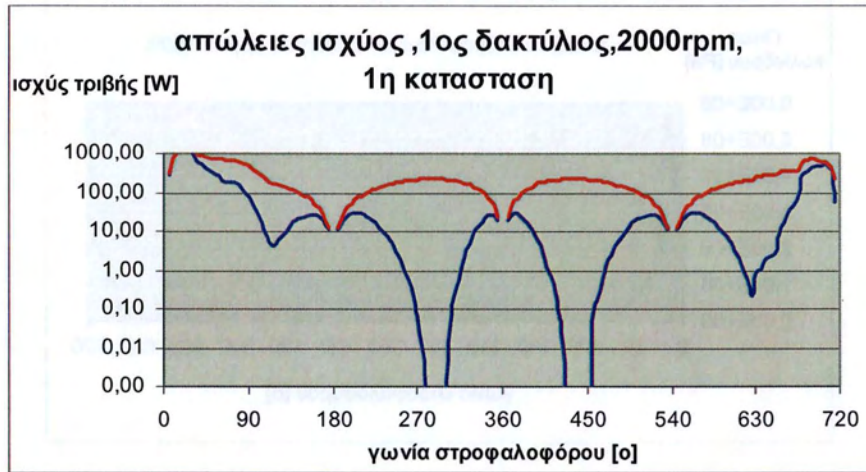
Σχήμα Π.1: Ενδεικτικό διάγραμμα πάχους λιπαντικής μεμβράνης- απόστασης διαχωρισμού τραχειών επιφανειών με / χωρίς λιπαντικό 2000rpm - 1^η κατάσταση φθοράς.



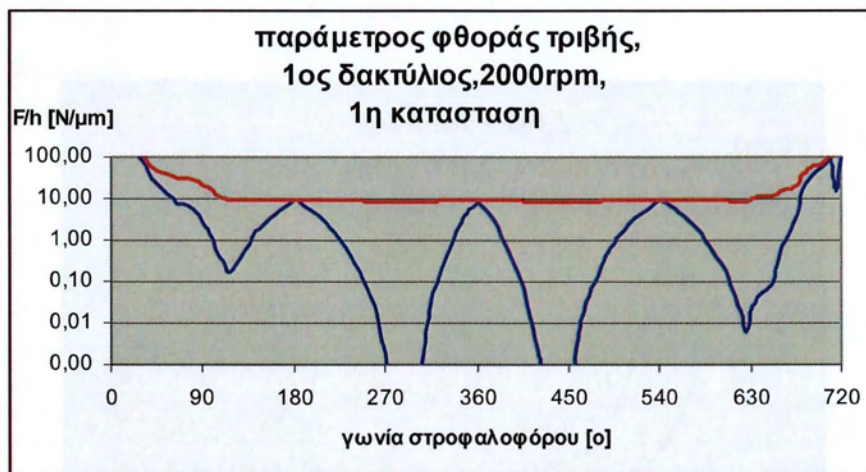
Σχήμα Π.2: Ενδεικτικό διάγραμμα δύναμης τριβής- παρουσία ή όχι λιπαντικού 2000rpm-1^η κατάσταση φθοράς.



Σχήμα Π.3: Ενδεικτικό διάγραμμα απωλειών ισχύος 1^{ου} δακτυλίου παρουσία ή όχι λιπαντικού 4000rpm-1^η κατάσταση φθοράς

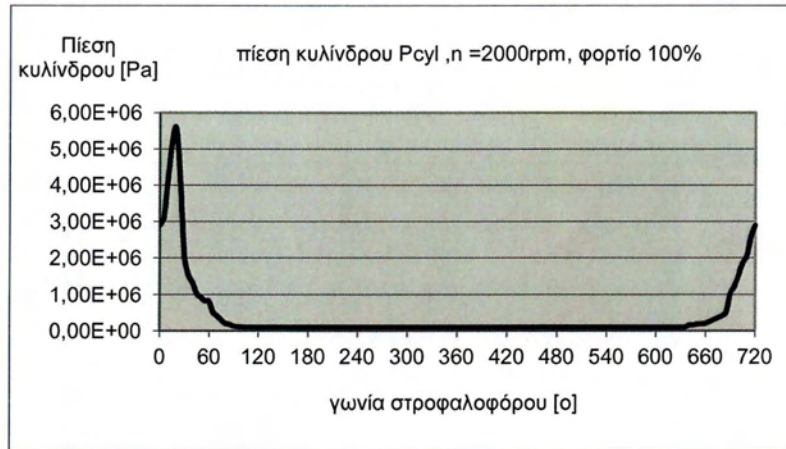


Σχήμα Π.4: Ενδεικτικό διάγραμμα απωλειών ισχύος 1^{ου} δακτυλίου παρουσία ή όχι λιπαντικού 2000rpm-1^η κατάσταση φθοράς (ημιλογαριθμική κλίμακα).

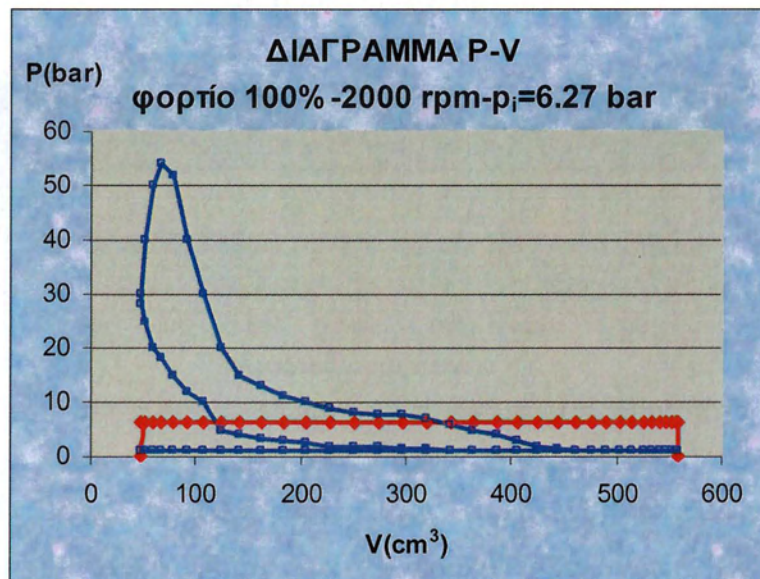


Σχήμα Π.5: Ενδεικτικό διάγραμμα παραμέτρου φθοράς τριβής 1^{ου} δακτυλίου παρουσία ή όχι λιπαντικού 2000rpm-1^η κατάσταση φθοράς (ημιλογαριθμική κλίμακα).

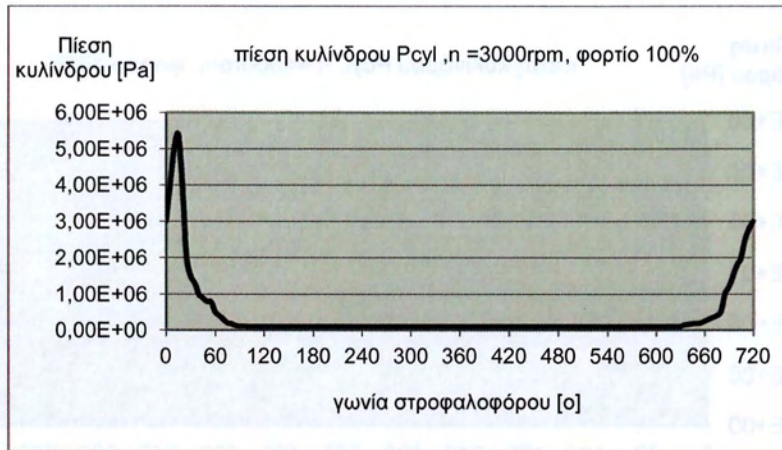
Για τους υπολογισμούς ελήφθησαν υπόψη, επίσης, κατανομές πιέσεων μέσα στον κύλινδρο για όλους τους χρόνους τετράχρονης MEK (μετρήσεις Renault σε παρόμοιες γεωμετρίες κινητήρα), που παρουσιάζονται στη συνέχεια.



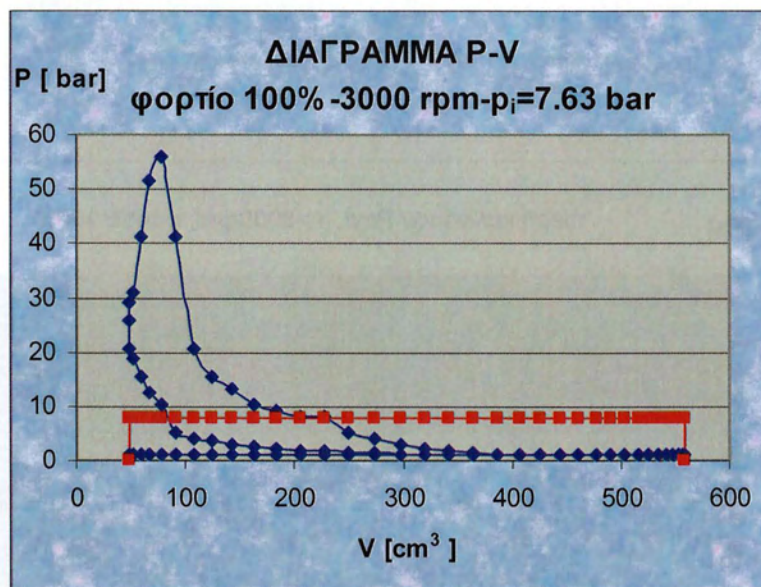
Σχήμα Π.6: Διάγραμμα πίεσης κυλίνδρου για πλήρες φορτίο και n=2000 rpm. Πειραματικά δεδομένα κινητήρα αντίστοιχου κυβισμού κατασκευής Renault.



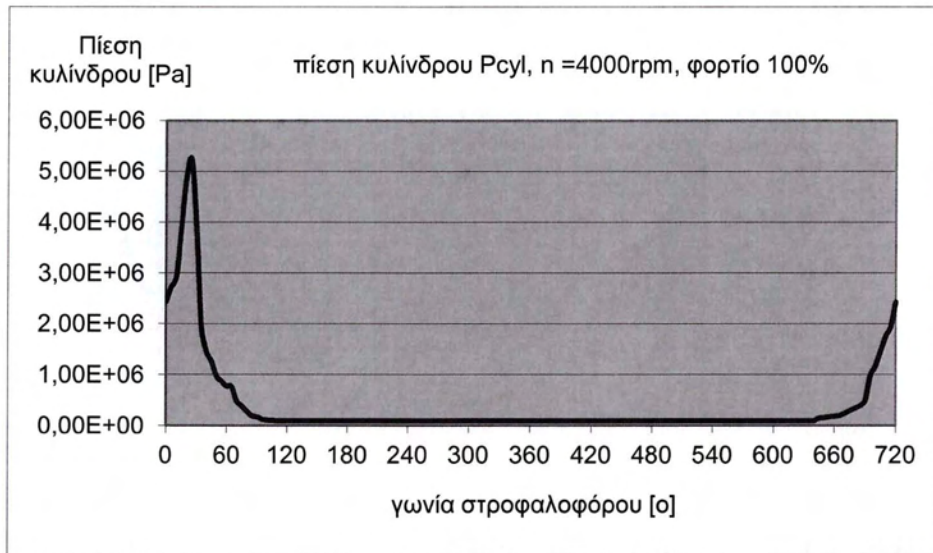
Σχήμα Π.7: Διάγραμμα P-V για πλήρες φορτίο και n=2000 rpm. Πειραματικά δεδομένα κινητήρα αντίστοιχου κυβισμού κατασκευής Renault.



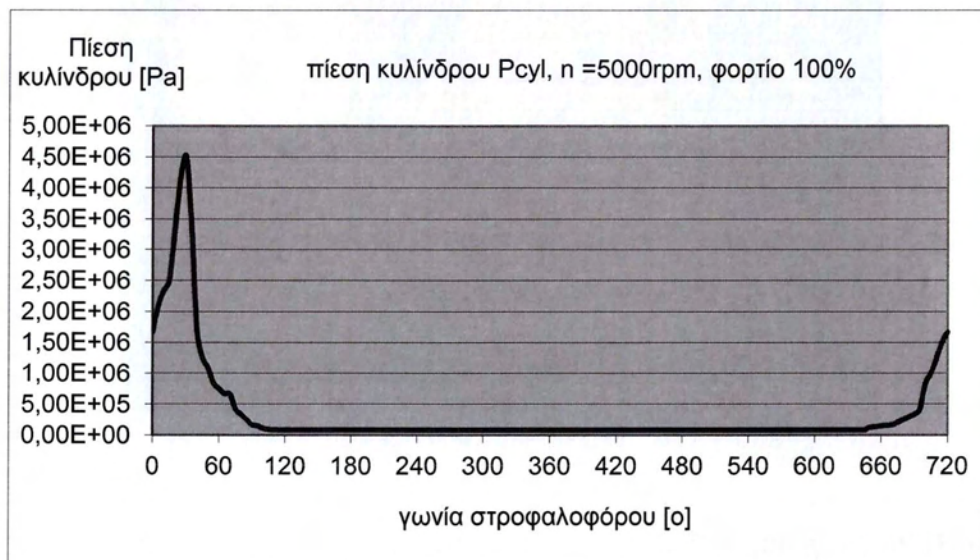
Σχήμα Π.8: Διάγραμμα πίεσης κυλίνδρου για πλήρες φορτίο και n=3000 rpm. Πειραματικά δεδομένα κινητήρα αντίστοιχου κυβισμού κατασκευής Renault



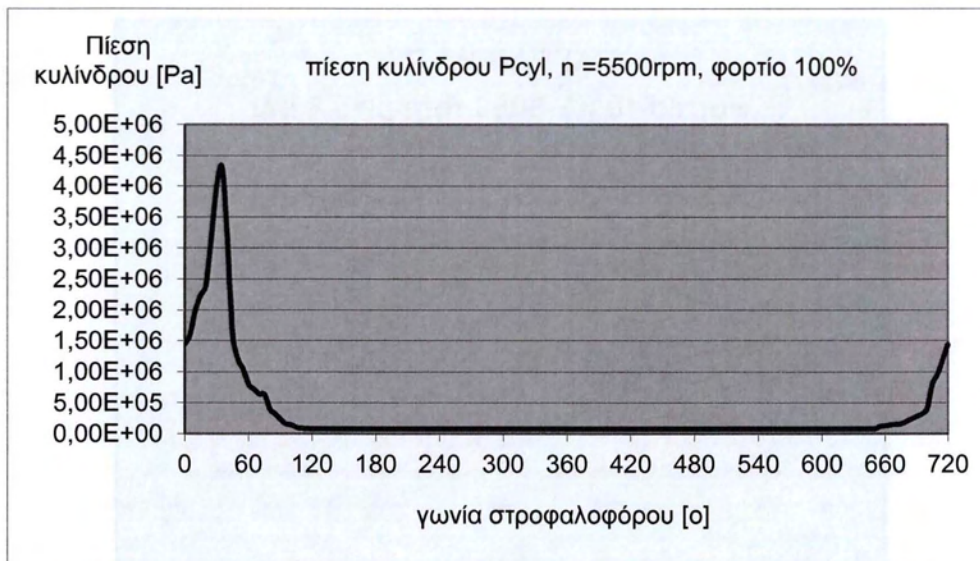
Σχήμα Π.9: Διάγραμμα P-V για πλήρες φορτίο και n=3000 rpm. Πειραματικά δεδομένα κινητήρα αντίστοιχου κυβισμού κατασκευής Renault.



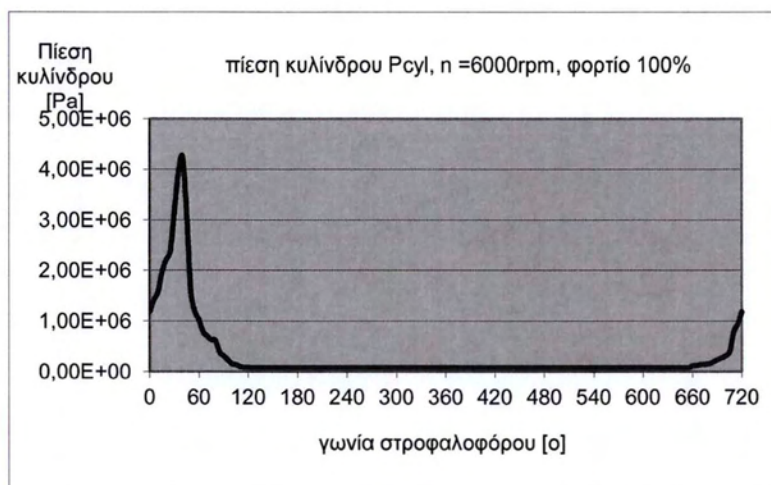
Σχήμα Π.10: Διάγραμμα πίεσης κυλίνδρου για πλήρες φορτίο και $n=4000$ rpm. Πειραματικά δεδομένα κινητήρα αντίστοιχου κυβισμού κατασκευής Renault



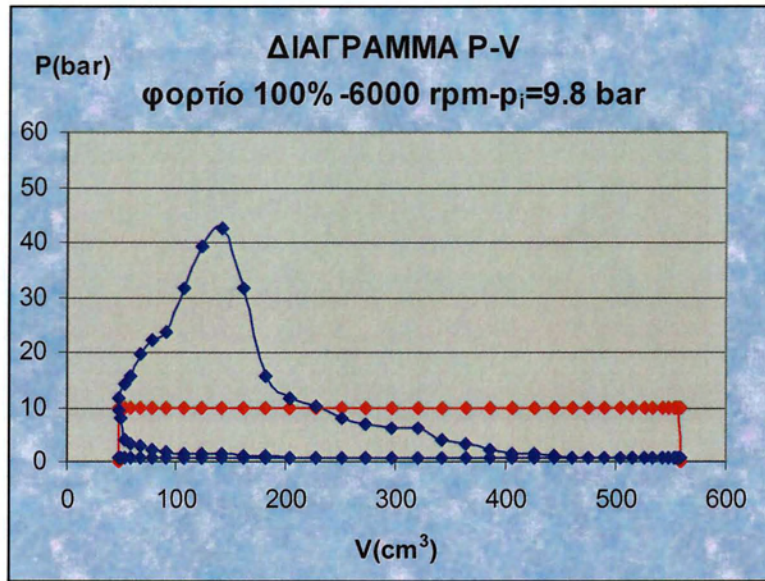
Σχήμα Π.11: Διάγραμμα πίεσης κυλίνδρου για πλήρες φορτίο και $n=5000$ rpm. Πειραματικά δεδομένα κινητήρα αντίστοιχου κυβισμού κατασκευής Renault



Σχήμα Π.12: Διάγραμμα πίεσης κυλίνδρου για πλήρες φορτίο και n=5500 rpm. Πειραματικά δεδομένα κινητήρα αντίστοιχου κυβισμού κατασκευής Renault

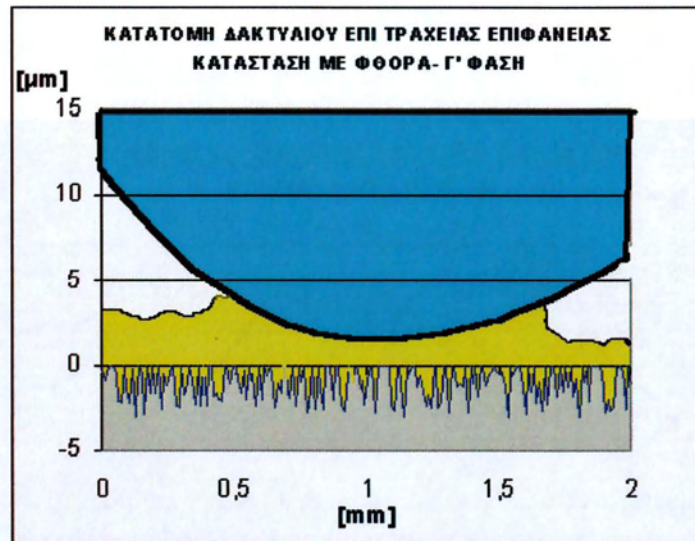


Σχήμα Π.13: Διάγραμμα πίεσης κυλίνδρου για πλήρες φορτίο και n=6000 rpm. Πειραματικά δεδομένα κινητήρα αντίστοιχου κυβισμού κατασκευής Renault



Σχήμα Π.14: Διάγραμμα P-V για πλήρες φορτίο και $n=6000$ rpm. Πειραματικά δεδομένα κινητήρα αντίστοιχου κυβισμού κατασκευής Renault.

1^{ος} ΔΑΚΤΥΛΙΟΣ – 2000 rpm – ΠΛΗΡΕΣ ΦΟΡΤΙΟ



Γενική παρατήρηση για τον 1^ο δακτύλιο :

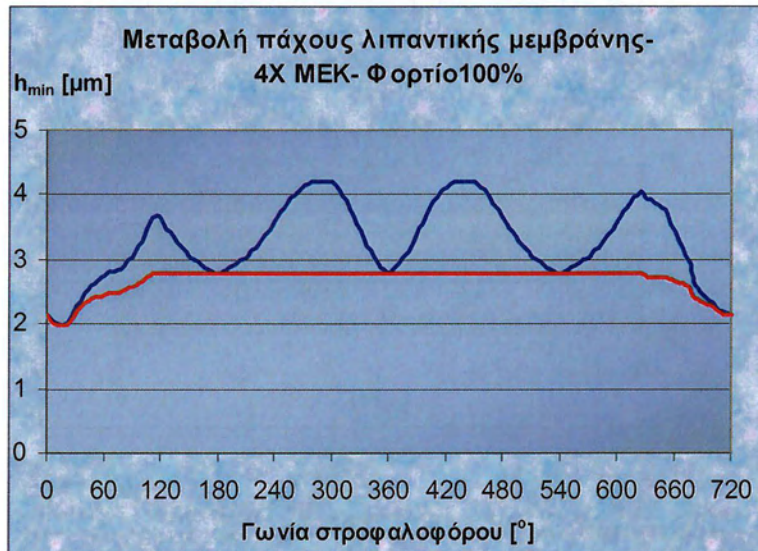
Λειτουργία με λιπαντικό: Η ελάχιστη τιμή του πάχους της λιπαντικής μεμβράνης επηρεάζεται από την πίεση του κυλίνδρου και παραμένει στις ίδιες τιμές στο μέσο της διαδρομής ανεξαρτήτως της κατάστασης της φθοράς. Οι τιμές της στα νεκρά σημεία επηρεάζονται από την ταχύτητα και μειώνονται με την μείωση της τραχύτητας. Παρατηρείται έντονη αύξηση της δύναμης τριβής κατά την μισή διαδρομή από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ κατά τη φάση της εκτόνωσης για όλες τις συχνότητες περιστροφής. Οι δύο ενδιάμεσοι χρόνοι της εξαγωγής και της εισαγωγής δεν επηρεάζονται από την πίεση του κυλίνδρου ενώ προς το τέλος της φάσης της συμπίεσης εμφανίζεται και πάλι αύξηση της δύναμης της τριβής. Ο υδροδυναμικός χαρακτήρας της δύναμης της τριβής καθίστανται πιο έντονος με την αύξηση της συχνότητας.

Λειτουργία χωρίς λιπαντικό: Η παρουσία της μη υδροδυναμικής συνιστώσας εμφανίζεται με σταθερότητα της δύναμης τριβής κατά τους χρόνους εξαγωγής και εισαγωγής με διαφοροποίηση όπως και στην κατάσταση με λιπαντικό κατά τις φάσεις της συμπίεσης και εκτόνωσης.

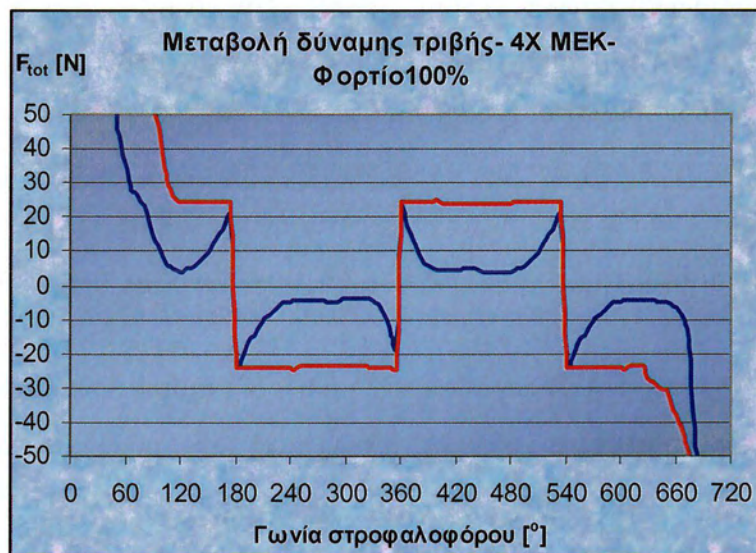
2000rpm-100%φορτίο

Καμπύλη χρώματος κυανού παρουσία λιπαντικού

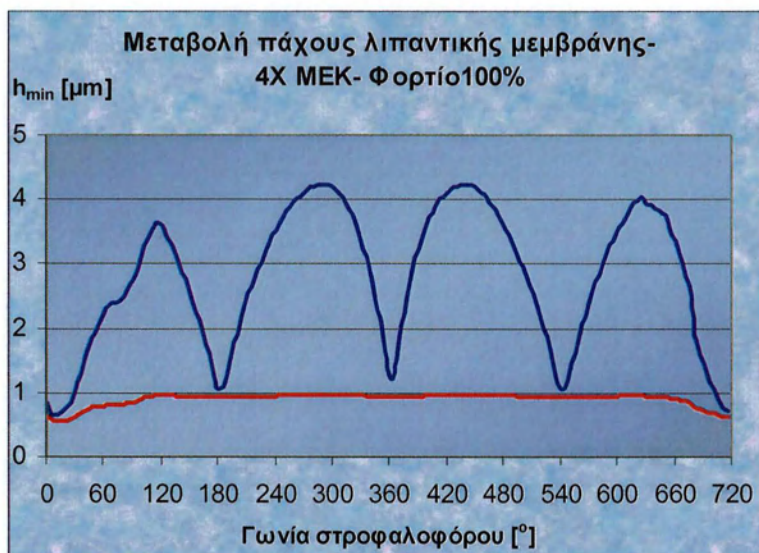
Καμπύλη χρώματος ερυθρού απουσία λιπαντικού



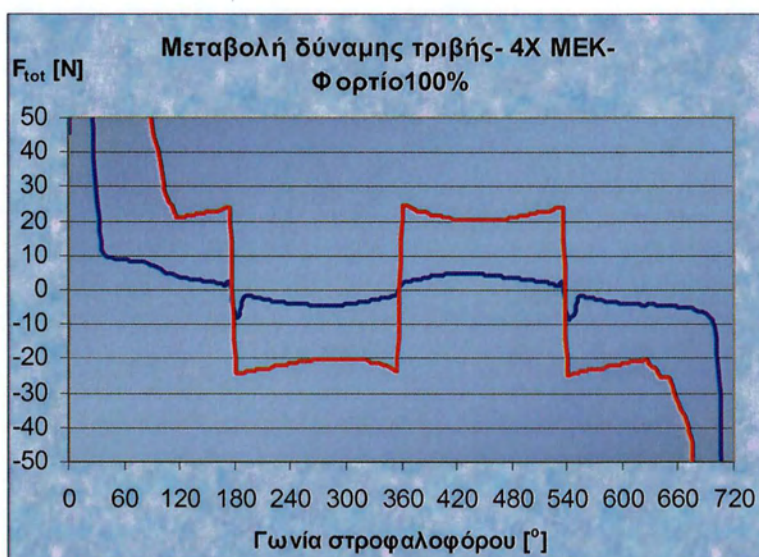
Σχήμα Π.15: Διάγραμμα πάχους λιπαντικής μεμβράνης- απόστασης διαχωρισμού τραχειών επιφανειών παρουσία ή όχι λιπαντικού 2000rpm - 1^η κατάσταση φθοράς



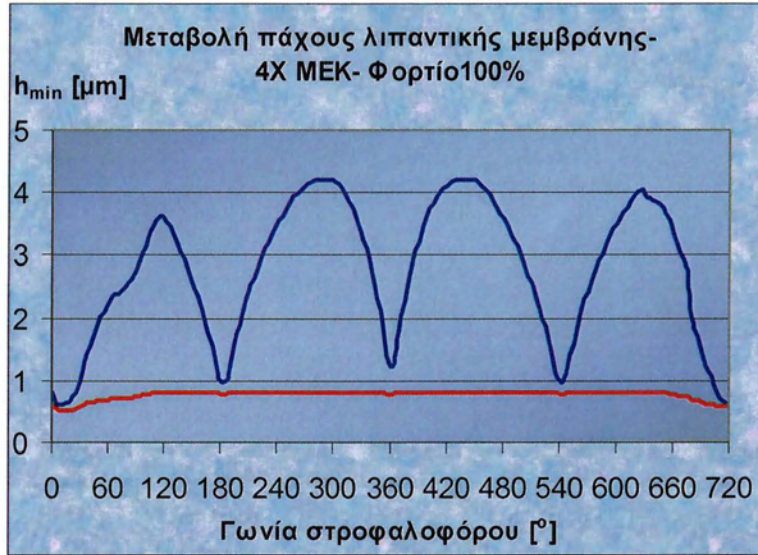
Σχήμα Π.16: Διάγραμμα δύναμης τριβής- παρουσία ή όχι λιπαντικού 2000rpm - 1^η κατάσταση φθοράς



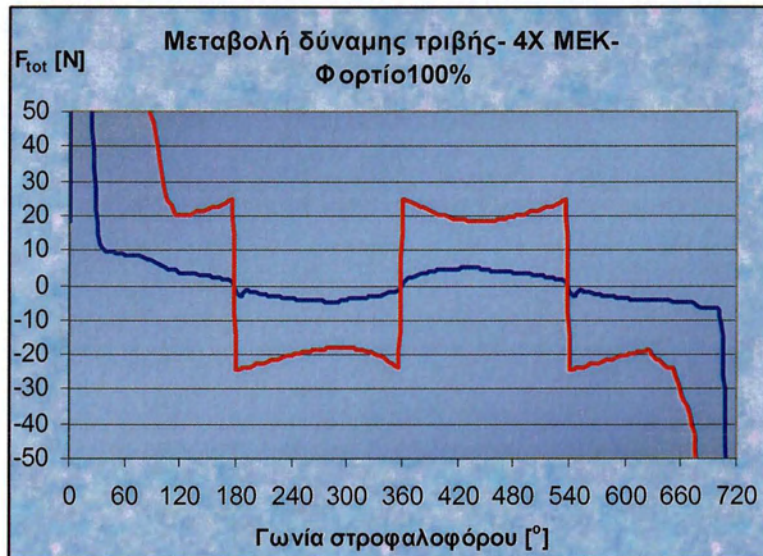
Σχήμα Π.17: Διάγραμμα πάχους λιπαντικής μεμβράνης- απόστασης διαχωρισμού τραχειών επιφανειών παρουσία ή όχι λιπαντικού 2000rpm - 2^η κατάσταση φθοράς



Σχήμα Π.18: Διάγραμμα δύναμης τριβής- παρουσία ή όχι λιπαντικού 2000rpm - 2^η κατάσταση φθοράς

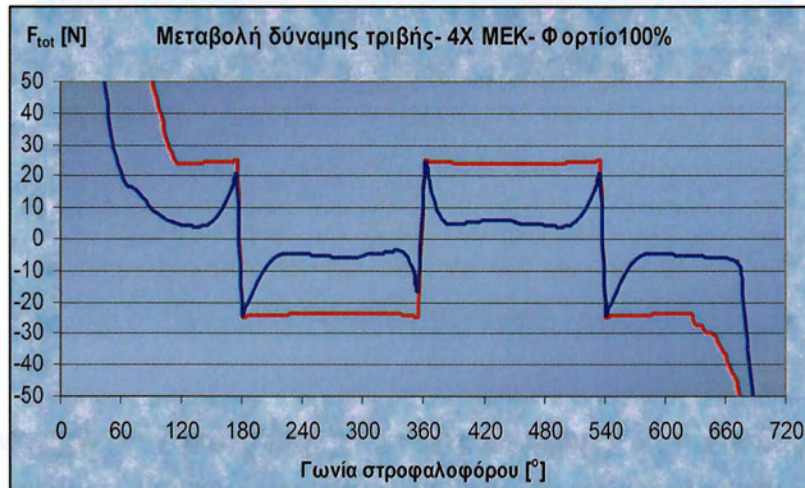


Σχήμα Π.19: Διάγραμμα πάχους λιπαντικής μεμβράνης- απόστασης διαχωρισμού τραχειών επιφανειών παρουσία ή όχι λιπαντικού 2000rpm - $3^{\text{η}}$ κατάσταση φθοράς

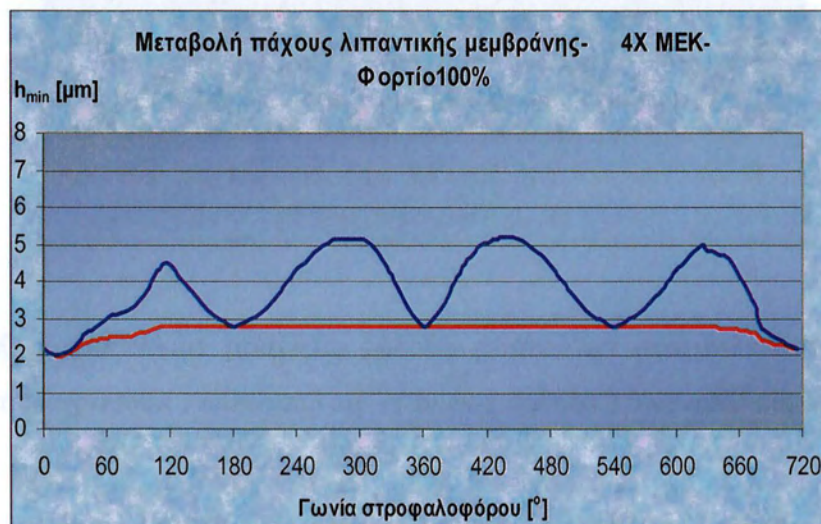


Σχήμα Π.20: Διάγραμμα δύναμης τριβής- παρουσία ή όχι λιπαντικού 2000rpm - $3^{\text{η}}$ κατάσταση φθοράς

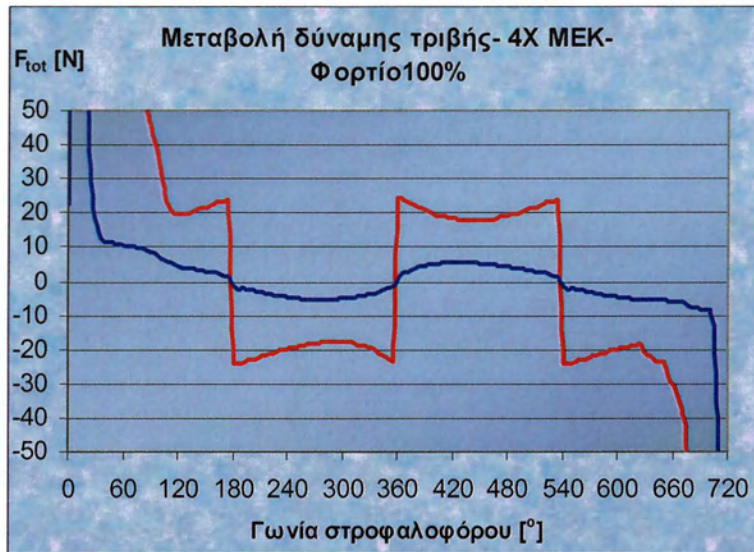
1^{ος} ΔΑΚΤΥΛΙΟΣ – 3000 rpm – ΠΛΗΡΕΣ ΦΟΡΤΙΟ



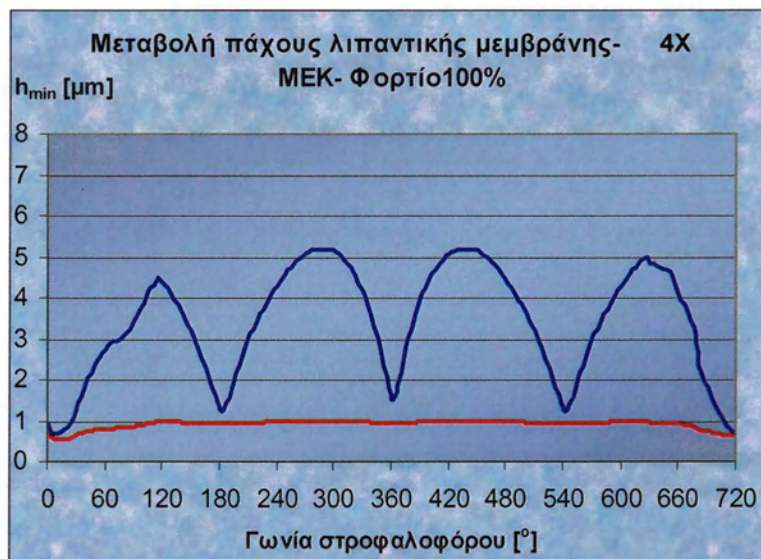
Σχήμα Π.21: Αρχική κατάσταση φθοράς σύγκριση τιμών δύναμης τριβής χωρίς λιπαντικό (ερυθρό χρώμα) – με λιπαντικό (κυανό χρώμα).



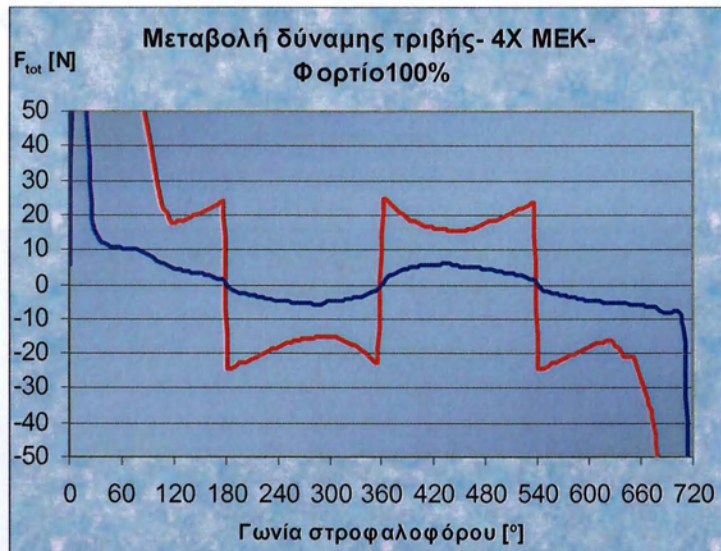
Σχήμα Π.22: Αρχική κατάσταση φθοράς σύγκριση τιμών πάχους λιπαντικής μεμβράνης χωρίς λιπαντικό (ερυθρό χρώμα) – με λιπαντικό (κυανό χρώμα).



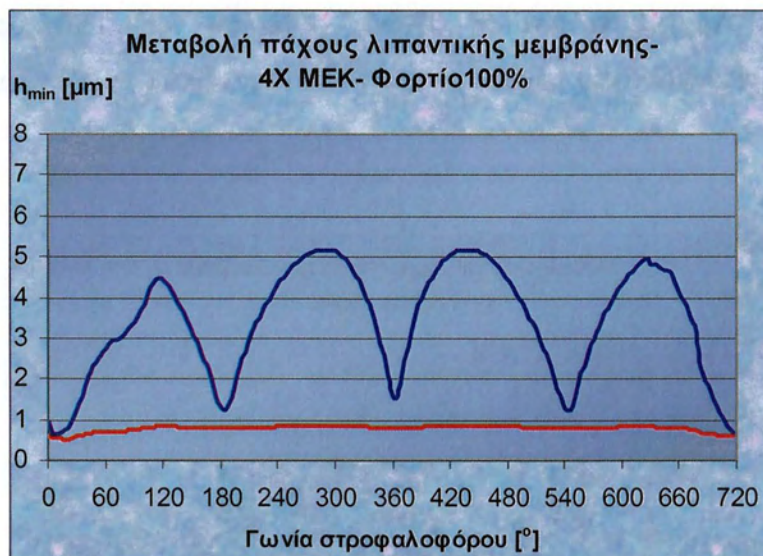
Σχήμα Π.23: Ενδιάμεση κατάσταση φθοράς σύγκριση τιμών δύναμης τριβής χωρίς λιπαντικό (ερυθρό χρώμα) – με λιπαντικό (κυανό χρώμα).



Σχήμα Π.24: Ενδιάμεση κατάσταση φθοράς σύγκριση τιμών πάχους λιπαντικής μεμβράνης χωρίς λιπαντικό (ερυθρό χρώμα) – με λιπαντικό (κυανό χρώμα).

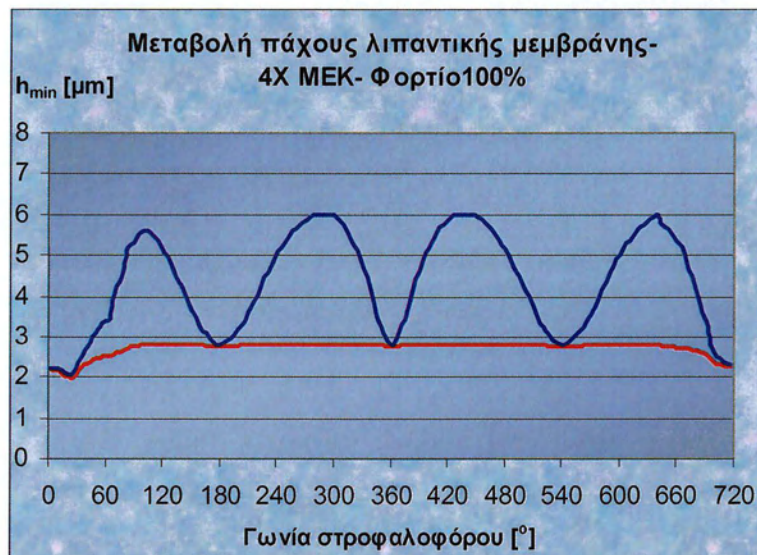


Σχήμα Π.25: Τελική κατάσταση φθοράς σύγκριση τιμών δύναμης τριβής χωρίς λιπαντικό (ερυθρό χρώμα) – με λιπαντικό (κυανό χρώμα).

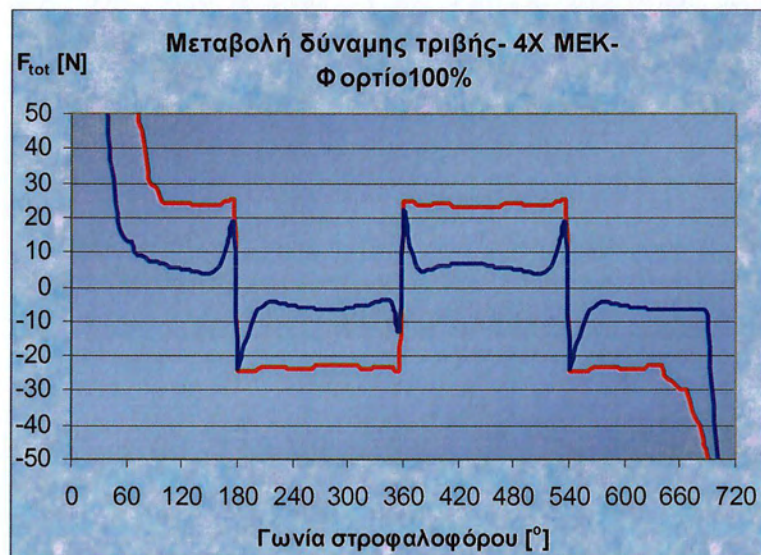


Σχήμα Π.26: Τελική κατάσταση φθοράς σύγκριση τιμών πάχους λιπαντικής μεμβράνης χωρίς λιπαντικό (ερυθρό χρώμα) – με λιπαντικό (κυανό χρώμα).

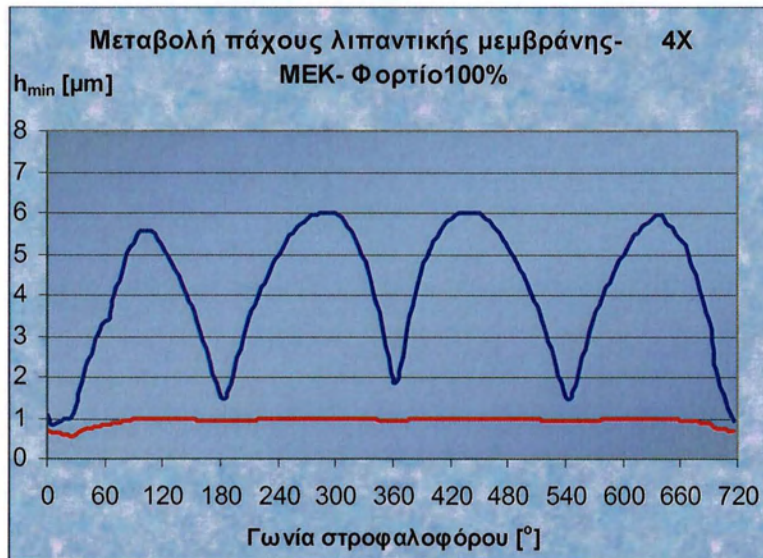
1^{ος} ΔΑΚΤΥΛΙΟΣ – 4000 rpm – ΠΛΗΡΕΣ ΦΟΡΤΙΟ



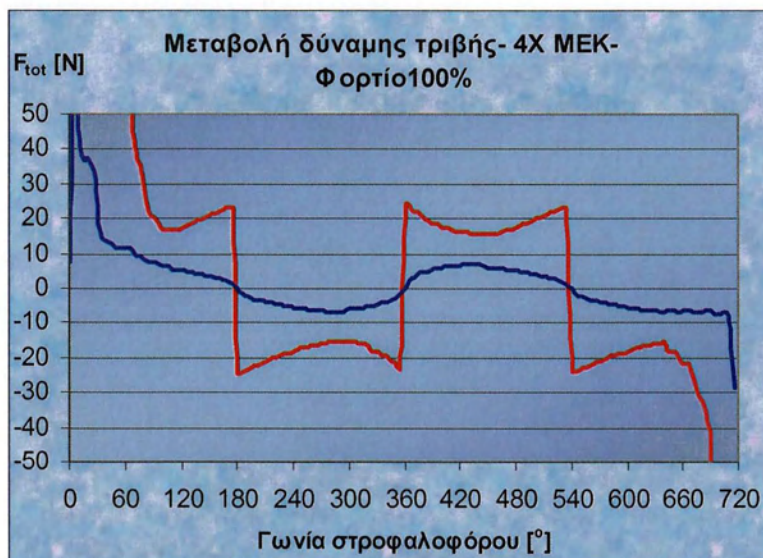
Σχήμα Π.27: Αρχική κατάσταση φθοράς σύγκριση τιμών πάχους λιπαντικής μεμβράνης χωρίς λιπαντικό (ερυθρό χρώμα) – με λιπαντικό (κυανό χρώμα).



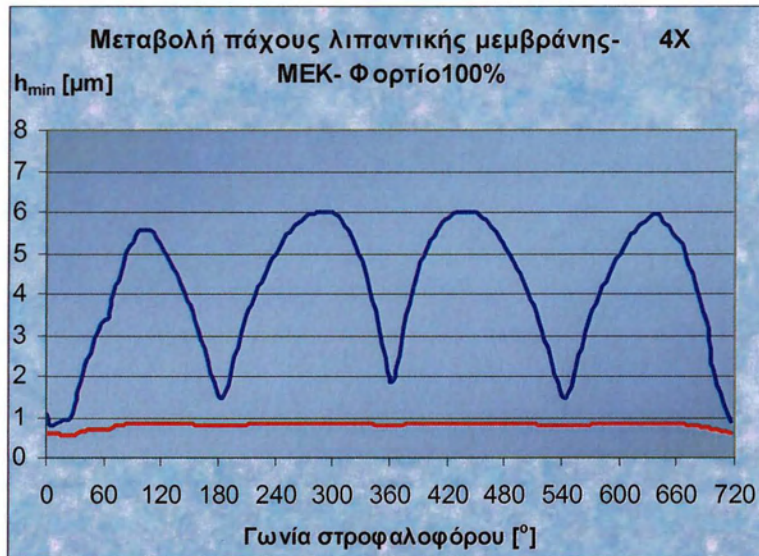
Σχήμα Π.28: Αρχική κατάσταση φθοράς σύγκριση τιμών δύναμης τριβής χωρίς λιπαντικό (ερυθρό χρώμα) – με λιπαντικό (κυανό χρώμα).



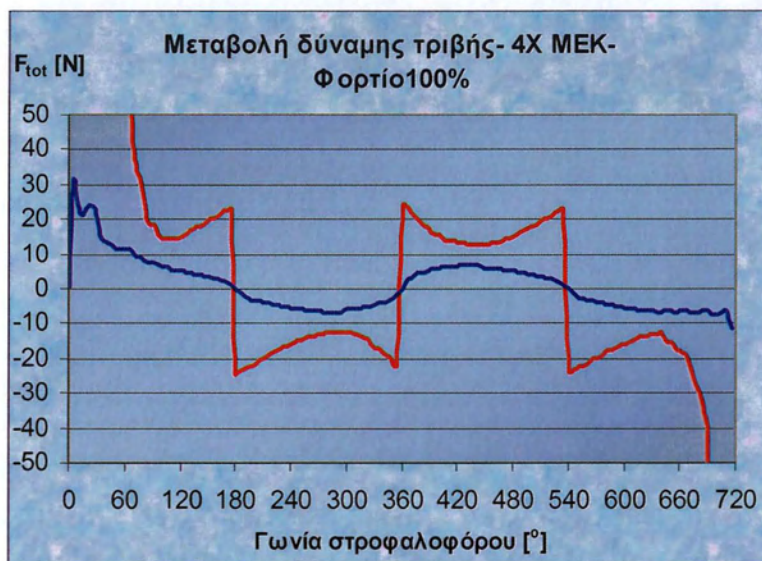
Σχήμα Π.29: Ενδιάμεση κατάσταση φθοράς σύγκριση τιμών πάχους λιπαντικής μεμβράνης χωρίς λιπαντικό (ερυθρό χρώμα) – με λιπαντικό (κυανό χρώμα).



Σχήμα Π.30: Ενδιάμεση κατάσταση φθοράς σύγκριση τιμών δύναμης τριβής χωρίς λιπαντικό (ερυθρό χρώμα) – με λιπαντικό (κυανό χρώμα).

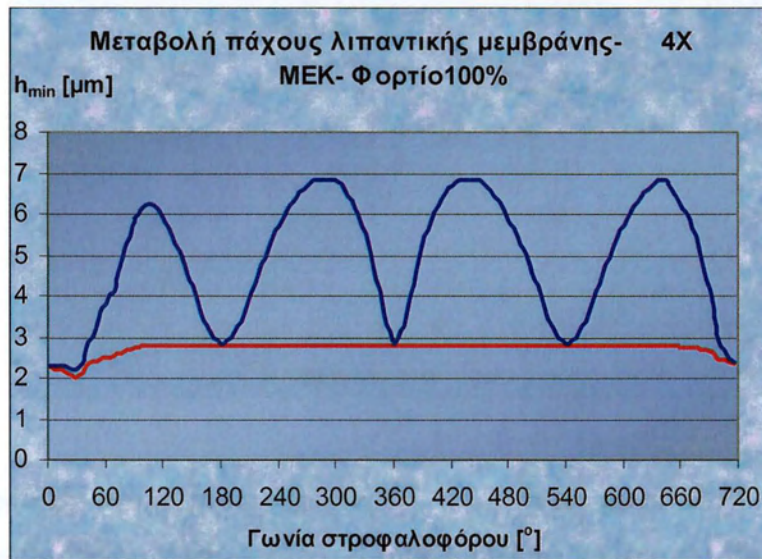


Σχήμα Π.31: Τελική κατάσταση φθοράς σύγκριση τιμών πάχους λιπαντικής μεμβράνης χωρίς λιπαντικό (ερυθρό χρώμα) – με λιπαντικό (κυανό χρώμα).

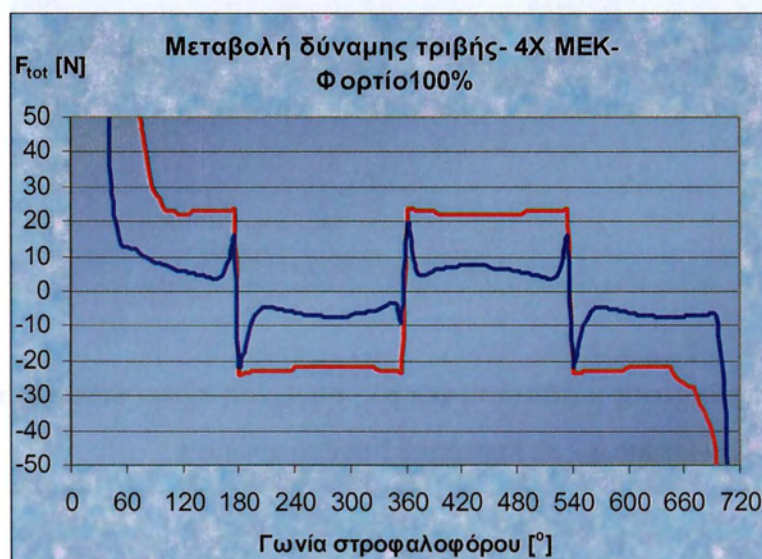


Σχήμα Π.32: Τελική κατάσταση φθοράς σύγκριση τιμών δύναμης τριβής χωρίς λιπαντικό (ερυθρό χρώμα) – με λιπαντικό (κυανό χρώμα).

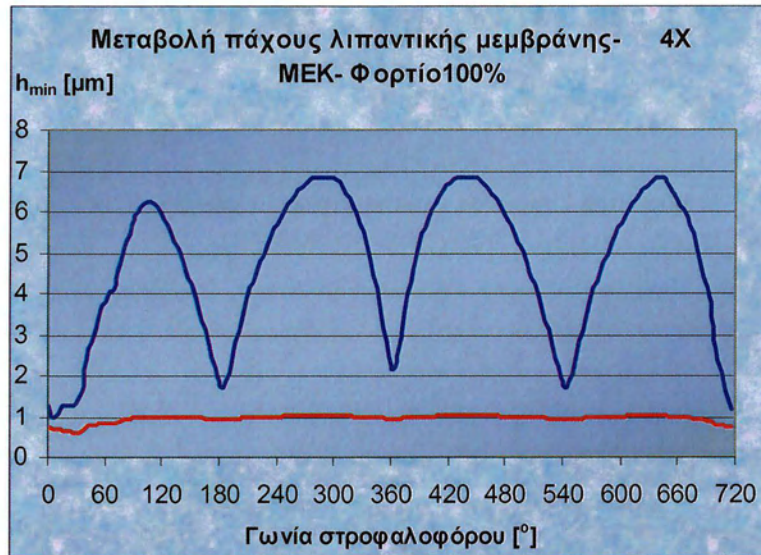
1^{ος} ΔΑΚΤΥΛΙΟΣ – 5000 rpm – ΠΛΗΡΕΣ ΦΟΡΤΙΟ



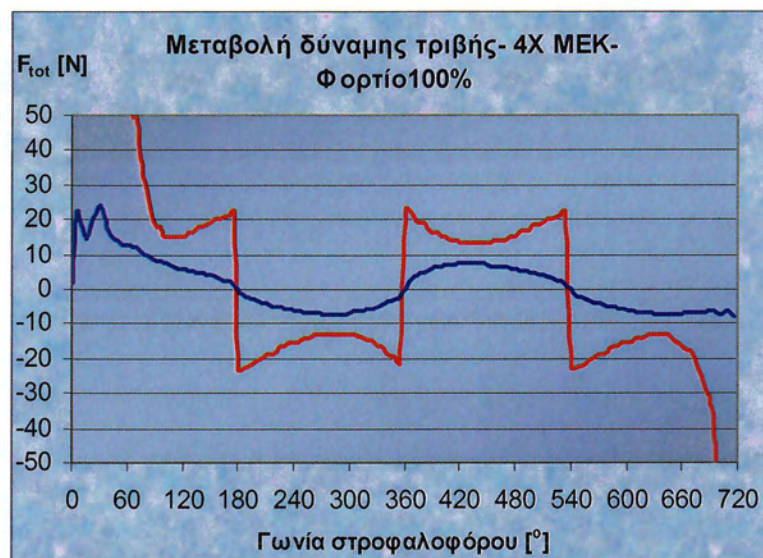
Σχήμα Π.33: Αρχική κατάσταση φθοράς σύγκριση τιμών πάχους λιπαντικής μεμβράνης χωρίς λιπαντικό (ερυθρό χρώμα) – με λιπαντικό (κυανό χρώμα).



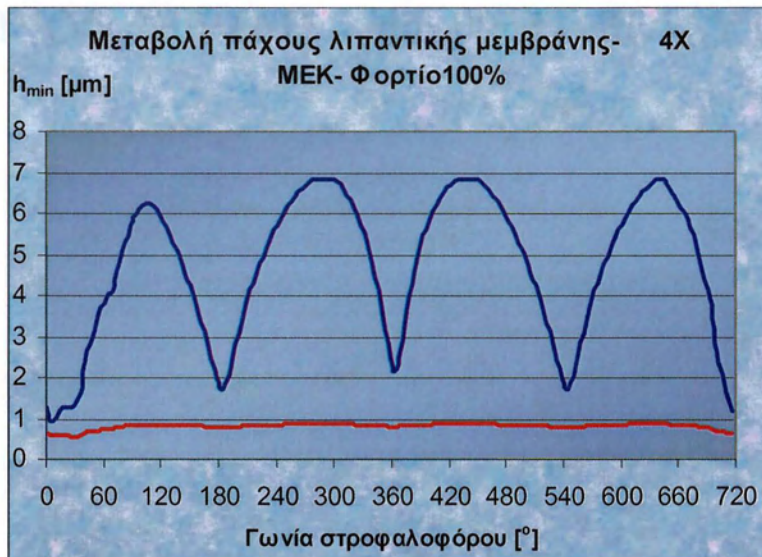
Σχήμα Π.34: Αρχική κατάσταση φθοράς σύγκριση τιμών δύναμης τριβής χωρίς λιπαντικό (ερυθρό χρώμα) – με λιπαντικό (κυανό χρώμα).



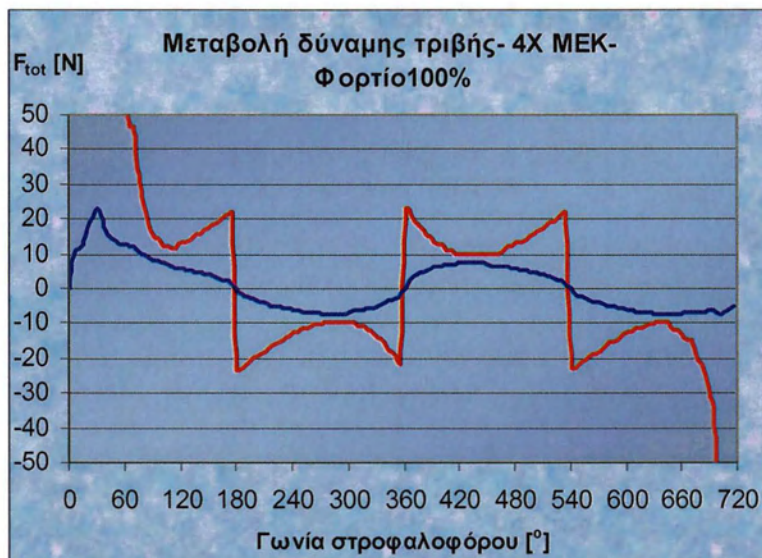
Σχήμα Π.35: Ενδιάμεση κατάσταση φθοράς σύγκριση τιμών πάχους λιπαντικής μεμβράνης χωρίς λιπαντικό (ερυθρό χρώμα) – με λιπαντικό (κυανό χρώμα).



Σχήμα Π.36: Ενδιάμεση κατάσταση φθοράς σύγκριση τιμών δύναμης τριβής χωρίς λιπαντικό (ερυθρό χρώμα) – με λιπαντικό (κυανό χρώμα)

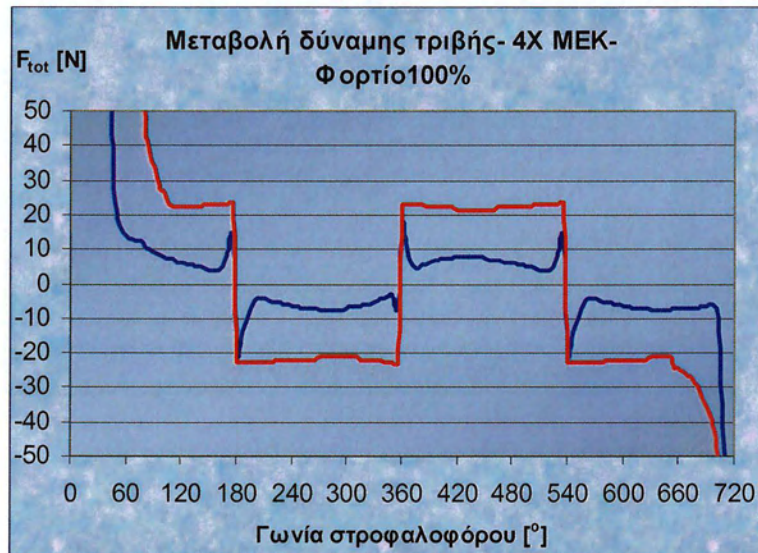


Σχήμα Π.37: Τελική κατάσταση φθοράς σύγκριση τιμών πάχους λιπαντικής μεμβράνης χωρίς λιπαντικό (ερυθρό χρώμα) – με λιπαντικό (κυανό χρώμα).

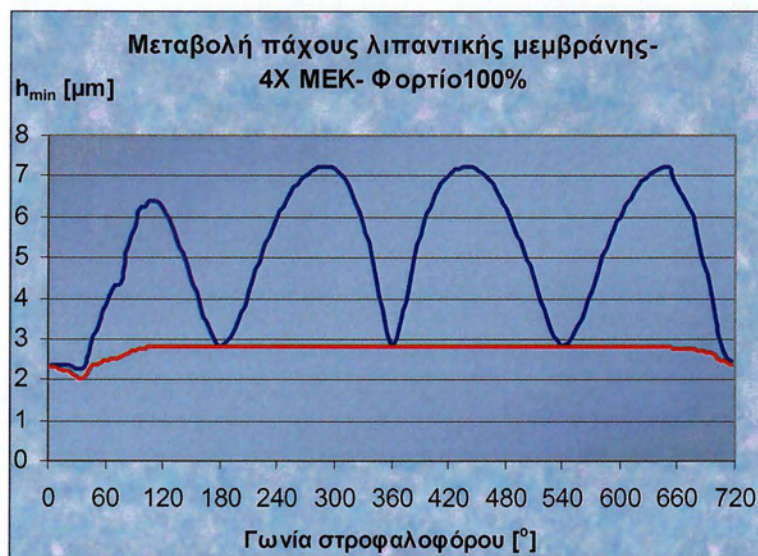


Σχήμα Π.38: Τελική κατάσταση φθοράς σύγκριση τιμών δύναμης τριβής χωρίς λιπαντικό (ερυθρό χρώμα) – με λιπαντικό (κυανό χρώμα).

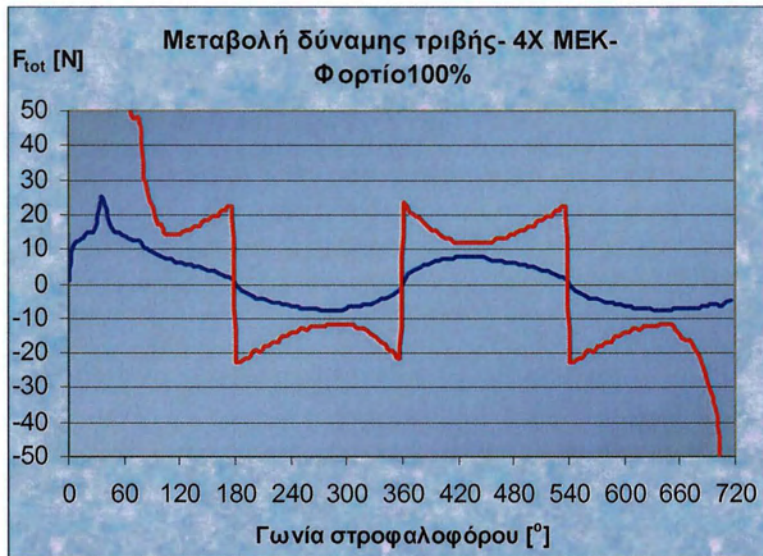
1^{ος} ΔΑΚΤΥΛΙΟΣ – 5500 rpm – ΠΛΗΡΕΣ ΦΟΡΤΙΟ



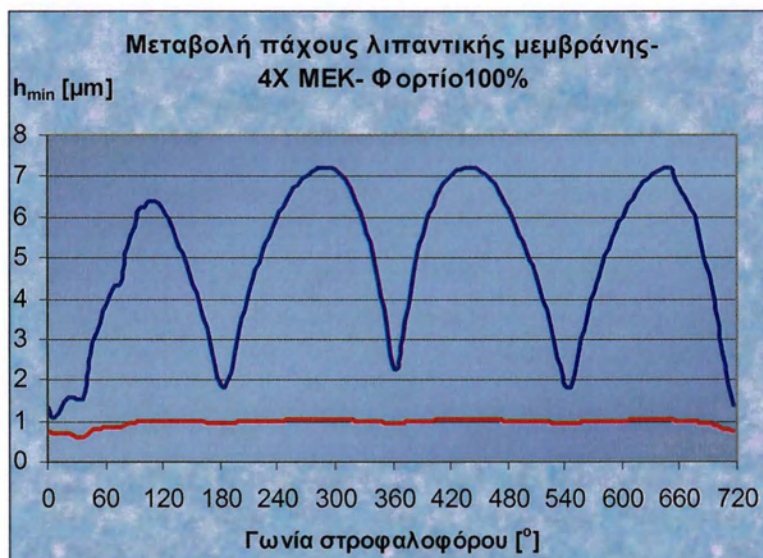
Σχήμα Π.39: Αρχική κατάσταση φθοράς σύγκριση τιμών δύναμης τριβής χωρίς λιπαντικό (ερυθρό χρώμα) – με λιπαντικό (κυανό χρώμα).



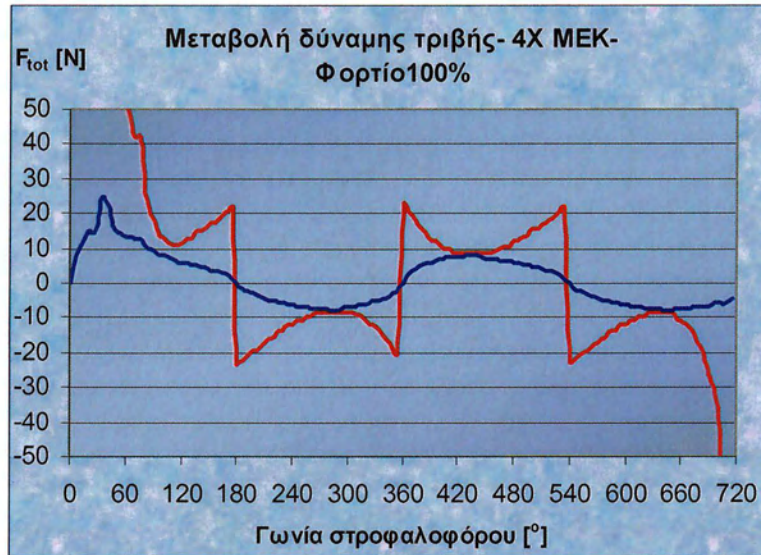
Σχήμα Π.40: Αρχική κατάσταση φθοράς σύγκριση τιμών πάχους λιπαντικής μεμβράνης χωρίς λιπαντικό (ερυθρό χρώμα) – με λιπαντικό (κυανό χρώμα).



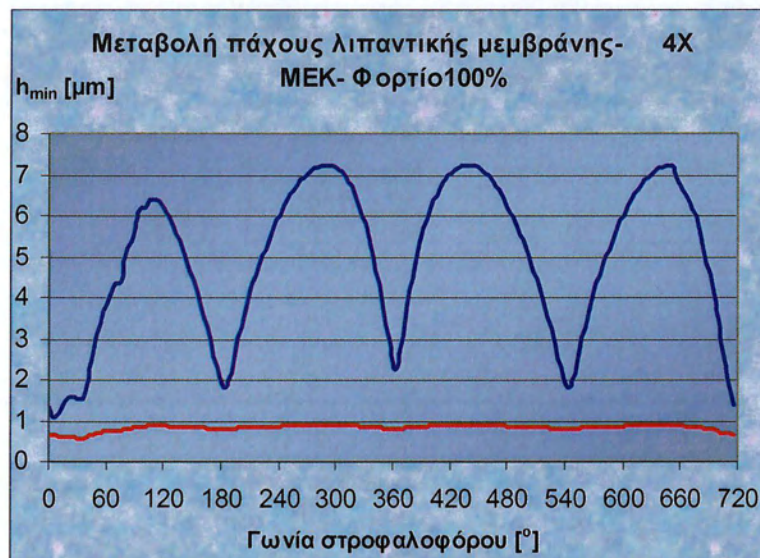
Σχήμα Π.41: Ενδιάμεση κατάσταση φθοράς σύγκριση τιμών δύναμης τριβής χωρίς λιπαντικό (ερυθρό χρώμα) – με λιπαντικό (κυανό χρώμα).



Σχήμα Π.42: Ενδιάμεση κατάσταση φθοράς σύγκριση τιμών πάχους λιπαντικής μεμβράνης χωρίς λιπαντικό (ερυθρό χρώμα) – με λιπαντικό (κυανό χρώμα).

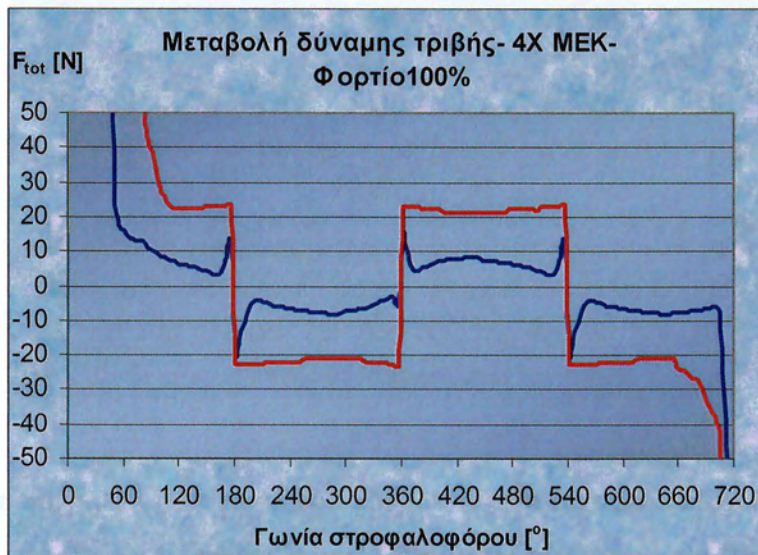


Σχήμα Π.43: Τελική κατάσταση φθοράς σύγκριση τιμών δύναμης τριβής χωρίς λιπαντικό (ερυθρό χρώμα) – με λιπαντικό (κυανό χρώμα).

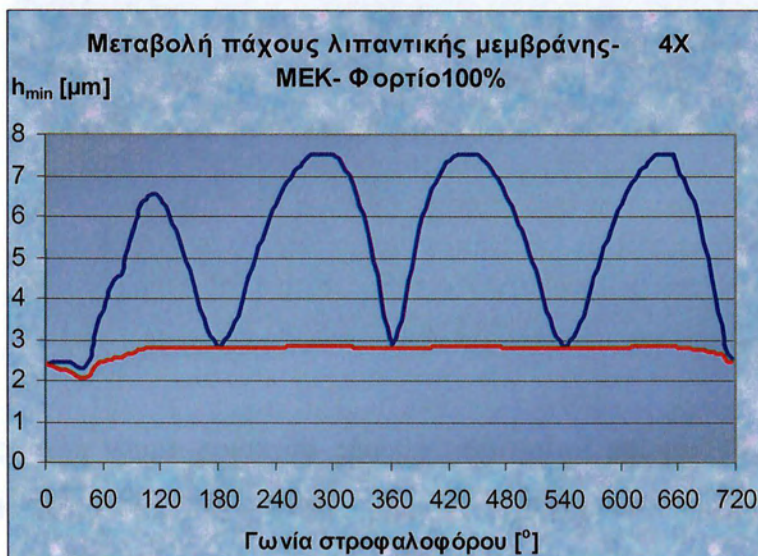


Σχήμα Π.44: Τελική κατάσταση φθοράς σύγκριση τιμών πάχους λιπαντικής μεμβράνης χωρίς λιπαντικό (ερυθρό χρώμα) – με λιπαντικό (κυανό χρώμα).

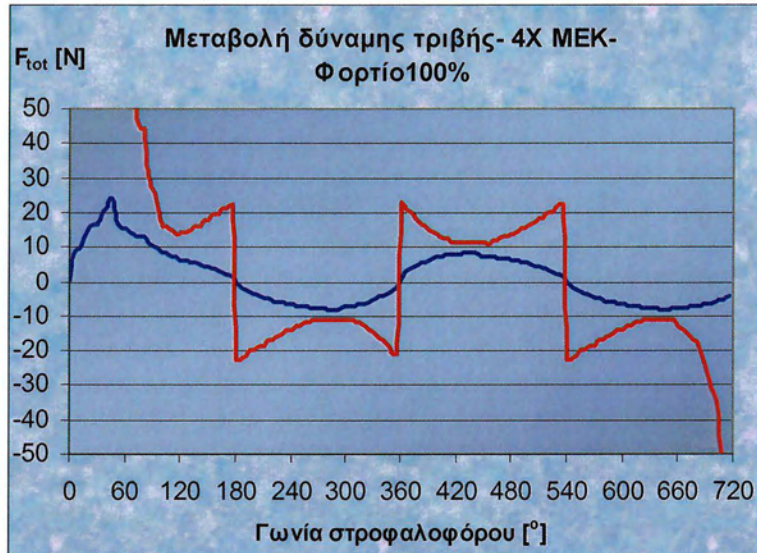
1^{ος} ΔΑΚΤΥΛΙΟΣ – 6000 rpm – ΠΛΗΡΕΣ ΦΟΡΤΙΟ



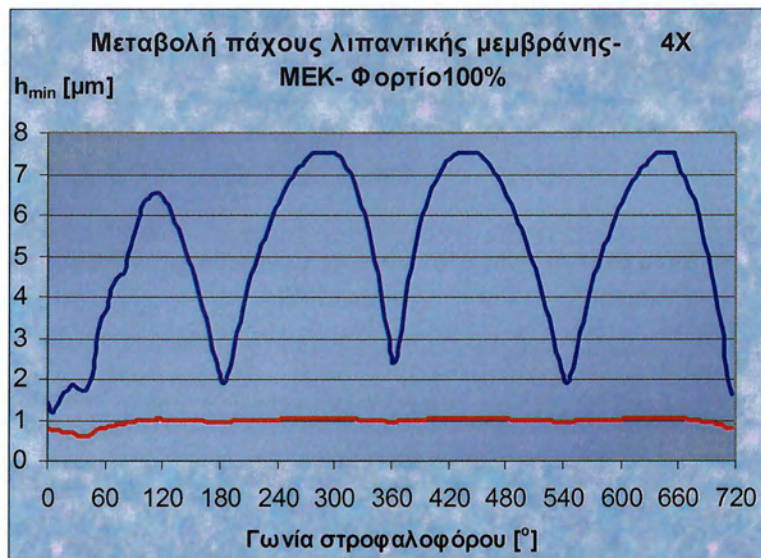
Σχήμα Π.45: Αρχική κατάσταση φθοράς σύγκριση τιμών δύναμης τριβής χωρίς λιπαντικό (ερυθρό χρώμα) – με λιπαντικό (κυανό χρώμα).



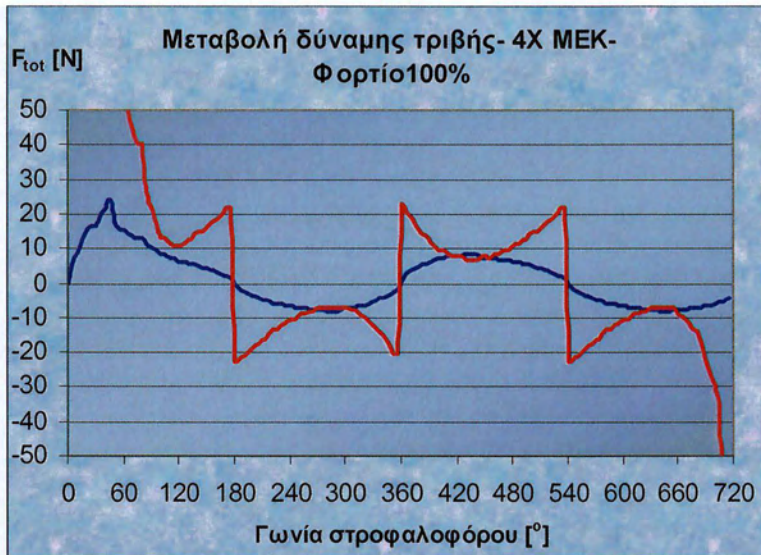
Σχήμα Π.46: Αρχική κατάσταση φθοράς σύγκριση τιμών πάχους λιπαντικής μεμβράνης χωρίς λιπαντικό (ερυθρό χρώμα) – με λιπαντικό (κυανό χρώμα).



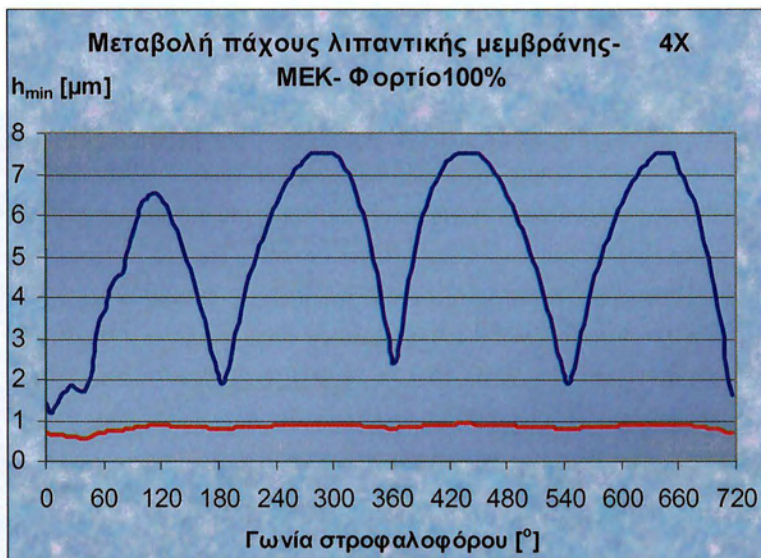
Σχήμα Π.47: Ενδιάμεση κατάσταση φθοράς σύγκριση τιμών δύναμης τριβής χωρίς λιπαντικό (ερυθρό χρώμα) – με λιπαντικό (κυανό χρώμα).



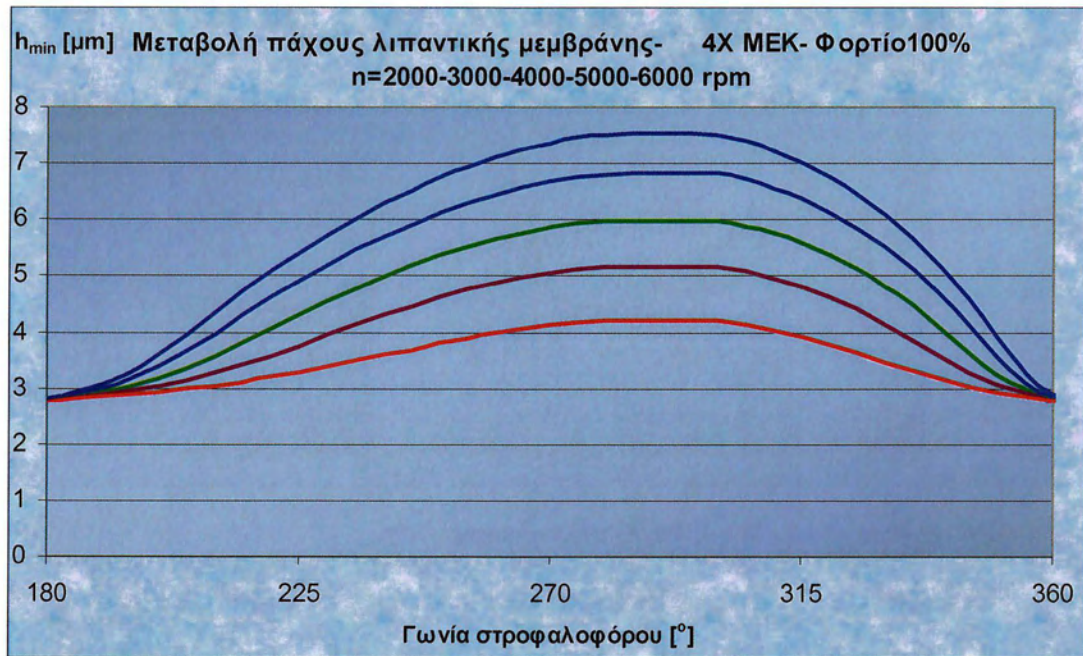
Σχήμα Π.48: Ενδιάμεση κατάσταση φθοράς σύγκριση τιμών πάχους λιπαντικής μεμβράνης χωρίς λιπαντικό (ερυθρό χρώμα) – με λιπαντικό (κυανό χρώμα).



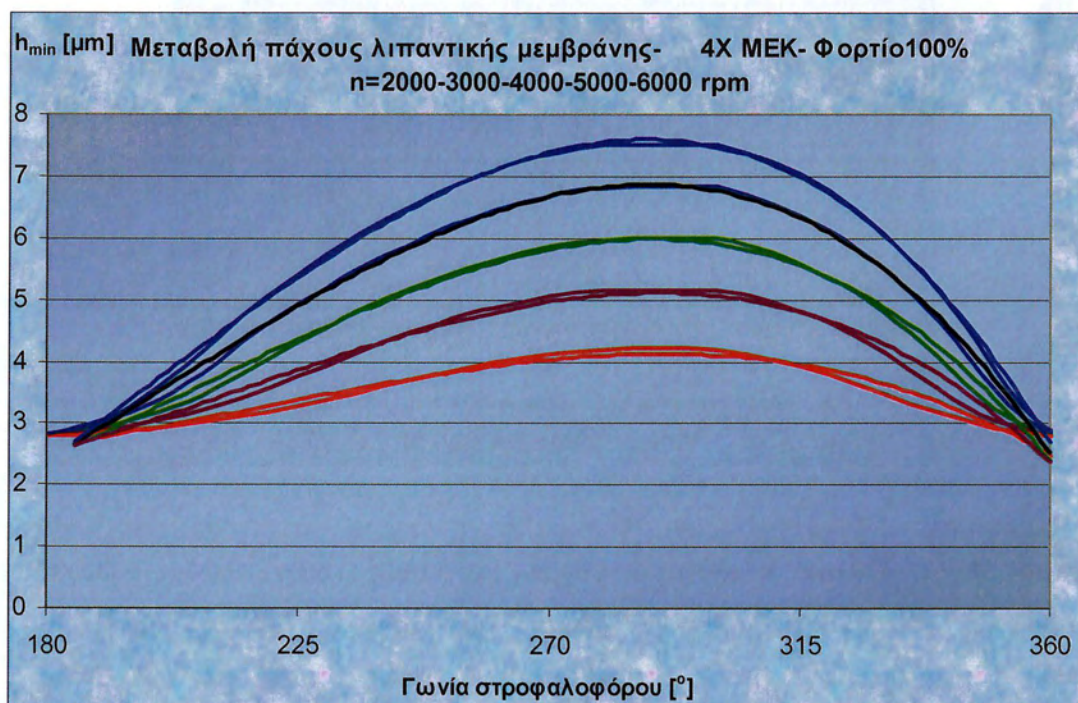
Σχήμα Π.49: Τελική κατάσταση φθοράς σύγκριση τιμών δύναμης τριβής χωρίς λιπαντικό (ερυθρό χρώμα) – με λιπαντικό (κυανό χρώμα).



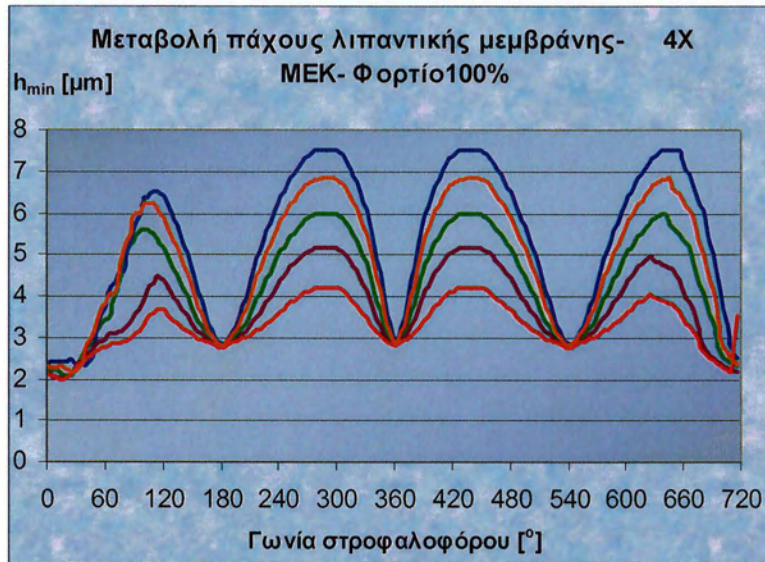
Σχήμα Π.50: Τελική κατάσταση φθοράς σύγκριση τιμών πάχους λιπαντικής μεμβράνης χωρίς λιπαντικό (ερυθρό χρώμα) – με λιπαντικό (κυανό χρώμα).



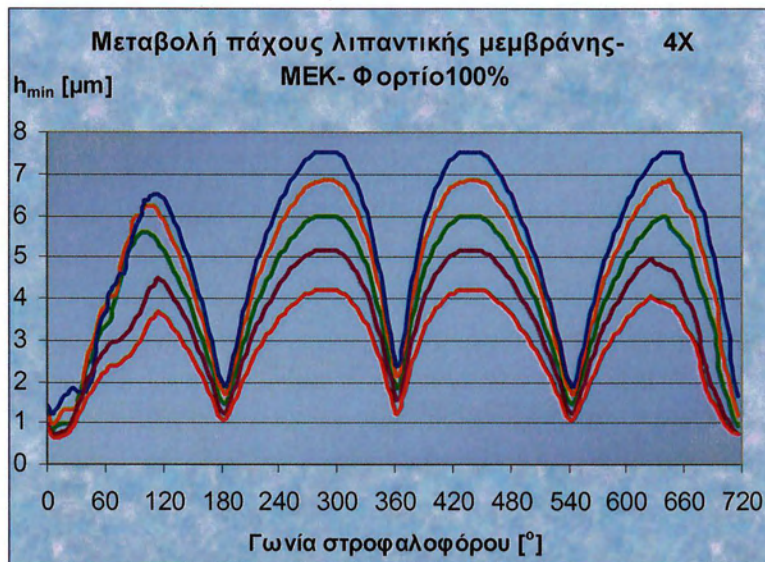
Σχήμα Π.51: Διάγραμμα πάχους λιπαντικής μεμβράνης- απόστασης διαχωρισμού τραχειών επιφανειών παρουσία λιπαντικού 2000-6000 rpm - 1^η κατάσταση φθοράς



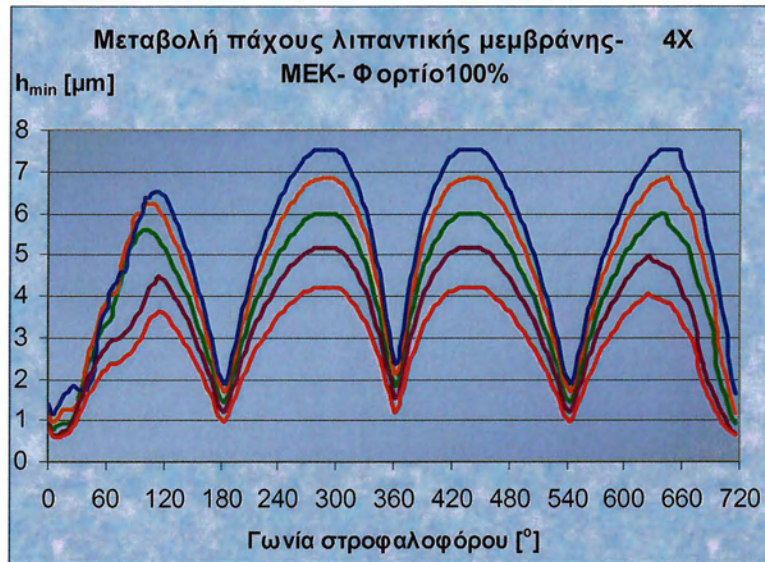
Σχήμα Π.52: Διάγραμμα γραμμών τάσεων πάχους λιπαντικής μεμβράνης- απόστασης διαχωρισμού τραχειών επιφανειών παρουσία λιπαντικού 2000-6000rpm - 1^η κατάσταση φθοράς



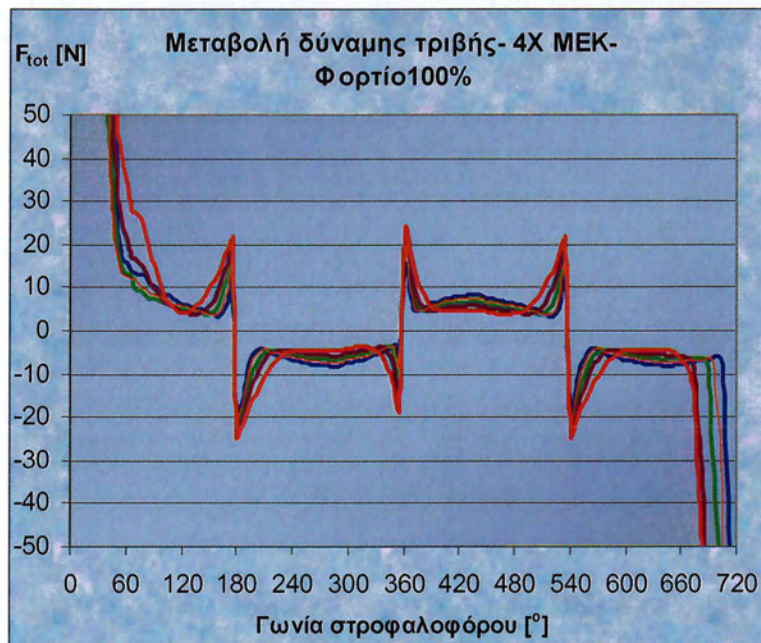
Σχήμα Π.53: Διάγραμμα πάχους λιπαντικής μεμβράνης- απόστασης διαχωρισμού τραχειών επιφανειών παρουσία λιπαντικού 2000-6000rpm - 1^η κατάσταση φθοράς



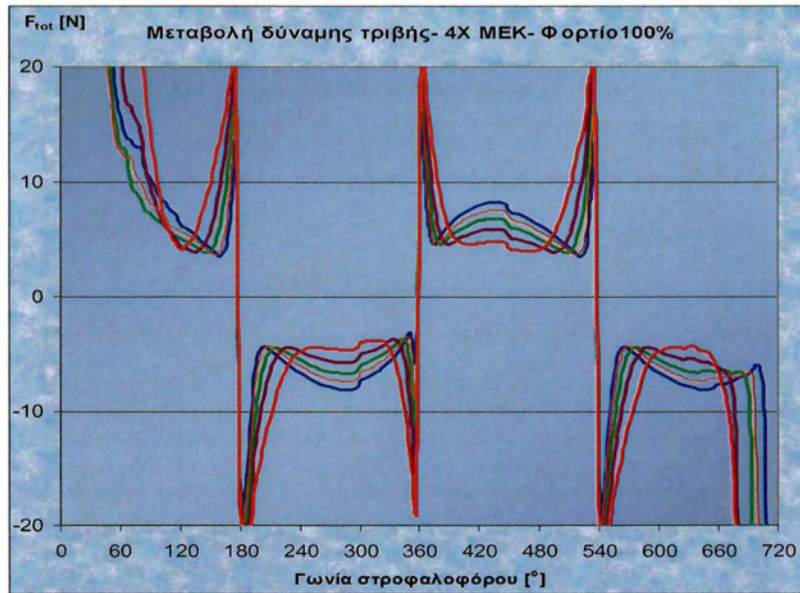
Σχήμα Π.54: Διάγραμμα πάχους λιπαντικής μεμβράνης- απόστασης διαχωρισμού τραχειών επιφανειών παρουσία λιπαντικού 2000rpm - 2^η κατάσταση φθοράς



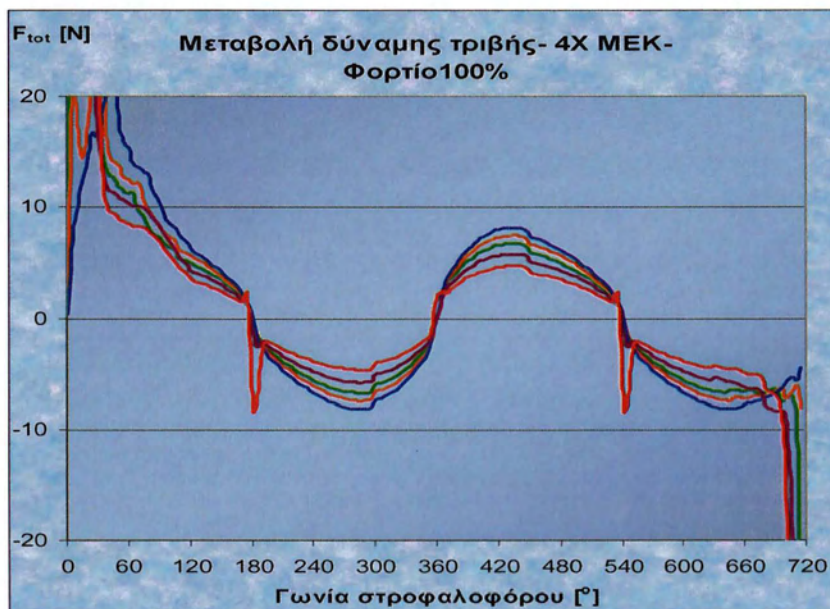
Σχήμα Π.55: Διάγραμμα πάχους λιπαντικής μεμβράνης- απόστασης διαχωρισμού τραχειών επιφανειών παρουσία λιπαντικού 2000-6000rpm - 3^η κατάσταση φθοράς



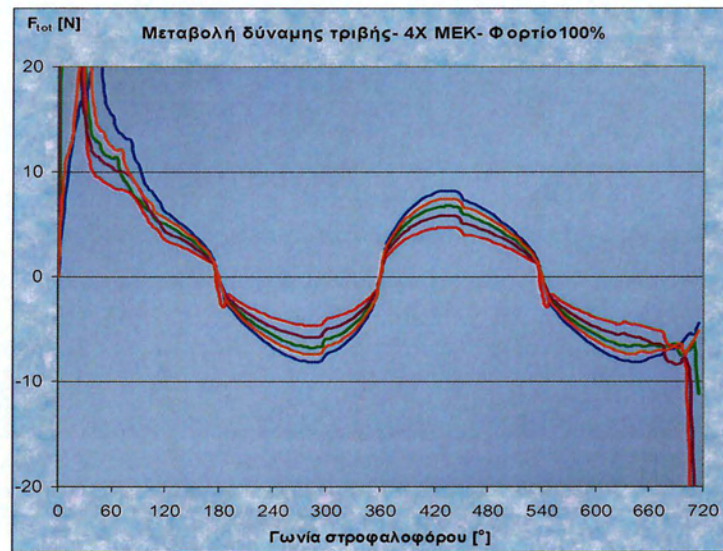
Σχήμα Π.56: Διάγραμμα δύναμης τριβής τραχειών επιφανειών παρουσία λιπαντικού για n= 2000-3000-4000-5000-5500-6000rpm - 1^η κατάσταση φθοράς



Σχήμα Π.57: Διάγραμμα δύναμης τριβής τραχειών επιφανειών παρουσία λιπαντικού για $n = 2000-3000-4000-5000-5500-6000 \text{rpm}$ - 1^η κατάσταση φθοράς (αλλαγή κλίμακας).



Σχήμα Π.58: Διάγραμμα δύναμης τριβής τραχειών επιφανειών παρουσία λιπαντικού για $n = 2000-3000-4000-5000-5500-6000 \text{rpm}$ - 2^η κατάσταση φθοράς



Σχήμα Π.59: Διάγραμμα δύναμης τριβής τραχειών επιφανειών παρουσία λιπαντικού για $n= 2000-3000-4000-5000-5500-6000\text{rpm} - 3^{\text{η}}$ κατάσταση φθοράς

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [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", Repport de stage de Fin d'etudes, ISMCM, 1981.
- [9] PANDAZARAS, C., "Etudes Experimentales et Theoriques sur les Pertes par Frottement dans les Ensembles Pistons-Segments-Chemises" DLA/RNUR, 1982.
- [10] PANDAZARAS C., "Modelisation du Frottement Segment-Chemise" DLA.RNUR, Note Technique no 5781, 1982.

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

[12] PATIR, N., and CHENG, H.S., "An Average Model for Determining Effects of Tree Dimensional Roughness on 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.

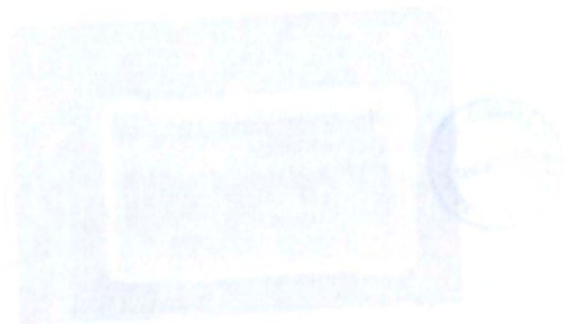
[16] ROHDE, S.M., WHITAKER, K., and mc ALLISTER, G.T., "A Study of the Effects of Piston Ring and Engine Design Variables on Piston Ring Friction, To Appear in Frontiers in Research and Design, ASME, 1979.

[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)

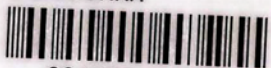
[19] Pawlus Pawel, «Change of Cylinder Surface Topography in the Initial Stage of Engine Life», Wear 209, (1997), pp 69-83







ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000111384