

ΔΙΑΣ: Ένα σύστημα διάγνωσης επί του οχήματος για κινητήρες εσωτερικής καύσης

I. Γ. Γράβαλος¹, I. Κ. Ράπτης¹

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο κινητήρας εσωτερικής καύσης είναι η βασική πηγή ισχύος για κάθε γεωργικό ελκυστήρα. Η τεχνική κατάστασή του επηρεάζει άμεσα την αποδοτικότητα και οικονομικότητα του μηχανήματος. Τα τελευταία χρόνια, οι κατασκευαστές άρχισαν να χρησιμοποιούν συστήματα επί του οχήματος για τον έλεγχο των λειτουργιών και τη διάγνωση βλαβών, πρωτίστως του κινητήρα. Τα συστήματα αυτά αναμένεται να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στο άμεσο μέλλον.

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται η σχεδίαση ενός συστήματος «διάγνωσης επί του οχήματος» για κινητήρες εσωτερικής καύσης, το οποίο βασίζεται στη μέτρηση της γωνιακής επιτάχυνσης. Για τις ανάγκες της πειραματικής διαδικασίας χρησιμοποιήθηκαν δύο γεωργικοί ελκυστήρες διαφορετικής ηλικίας ο καθένας. Ο πρώτος ελκυστήρας ήταν εντελώς καινούργιος και η μεταβολή της ενδεικτικής γωνιακής επιτάχυνσης σε συνάρτηση των στροφών του, χρησιμοποιήθηκε ως καμπύλη αναφοράς. Στη συνέχεια για να διαπιστωθεί η αποτελεσματικότητα του συστήματος, προσομοιώθηκαν διαφορετικές καταστάσεις βλαβών στον κινητήρα του πρώτου ελκυστήρα και έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων αυτών με την καμπύλη αναφοράς. Επίσης συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα των μετρήσεων ανάμεσα στους δύο ελκυστήρες, από όπου προέκυψε ότι η ενδεικτική γωνιακή επιτάχυνση του δεύτερου ελκυστήρα ήταν υψηλότερη σε σχέση με την καμπύλη του πρώτου. Η υψηλότερη ενδεικτική γωνιακή επιτάχυνση οφειλόταν στην αυξημένη τροφοδοσία καυσίμου λόγω κακής ρύθμισης της αντλίας πετρελαίου. Τα αποτελέσματα από τη διαδικασία της πειραματικής επαλήθευσης τεκμηριώνουν την αποτελεσματικότητα του συστήματος διάγνωσης ΔΙΑΣ.

Λέξεις κλειδιά: Γεωργικός ελκυστήρας, κινητήρας εσωτερικής καύσης, σύστημα διάγνωσης επί του οχήματος, γωνιακή επιτάχυνση.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο κινητήρας εσωτερικής καύσης είναι η βασική πηγή ισχύος για κάθε γεωργικό ελκυστήρα. Προφανώς, η τεχνική κατάστασή του, παίζει σημαντικό ρόλο σε τρέχοντα ζητήματα της γεωργικής παραγωγής (όπως η αποδοτικότητα και οικονομικότητα του μηχανήματος, η έγκαιρη ολοκλήρωση των εργασιών κ.λ.π.). Ένα από τα πιο σημαντικά διαγνωστικά σήματα του κινητήρα εσωτερικής καύσης είναι η ισχύς του. Η μέτρησή της πραγματοποιείται με έμμεσο τρόπο, δηλαδή με μέτρηση των μεγεθών που τη συνιστούν (ISO 789/1), (Τσατσουρέλης, 1997). Οι Nishizaki et al. (1987) ανέπτυξαν ένα σύστημα μέτρησης της ισχύος στον άξονα του δυναμοδότη (PTO) των ελκυστήρων. Πρόκειται για ένα μικροϋπολογιστικό σύστημα που ελέγχει το δυναμόμετρο και εκτελεί αυτόματα τη συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων. Τα τελευταία χρόνια, έχουμε σημαντικές προσπάθειες μέτρησης της ισχύος των ελκυστήρων, στις συνθήκες εργασίας των αγρών. Στην κατεύθυνση αυτή συνετέλεσε η ραγδαία εξέλιξη της μικροηλεκτρονικής. Για το σκοπό αυτό, οι Zheng και Luyan (1985), Palmer (1985), Zheng (1988), ανέπτυξαν φορητές συσκευές καταγραφής και επεξεργασίας δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

Ο Heywood (1992) αναφέρει ότι η γωνιακή επιτάχυνση του κινητήρα χωρίς φορτίο, του οποίου η ταχύτητα μεταβάλλεται από τις βραδείες στροφές (ρελαντί) έως τις στροφές της μέγιστης παροχής καυσίμου, είναι ένα σημαντικό διαγνωστικό σήμα ανάλογο της ροπής στρέψης και της ισχύος. Επίσης, η γωνιακή επιβράδυνση του κινητήρα χωρίς φορτίο είναι ενδιαφέρον διαγνωστικό σήμα ανάλογο της ροπής τριβών (Guzzella και Amstutz,

¹ Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λάρισας, Σχολή Τεχνολόγων Γεωπονίας, Τμήμα Γεωργικών Μηχανών & Αρδεύσεων, 41110, Λάρισα (e-mail: gravalos@in.gr)

1998). Επειδή η γωνιακή επιτάχυνση και επιβράδυνση μπορούν να μετρηθούν σχετικά εύκολα με ηλεκτρονικές συσκευές, η μέθοδος αυτή έχει μεγάλη πρακτική σημασία. Για παράδειγμα, μπορούμε να αξιοποιήσουμε την τάση εξόδου του εναλλακτήρα, του οποίου η ταχύτητα περιστροφής είναι ευθέως ανάλογη της τάσης εξόδου. Με παρόμοιο τρόπο είναι δυνατόν να μετρηθεί και να αξιολογηθεί η γωνιακή επιτάχυνση ή επιβράδυνση ενός κινητήρα, με τη βοήθεια μαγνητικών ή επαγωγικών αισθητήρων, οι οποίοι ανιχνεύουν τη συχνότητα των παλμών, που προέρχονται από το οδόντωμα ενός τροχού καθώς περιστρέφεται. Επί της αρχής, η γωνιακή επιτάχυνση ενός κινητήρα είναι δυνατόν να μετρηθεί, όταν εκείνος εργάζεται στο σύνολο του ή όταν εργάζεται μόνο με μέρος του συνόλου των κυλίνδρων του (μέθοδος σταδιακής αποσύνδεσης κυλίνδρων). Αντιθέτως, η γωνιακή επιβράδυνση θα πρέπει να μετρηθεί όταν ο κινητήρας εργάζεται στο σύνολο του και μόνο. Επομένως, για έναν κινητήρα σε επιτάχυνση χωρίς φορτίο, ο οποίος εργάζεται με το σύνολο των κυλίνδρων του, θα ισχύει η σχέση για επιλεγμένο αριθμό στροφών:

$$\varepsilon_i = \varepsilon_e + \varepsilon_m$$

Όπου: (ε_e) είναι η ενδεικτική γωνιακή επιτάχυνση, (ε_e) είναι η ωφέλιμη γωνιακή επιτάχυνση και (ε_m) είναι η γωνιακή επιβράδυνση του κινητήρα.

Από το έτος 1996, η CARB (California Air Resource Board) έθεσε περιοριστικούς όρους πώλησης στην Καλιφόρνια, απαιτώντας όλα τα οχήματα να φέρουν συστήματα διάγνωσης (On-board diagnosis systems, OBD). Σύμφωνα το μέτρο αυτό επεκτάθηκε και στις άλλες πολιτείες των ΗΠΑ (Californias OBD regulation, 1993). Η Ε.Ε. σε μία προσπάθεια να προωθήσει τον ανταγωνισμό, εξέδωσε την οδηγία (98/69 EU) σύμφωνα με την οποία επέβαλε την εγκατάσταση συστήματος διάγνωσης επί των οχημάτων. Η οδηγία ισχύει για όλους τους βενζινοκινητήρες που θα παραχθούν από το 2000 και μετά, καθώς και για τους πετρελαιοκινητήρες που θα παραχθούν μετά το 2003 (Nyberg et al. 2001). Τα συστήματα αυτά καλούνται «Συστήματα Διάγνωσης Επί του Οχήματος» και είναι απαραίτητα για την εξασφάλιση γρήγορων, αποτελεσματικών και οικονομικών ελέγχων, συντηρήσεων και επισκευών. Συνεπώς το ενδιαφέρον για αυτά είναι μεγάλο. Μέχρι πρότινος η υπολογιστική ισχύς βρισκόταν στον υπολογιστή του συνεργείου επισκευών, που συνδεόταν με το διαγνωστικό σύστημα. Τώρα πλέον στα συστήματα OBD-II όλα μεταφέρονται σε ένα ισχυρότερο υπολογιστικό σύστημα, το οποίο βρίσκεται πάνω στο όχημα (Sachenbacher et al. 2000).

Ο σκοπός της εργασίας αυτής, είναι η παρουσίαση του σχεδίου και η πειραματική επαλήθευση ενός συστήματος «διάγνωσης επί του οχήματος» για κινητήρες εσωτερικής καύσης, το οποίο βασίζεται στη μέτρηση της γωνιακής επιτάχυνσης.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

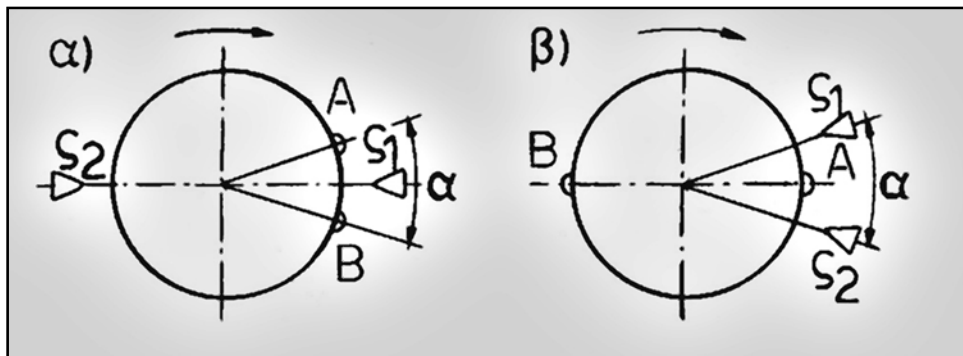
Στον εξοπλισμό περιλαμβάνονται ένα ζεύγος αισθητήρων προσέγγισης μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης, ένας πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας πίεσης και ένα μικροϋπολογιστικό σύστημα, του οποίου το πρωτότυπο ονομάσαμε DIAS (DIAGNOSIS SYSTEM).

Αισθητήρες προσέγγισης (S_1 , S_2)

Επί της «χελώνας» του συμπλέκτη ανοίχτηκαν δύο σπειρώματα, στα οποία βιδώθηκαν οι δύο αισθητήρες προσέγγισης μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης της AB Elektronik. Επί του σφονδύλου στερεώθηκαν ακλόνητα οι δύο μαγνητικοί δείκτες. Στο σχήμα 1 απεικονίζονται δύο διαφορετικοί τρόποι τοποθέτησης του ζεύγους των αισθητήρων και των μαγνητικών δεικτών τους. Από τα δεδομένα των πειραμάτων προέκυψε ότι η τοποθέτηση αισθητήρων και δεικτών σύμφωνα με την εκδοχή (β), παρουσιάζει μεγαλύτερη ακρίβεια. Κάθε αισθητήρας προσέγγισης αποτελείται από ένα μικρό ηλεκτρομαγνητικό πηνίο τοποθετημένο εντός προστατευτικής θήκης. Όταν ο μαγνητικός δείκτης περάσει μπροστά από τον αισθητήρα τότε παράγεται τάση εξόδου, η οποία προκαλείται από τη μεταβολή του μαγνητικού πεδίου στην περιοχή του πηνίου.

Κατά τη διέλευση του μαγνητικού δείκτη Α μπροστά από τον αισθητήρα S_1 έχουμε παλινδρόμηση του εμβόλου προς τα άνω με ταυτόχρονη περιστροφή του στροφάλου 18° πριν από το Α.Ν.Σ. Ακολούθως κατά τη διέλευση του δείκτη Α μπροστά από τον αισθητήρα S_2 , ο στροφάλος περιστρέφεται περίπου 17° μετά το Α.Ν.Σ., ήτοι η γωνία α είναι 35°. Καθώς ο σφόνδυλος περιστρέφεται σύμφωνα με τη φορά του βέλους, πρώτη παράγεται η παλμοσειρά του αισθητήρα S_1 και ακολουθεί η παλμοσειρά του αισθητήρα S_2 . Οι παλμοσειρές επαναλαμ-

βάνονται με τη διέλευση του μαγνητικού δείκτη B μπροστά από τους αισθητήρες και αφού ο στροφάλος περιστραφεί κατά 180° . Με τον τρόπο αυτόν μετράται η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του στροφάλου και είναι δυνατόν να προσδιοριστεί η θέση του.



Σχήμα 1: Δύο διαφορετικοί τρόποι τοποθέτησης του ζεύγους των αισθητήρων και των μαγνητικών δεικτών τους.

Πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας (S_3)

Ο πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας πίεσης (DMP 333) της BD Sensors, επιλέχθηκε επειδή: λειτουργεί σε υψηλές θερμοκρασίες, έχει μικρό μέγεθος και δεν επηρεάζεται από τους κραδασμούς. Ο αισθητήρας ανιχνεύει τις μεταβολές της πίεσης, μέσω της μετατόπισης ενός λεπτού διαφράγματος, που πιέζει έναν πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο. Τα ηλεκτρικά φορτία που εμφανίζονται στις όψεις του κρυστάλλου είναι ανάλογα της ασκούμενης πίεσης.

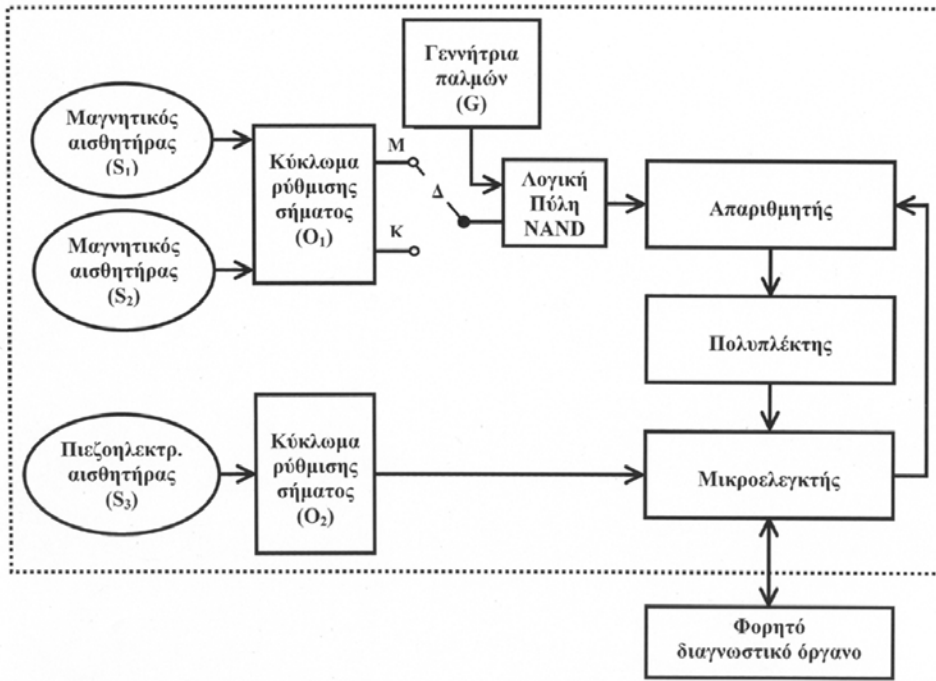
Μεταξύ αγωγού υψηλής πίεσης και εγχυτήρα προστέθηκε ένα μεταλλικό παραλληλεπίπεδο, στο οποίο κατασκευάστηκαν οπές και δίοδοι για τη ροή του πετρελαίου και χρησιμοποιεί ως υποδοχέας του αισθητήρα. Προφανώς, ο αισθητήρας μπορεί να συνδεθεί εύκολα με το κύκλωμα υψηλής πίεσης οποιουδήποτε κυλίνδρου. Όμως προτιμάται ο πρώτος κύλινδρος, επειδή υπολογίζεται ευκολότερα η σειρά έγχυσης των υπολοίπων. Η γωνία προπορείας στον πρώτο κύλινδρο προκύπτει από τη χρονική διαφορά μεταξύ των σημάτων του πιεζοηλεκτρικού αισθητήρα και των αισθητήρων προσέγγισης.

Το μικροϋπολογιστικό σύστημα DIAS

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε στο δομικό διάγραμμα του πρωτοτύπου (σχήμα 2), το κύκλωμα (O_2) ρυθμίζει το σήμα εξόδου του αισθητήρα (S_3). Αρχικά ένας διαιρέτης τάσης υποβιβάζει ανάλογα το σήμα του αισθητήρα (S_3), ενώ ένα τρανζίστορ (T_1) που είναι συνδεδεμένο ως ανιχνευτής κορυφής ακολουθεί τις αλλαγές του σήματος. Στη συνέχεια ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα διέγερσης Schmitt παρέχει υστέρηση και στην έξοδο του εμφανίζεται το θετικό μέτωπο του παλμού όταν το σήμα του αισθητήρα (S_3) επιτυγχάνει το 60% της μέγιστης τιμής του. Τέλος, στην έξοδο του κυκλώματος ρύθμισης (O_2), χρησιμοποιήθηκε ένας μονοσταθής πολυδονητής, ο οποίος μόλις διεγερθεί παράγει παλμούς ρυθμιζόμενης διάρκειας, ώστε ο χρόνος διάρκειας ενός παλμού (t_k) να είναι το 70% του χρόνου που μεσολαβεί μεταξύ δύο διαδοχικών εγχύσεων (t_v) και εξασφαλίζει μεγάλη σταθερότητα μεταξύ των στροφών $600 \div 2200 \text{ min}^{-1}$ του κινητήρα.

Τα σήματα των αισθητήρων (S_1) και (S_2) οδηγούνται στο κύκλωμα διασύνδεσης (O_1), το οποίο έχει δύο εξόδους την (M) (μετρούμενης ποσότητας) και (K) (βαθμονόμησης). Για την προσαρμογή του σήματος της εξόδου (M), χρησιμοποιήθηκαν δύο τρανζίστορ αναστροφής (BJT) και ένα διασταθές latch με πύλες (NAND), ώστε το εύρος (t) των παλμών να ανταποκρίνεται ακριβώς στο χρόνο περιστροφής του στροφάλου υπό γωνία (α). Στην έξοδο (K) συνδέθηκαν, επιπλέον, δύο κυκλώματα για τη διαίρεση των παλμών εισόδου (δίνοντας έτσι ένα παλμό εξόδου για κάθε δύο παλμούς εισόδου) και δύο πύλες (NAND). Η επιλογή των ανωτέρω εξόδων γίνεται με τη βοήθεια του μηχανικού διακόπτη δύο θέσεων (Δ).

Η κρυσταλλο-ελεγχόμενη γεννήτρια παλμών (G) συνδέεται με τρεις ψηφιακούς αναστροφείς (NOR) σειράς 74LS. Ο τρίτος αναστροφέας απομονώνει το κύκλωμα ενώ οι πυκνωτές (C_2) και (C_3) βοηθούν στο να



Σχήμα 2: Το δομικό διάγραμμα του μικροϋπολογιστικού συστήματος DIAS.

αποσβεστούν οι αρμονικές μεγαλύτερης τάξεως. Οι παλμοί της γεννήτριας με συχνότητα 10 MHz μαζί με το σήμα της εξόδου (M), οδηγούνται διά μίας πύλης (NAND) σε ένα γενικό απαριθμητή, ο οποίος σχηματίζεται από έξι διαδοχικές μονάδες απαριθμητών δεκάδας 74LS90. Το περιεχόμενο του απαριθμητή διά του πολυπλέκτης εγγράφεται στην προσωρινή μνήμη του μικροελεγκτή (σημεία πρόσβασης 1P4, 1P5, 1P6, 1P7) και ακολούθως ο απαριθμητής μηδενίζεται. Ο πολυπλέκτης σχηματίζεται από τέσσερα ολοκληρωμένα κυκλώματα 74HC151 και διευθυνσιοδοτείται από τη θύρα P1 (1P0, 1P1, 1P2) του μικροελεγκτή.

Πυρήνας του συστήματος είναι ο μικροϋπολογιστής ενός ολοκληρωμένου 8048 της Intel (μικροελεγκτής), στην ολοκληρωμένη πλακέτα του οποίου συμπεριλαμβάνονται ακόμη τα ακόλουθα κυκλώματα υποστήριξης: μία εξωτερική μνήμη προγράμματος EPROM (M2716), δύο ολοκληρωμένα μνήμης δεδομένων RAM (DS2016) και ένας καταχωρητής διευθύνσεων (MH 3212). Πρέπει να διευκρινίσουμε ότι η επιλογή εξωτερικής μνήμης προγράμματος έγινε για τις ανάγκες ανάπτυξης του πρωτοτύπου. Ένα τμήμα της κύριας μνήμης είναι οργανωμένο στην προσωρινή μνήμη (scratchpad memory) (δύο μπλοκ καταχωρητών RB0 και RB1 από 8 bytes) και στη στοίβα (stack) (16 bytes). Το υπόλοιπο τμήμα της κύριας μνήμης (32 bytes) διαιρείται στο πεδίο απεικόνισης «videoram» (7 bytes), στο συσσωρευτή ACC (accumulator) (8 bytes), στο βοηθητικό συσσωρευτή PACC (5 bytes), στο πεδίο των σημαιών (flags) (2bytes) και στο ελεύθερο πεδίο των αριθμητικών πράξεων (10 bytes).

Το μικροϋπολογιστικό σύστημα, εκτός της κύριας μνήμης, διαθέτει μνήμη δεδομένων χωρητικότητας 256 bytes και μνήμη προγράμματος που περιέχει 2048 bytes. Μετά την επανάθεση (reset) του συστήματος, το πρόγραμμα αρχίζει αυτόματα από τη μηδενική διεύθυνση ($PC=000_H$), ενώ η υπορουτίνα εκτέλεσης διακοπής αρχίζει από την έβδομη διεύθυνση της μνήμης προγράμματος ($PC = 007_H$).

Η θύρα P_2 χρησιμοποιείται για την επικοινωνία του μικροελεγκτή με το φορητό διαγνωστικό όργανο. Το συγκεκριμένο όργανο περιλαμβάνει ένα πληκτρολόγιο και ένα μέσο απεικόνισης. Ως μέσο απεικόνισης χρησιμοποιήθηκαν 9 μονάδες HD11310 των επτά τομέων LED. Επίσης ως γεννήτρια χαρακτηρισμών του μέσου απεικόνισης χρησιμοποιήθηκε μία μνήμη PROM (DM74S288A), η οποία διευθυνσιοδοτείται από τη θύρα P_2 (2P3, 2P4, 2P5, 2P6, 2P7) και περιέχει 32 αλφαριθμητικούς χαρακτήρες.

Ανάπτυξη λογισμικού

Επειδή στα πλαίσια της εργασίας αυτής δεν είναι δυνατή η παρουσίαση όλων των υποπρογραμμάτων, στη συνέχεια αναλύουμε μόνο το υποπρόγραμμα μέτρησης των παραμέτρων γωνιακής επιτάχυνσης.

Αρχίζει στη διεύθυνση 153_{II}, με το πλήκτρο «X» που καλεί την υπορουτίνα «διακοπής», διαβάζεται ο χρόνος t και συγκρίνεται με τον χρόνο t_1 (ο οποίος αντιστοιχεί στο σημείο 1 της χαρακτηριστικής καμπύλης της ενδεικτικής γωνιακής επιτάχυνσης σε συνάρτηση των στροφών $\epsilon_i = f(n)$) και στη συνέχεια καταχωρείται στην πρώτη θέση του πίνακα υπολογισθέντων χρόνων της μνήμης προγράμματος. Στην περίπτωση, που διαβαστεί ο πρώτος χρόνος t για τον οποίο ισχύει $t \leq t_1$, τότε καταχωρούνται και οι τέσσερις διαδοχικοί χρόνοι στον πίνακα της μνήμης δεδομένων και ταυτόχρονα καταχωρείται ο «δείκτης» του κυλίνδρου ενεργού χρόνου, τη στιγμή ανάγνωσης του χρόνου t (καταχωρητής R3). Μετά την εγγραφή του χρόνου t , με τον ίδιο τρόπο καταχωρούνται οι χρόνοι και των άλλων δύο σημείων της $\epsilon_i = f(n)$. Η οργάνωση των καταχωρηθέντων χρόνων στη μνήμη προγράμματος (που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένα σημεία της $\epsilon_i = f(n)$) παρουσιάζεται στον πίνακα I.

Πίνακας I: Καταχωρηθέντες χρόνοι στη μνήμη προγράμματος.

Διεύθυνση	Παριεχόμενο	Σημείωση
3E4	29	Σημείο 1
3E5	66	Χρόνος $t_1 = 7,6629$ ms
3E6	07	αντιστοιχεί σε $n = 45\%$ n_i
3E7	00	
3E8	77	Σημείο 2
3E9	59	Χρόνος $t_2 = 4,5977$ ms
3EA	04	αντιστοιχεί σε $n = 75\%$ n_i
3EB	00	
3EC	14	Σημείο 3
3ED	83	Χρόνος $t_3 = 3,8314$ ms
3EE	03	αντιστοιχεί σε $n = 90\%$ n_i
3EF	00	

n_i – οι ονομαστικές στροφές του κινητήρα.

2.2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Προϋπόθεση για να αρχίσει η διαδικασία μέτρησης είναι η εγκατάσταση του διαγνωστικού συστήματος (DIAS) επί του γεωργικού ελκυστήρα. Τα κυριότερα βήματα της διαδικασίας είναι τα ακόλουθα:

- Μετακινούμε το διακόπτη (Δ) στη θέση (Κ) για να αρχίσει η βαθμονόμηση της γωνίας (α).
- Επιλέγουμε τις 700 min^{-1} με τη βοήθεια του φορητού οργάνου.
- Επαναφέρουμε το διακόπτη (Δ) στη θέση μέτρησης (Μ).
- Μετακινούμε απότομα το χειρομοχλό τροφοδοσίας στη μέγιστη θέση, επιταχύνοντας τον κινητήρα (χωρίς φορτίο).
- Επαναφέρουμε απότομα το χειρομοχλό τροφοδοσίας στην αρχική του θέση, επιβραδύνοντας τον κινητήρα.

Κατά τη διάρκεια τόσο της επιτάχυνσης όσο και της επιβράδυνσης, όλες οι μετρήσεις εγγράφονται στη μνήμη του διαγνωστικού συστήματος. Με τη βοήθεια του φορητού οργάνου μπορούμε να ανακαλέσουμε στην οθόνη: τον αριθμό στροφών τη στιγμή της μέτρησης, την τιμή της γωνιακής επιτάχυνσης, την τιμή της γωνιακής επιβράδυνσης και μας διευκρινίζεται εάν πρόκειται για τιμές γωνιακής επιτάχυνσης ή επιβράδυνσης.

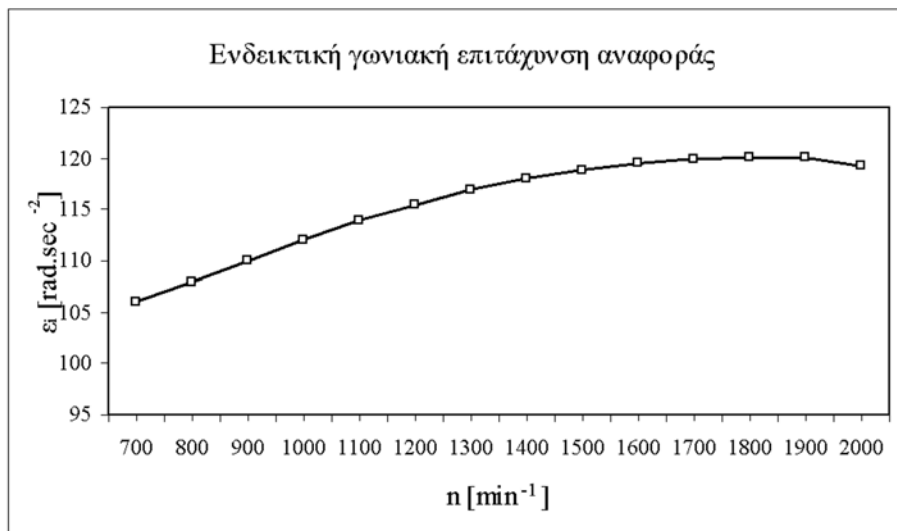
Ιδιαίτερα χρονοβόρα είναι η διαδικασία επεξεργασίας των τιμών μέτρησης. Για το λόγο αυτό, προβλέπεται στο μέλλον να υπολογίζεται αυτόματα ο «μέσος όρος» για κάθε κύκλο μετρήσεων. Επίσης οι τιμές είναι δυνατόν να αποθηκευτούν σε κάποιο προσωπικό υπολογιστή, όπου το λογισμικό του έχει τη δυνατότητα να αναπαραστήσει τα δεδομένα εν είδη γραφημάτων.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Για την πειραματική επαλήθευση του διαγνωστικού συστήματος (DIAS) χρησιμοποιήθηκαν δύο γεωργικοί ελκυστήρες. Πρόκειται για ελκυστήρες του ίδιου εργοστασίου κατασκευής και του ίδιου τύπου, που φέρουν τετρακύλινδρο κινητήρα με ισχύ στις ονομαστικές στροφές, 42 KW (ISO 1585). Ο πρώτος ελκυστήρας ήταν καινούργιος και είχε στο ενεργητικό του μόλις 340 ώρες λειτουργίας. Κρίθηκε σκόπιμο πριν τη δοκιμή να γίνουν οι προβλεπόμενες εργασίες συντήρησης από τον κατασκευαστή (όπως ρύθμιση των βαλβίδων). Ο δεύτερος ήταν ένας ελκυστήρας 8 ετών, σε σχετικά καλή κατάσταση, που είχε πραγματοποιήσει συνολικά 5600 ώρες λειτουργίας.

Στο σχήμα 3 παρουσιάζεται η μεταβολή της ενδεικτικής γωνιακής επιτάχυνσης (ϵ_i) σε συνάρτηση των στροφών (n), για τον πρώτο γεωργικό ελκυστήρα, όπως αυτή μετρήθηκε με τη βοήθεια του διαγνωστικού συστήματος (DIAS). Επειδή η τεχνική κατάσταση του ελκυστήρα αυτού ήταν άριστη, η συγκεκριμένη καμπύλη χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια ως «καμπύλη αναφοράς».

Για να διαπιστωθεί η ακρίβεια του αναπτυχθέντος συστήματος (αισθητήρες + λογισμικό), έγινε έλεγχος των μετρήσεών του, με τη βοήθεια ανεξάρτητης βαθμονομημένης διάταξης. Πρόκειται για τη συσκευή TB 109 του Ελβετικού οίκου Syntec Instruments Ltd. Η συγκεκριμένη συσκευή επιλέχτηκε κυρίως για δύο λόγους: αφενός επειδή βασίζεται σε μία παρόμοια μέθοδο μέτρησης της γωνιακής επιτάχυνσης και αφετέρου για την πολύ καλή διακριτική ικανότητα, που παρουσιάζει. Στο σχήμα 4 γίνεται σύγκριση μεταξύ των δύο συσκευών. Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε οι δύο καμπύλες της ενδεικτικής γωνιακής επιτάχυνσης δεν εμφανίζουν σημαντικές αποκλίσεις. Μία πολύ μικρή απόκλιση παρατηρείται στις χαμηλές στροφές, ενώ μετά τις 1350 min⁻¹ οι δύο καμπύλες σχεδόν ταυτίζονται. Επομένως, μπορούμε να δεχτούμε την αξιοπιστία των μετρήσεων, που λαμβάνονται με τη βοήθεια της συσκευής (DIAS).



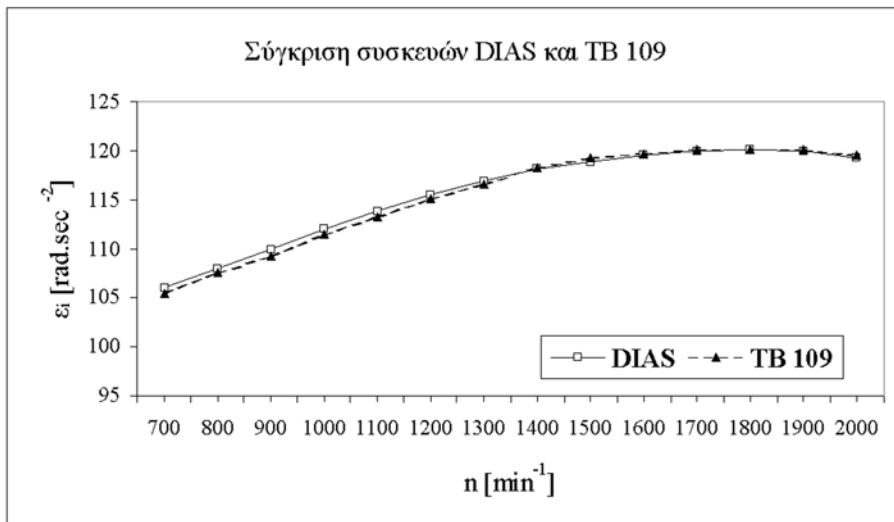
Σχήμα 3: Η καμπύλη της «ενδεικτικής γωνιακής επιτάχυνσης αναφοράς (ϵ_i)» σε συνάρτηση των στροφών (n), για τον πρώτο γεωργικό ελκυστήρα, όπως αυτή μετρήθηκε με τη βοήθεια του διαγνωστικού συστήματος (DIAS).

Αρχικά προσομοιώθηκαν στον κινητήρα του πρώτου γεωργικού ελκυστήρα δύο βασικές καταστάσεις βλάβης: α) μεταβολή της πίεσης εγχύσεως και β) μεταβολή της πίεσης στο χώρο καύσης. Η μεταβολή της πίεσης εγχύσεως έγινε με τη βοήθεια ειδικού εργαλείου, με το οποίο ρυθμίστηκε η τάση του ελατηρίου στον εγχυτήρα (μπέκ). Η μεταβολή της πίεσης στο χώρο καύσης έγινε ρυθμιζοντας αργητικά το διάκενο των βαλβίδων εξαγωγής. Η μεταβολή της πίεσης διαπιστώθηκε με ένα συμπιεσόμετρο. Ακολούθως δίδονται τρία διαγράμματα, στα οποία παρουσιάζεται η μεταβολή της ενδεικτικής γωνιακής επιτάχυνσης σε συνάρτηση των στροφών ϵ_i .

= $f(n)$, για τον πρώτο ελκυστήρα στον οποίο προσομοιώθηκαν οι βασικές καταστάσεις βλάβης που αναφέρθηκαν ανωτέρω. Επίσης, για να διαπιστωθούν η ευαισθησία του συστήματος μέτρησης και η αποτελεσματική ανίχνευση των αλλαγών, πραγματοποιήθηκε παραμετρική μελέτη, δηλαδή έγινε μέτρηση των καμπυλών της (ϵ_i) για διαφορετικές αλλαγές της πίεσης εγχύσεως και της πίεσης στο χώρο καύσης.

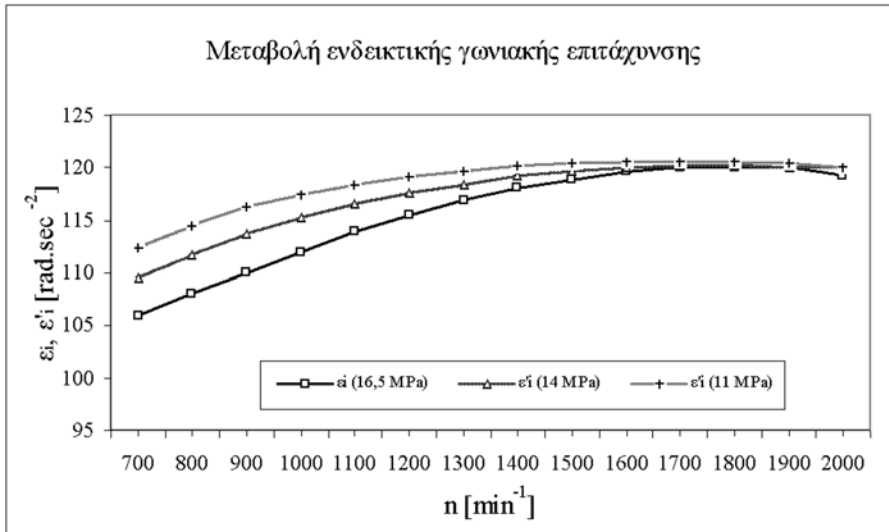
Στο σχήμα 5 παρουσιάζεται η μεταβολή της ενδεικτικής γωνιακής επιτάχυνσης (ϵ_i') σε συνάρτηση των στροφών (n), όταν στον πρώτο ελκυστήρα μειώθηκε η πίεση εγχύσεως των εγχυτήρων κατά 2,5 MPa και στη συνέχεια κατά 5,5 MPa έναντι της αρχικής πίεσης των 16,5 MPa. Παράλληλα γίνεται σύγκριση των καμπυλών αυτών με την καμπύλη της «γωνιακής επιτάχυνσης αναφοράς (ϵ_i)». Από τη σύγκριση αυτή προκύπτει ότι στις χαμηλές στροφές του κινητήρα, η ενδεικτική γωνιακή επιτάχυνση αυξάνει σε σχέση με την αντίστοιχη μείωση της πίεσης εγχύσεως. Αντιθέτως, στις υψηλές στροφές, η διαφορά αυτή μειώνεται σημαντικά και στο 90% των ονομαστικών στροφών του κινητήρα κυμαίνεται στο 0,5%.

Στο σχήμα 6 παρουσιάζεται η μεταβολή της ενδεικτικής γωνιακής επιτάχυνσης (ϵ_i') σε συνάρτηση των στροφών (n), όταν στον πρώτο ελκυστήρα αυξήθηκε η πίεση εγχύσεως των εγχυτήρων κατά 2,5 MPa και στη συνέχεια κατά 5,5 MPa έναντι της κανονικής πίεσης των 16,5 MPa. Παράλληλα γίνεται σύγκριση των καμπυλών αυτών με την καμπύλη της «γωνιακής επιτάχυνσης αναφοράς (ϵ_i)». Από τη σύγκριση αυτή προκύπτει ότι όσο αυξάνει η πίεση εγχύσεως, τόσο μειώνεται η ενδεικτική γωνιακή επιτάχυνση. Η μείωση αυτή εμφανίζεται σταθερή σ' όλο το εύρος των στροφών του κινητήρα. Για παράδειγμα στο 45% και 90% των ονομαστικών στροφών η ενδεικτική γωνιακή επιτάχυνση είναι μειωμένη κατά 3,2% και 3,4% αντιστοίχως, όταν η πίεση εγχύσεως ρυθμίστηκε στα 22 MPa.

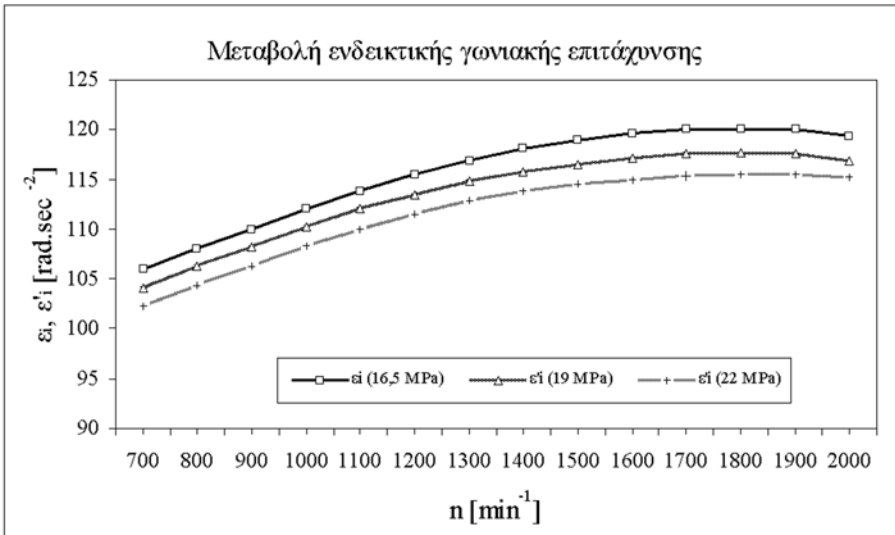


Σχήμα 4: Σύγκριση μεταξύ των καμπυλών ενδεικτικής γωνιακής επιτάχυνσης, όπως αυτές μετρήθηκαν με τις συσκευές DIAS και TB 109.

Στο σχήμα 7 παρουσιάζεται η μεταβολή της ενδεικτικής γωνιακής επιτάχυνσης (ϵ_i') σε συνάρτηση των στροφών (n), όταν στον πρώτο ελκυστήρα, μειώθηκε η πίεση των χώρων καύσης από την αρχική τιμή των 3,5 MPa στα 3 MPa και στη συνέχεια στα 2,5 MPa. Παράλληλα γίνεται σύγκριση με την καμπύλη της «γωνιακής επιτάχυνσης αναφοράς (ϵ_i)». Από τη σύγκριση προκύπτει μία μικρή διαφοροποίηση μεταξύ των καμπυλών κυρίως στις χαμηλές στροφές του κινητήρα, ενώ μετά τις 1550 min^{-1} η μεταβολή των καμπυλών της (ϵ_i') ακολουθεί ταυτόσημη πορεία με αυτή της ενδεικτικής γωνιακής επιτάχυνσης αναφοράς (ϵ_i).

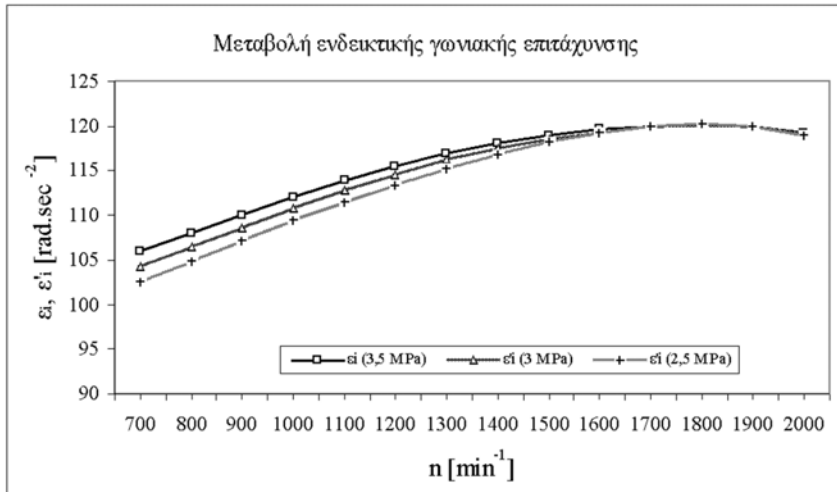


Σχήμα 5: Η μεταβολή της ενδεικτικής γωνιακής επιτάχυνσης (ϵ'_i) σε συνάρτηση των στροφών (n), όταν στον πρώτο ελκυστήρα μειώθηκε η πίεση εγχύσεως των εγχυτήρων κατά 2,5 και 5,5 MPa έναντι της αρχικής πίεσης των 16,5 MPa.



Σχήμα 6: Η μεταβολή της ενδεικτικής γωνιακής επιτάχυνσης (ϵ'_i) σε συνάρτηση των στροφών (n), όταν στον πρώτο ελκυστήρα αυξήθηκε η πίεση εγχύσεως των εγχυτήρων κατά 2,5 και 5,5 MPa έναντι της αρχικής πίεσης των 16,5 MPa.

Το διαγνωστικό σύστημα (DIAS), στη συνέχεια, εγκαταστάθηκε στο δεύτερο γεωργικό ελκυστήρα. Οι μετρήσεις τόσο στον πρώτο όσο και στο δεύτερο γεωργικό ελκυστήρα έγιναν κάτω από τις ίδιες συνθήκες και για το λόγο αυτό είναι δυνατή μια σύγκριση μεταξύ τους, η οποία παρουσιάζεται στο επόμενο γράφημα του σχήματος 8. Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων γίνεται φανερό ότι ο δεύτερος από τους ελκυστήρες παρουσιάζει υψηλότερη ενδεικτική γωνιακή επιτάχυνση (ϵ'_i) κατά 12,8%, 13,9% και 14,6% στο 45%, 75%



Σχήμα 7: Η μεταβολή της ενδεικτικής γωνιακής επιτάχυνσης (ϵ'_3) σε συνάρτηση των στροφών (n), όταν στον πρώτο ελκυστήρα μειώθηκε η πίεση των χώρων καύσης από την αρχική τιμή των 3,5 MPa στα 3 MPa και στη συνέχεια στα 2,5 MPa.

και 90% των ονομαστικών στροφών αντιστοίχως. Επίσης εμφανίζει μεγαλύτερη ωφέλιμη γωνιακή επιτάχυνση (ϵ'_3) κατά 11,5%, 13,4% και 13,9% στο 45%, 75% και 90% των ονομαστικών στροφών αντιστοίχως. Τέλος, λαμβάνει μικρότερες τιμές γωνιακής επιβράδυνσης (ϵ''_m), έναντι του πρώτου ελκυστήρα, κατά 17,3%, 18,4% και 17,6% στο 45%, 75% και 90% των ονομαστικών στροφών αντιστοίχως. Η υψηλότερη ενδεικτική γωνιακή επιτάχυνση του δεύτερου ελκυστήρα δικαιολογείται από την αυξημένη τροφοδοσία καυσίμου λόγω κακής ρύθμισης της αντλίας πετρελαίου, γεγονός που επαληθεύθηκε με μέτρηση της αυξημένης κατανάλωσης καυσίμου αλλά και της αυξημένης εκπομπής καυσαερίων.

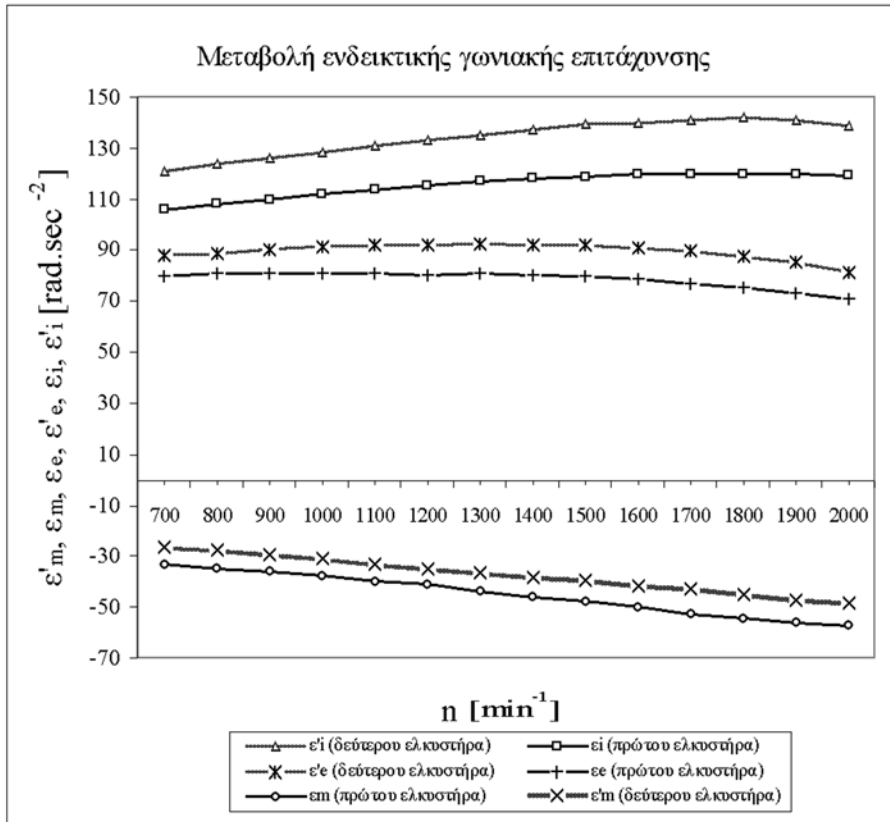
Οι πληροφορίες που συλλέγουμε με το διαγνωστικό σύστημα DIAS είναι ιδιαίτερα χρήσιμες. Μπορούμε να διαπιστώσουμε την τεχνική κατάσταση, στην οποία βρίσκεται ένας κινητήρας, να αξιολογήσουμε την όποια βλάβη και να κρίνουμε κατά πόσο αυτή θα επηρεάσει την αποδοτικότητα και την οικονομικότητα του γεωργικού ελκυστήρα, εάν συνεχίσουμε να τον χρησιμοποιούμε για αρκετό χρονικό διάστημα ακόμη (όπως για παράδειγμα το πολύ φτωχό μίγμα αέρα - καυσίμου). Επίσης μπορούμε να εκμεταλλευτούμε τις δυνατότητές του και να μειώσουμε στην πράξη το κόστος συντήρησης και επισκευών του κινητήρα.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται το σύστημα «διάγνωσης επί του οχήματος» DIAS, το οποίο αναπτύχθηκε με σκοπό να δίνει χρήσιμες πληροφορίες για την τεχνική κατάσταση του κινητήρα των γεωργικών ελκυστήρων. Το σύστημα βασίζεται στις μετρήσεις της γωνιακής επιτάχυνσης και της γωνιακής επιβράδυνσης, οι οποίες λαμβάνονται με μη επεμβατικό τρόπο, δηλαδή χωρίς να απαιτείται διακοπή της λειτουργίας του γεωργικού ελκυστήρα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αυτόνομο σύστημα ή ως τμήμα γενικότερης μεθοδολογίας.

Το σύστημα DIAS προορίζεται κυρίως για τη διάγνωση δυσλειτουργιών που σχετίζονται με προβληματική τροφοδοσία καυσίμου (φτωχό μίγμα) και κακή στεγανότητα του χώρου καύσης. Από την πειραματική διαδικασία προέκυψε ότι είναι αξιόπιστο και οι μετρήσεις εκτελούνται με ταχύτητα και με ακρίβεια.

Επειδή υπάρχει έλλειψη παρόμοιων συστημάτων, είναι προφανές ότι παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον. Η εγκατάστασή του στους γεωργικούς ελκυστήρες θα βοηθούσε στη συμμόρφωση των μηχανημάτων αυτών με τις αυστηρές προδιαγραφές που αφορούν τα αποκαλούμενα «οχήματα μηδενικής εκπομπής καυσαερίων» (OBD-II regulation). Επίσης σε μελλοντική έκδοσή του θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μεγαλύτερη κλίμακα ενσωμάτωσης, συμπεριλαμβάνοντας περισσότερα τμήματα του υλικού σε μία μονάδα και με τον τρόπο αυτό μπορεί να μειωθεί σημαντικά το κόστος.



Σχήμα 8: Η μεταβολή της ενδεικτικής γωνιακής επιτάχυνσης (ϵ_i , ϵ'_i), της ωφέλιμης γωνιακής επιτάχυνσης (ϵ_e , ϵ'_e) και της γωνιακής επιβράδυνσης (ϵ_m , ϵ'_m) σε συνάρτηση των στροφών (n), για τον πρώτο και το δεύτερο γεωργικό ελκυστήρα.

DIAS: An on-board diagnosis system for diesel engines

I. G. Gravalos¹, I. K. Raptis¹

ABSTRACT

The diesel engine is the basic power supply of the agricultural tractors. Its technical condition influences directly the efficiency and the economy of the machinery. During the last years, manufacturers started using on-board systems to control engine functions and diagnose engine problems. These systems will play an increasingly important role in the near future.

In this paper we present the development of an on-board diagnosis system for diesel engines, which is based on measurements of the angular acceleration. For the necessities of the experimental procedure two agricultural tractors with different oldness have been used. The first tractor was new and its indicated angular acceleration was used as reference curve. Then, in order to ascertain the effectiveness of the system, we have simulated different failures in the diesel engine of the first tractor and have compared these results with the

¹ Technological Educational Institute of Larissa, Faculty of Agricultural Technology, Department of Agricultural Machinery & Irrigation, 41110, Larissa, Greece.

reference curve. We have also compared the results of the measurements in-between the two tractors, concluding that the indicated angular acceleration of the second tractor was higher than the first tractor. The higher indicated angular acceleration was due to the increasingly fuel consumption because of the incorreced regulation of the fuel pump. The results from the experimental verification proved the effectiveness of the diagnosis system DIAS.

Key words: Agricultural tractor, diesel engine, on-board diagnosis system, angular acceleration.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- California's OBD-II regulation, 1993. Section 1968.1, title 13, California code of regulation Resolution 93-40.
- Guzzella, L., Amstutz, A., 1998. Control of diesel engines. IEEE Control Systems pp. 53-71.
- Heywood, J. B., 1992. Internal Combustion Engine Fundamentals. Mc Graw-Hill.
- ISO 789/1: Agricultural tractors – Test procedures, Part: Power tests.
- Nishizaki, K., Ohshita, Y., Yagi, S., Ohtake, N., Sugiura, Y., Takahashi, H., 1987. Studies on the testing system for tractor performance. Journal of the Japanese Society of Agricultural machinery, vol. 49, no 4: 381-389.
- Nyberg, M., Stutte, T., Wilhelmi, V., 2001. Model based diagnosis of the air path of an automotive diesel engine. IFAC Automotive Workshop, Karlsruhe, Germany.
- Palmer, J., 1985. Automatic collection of data on practical use of field machines. Agric. Engr. 40: 42-49.
- Sachenbacher, M., Struss, P., Weber, R., 2000. Advances in Design and Implementation of OBD Functions for Diesel Injection Systems based on a Qualitative Approach to Diagnosis. SAE 2000 World Congress, Detroit, USA, p.23-32.
- Τσατσαρέλης, Κ., 1997. Γεωργικοί Ελκυστήρες. Εκδόσεις Γιαχούδη – Γιαπούλη. Θεσσαλονίκη.
- Zheng, D., Luyan, F., 1985. Microcomputerised dynamic strain indicator. Academic Conference on Application of Microcomputer and Microprocessor in Agricultural Machinery. Chinese Society of Agricultural Machinery, Tangshan.
- Zheng, D., 1988. Development of portable instruments for data acquisition and real time processing. Agric Engr: 53-57.