
Θέμα: Rany - Motor: ένας νέος κινητήρας εσωτερικής καύσης.

Εισηγητής: **Πρ. Μπεκιάρογλου**, καθηγητής ΑΠΘ.

Εισαγωγή

Ένας καινούριος κινητήρας εσωτερικής καύσης βρίσκεται σε εξέλιξη στο Εργαστήριο Φυσικής Χημείας της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Εκατό περίπου χρόνια μετά την εμφάνισή του, ο συμβατικός κινητήρας εσωτερικής καύσης, στην Otto ή Diesel μορφή του, κυριαρχεί στη μεγαλύτερη περιοχή των μηχανών παραγωγής έργου, χωρίς κατά βάθος να έχει υποστεί καμιά σημαντική βελτίωση στην αρχική του σύλληψη. Ακόμα και σήμερα το έμβολο κινείται από το μηχανισμό του στροφάλου και η εισαγωγή και εξαγωγή των αερίων ρυθμίζεται από βαλβίδες. Αυτό οφείλεται στο ότι, τόσο ο μηχανισμός του στροφάλου όσο και η ρύθμιση με τις βαλβίδες, επιτελούν με συνέπεια το έργο τους, χωρίς να αφήνουν να υποπτευθεί καν κανείς ότι η παρουσία τους στην πραγματικότητα επιβάλλει τα όρια των δυνατοτήτων του συμβατικού κινητήρα εσωτερικής καύσης.

Φαίνεται όμως ότι πλησιάζει η εποχή που ο εμβολοφόρος κινητήρας δεν θα μπορεί πια να ανταποκριθεί στις συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις, ιδίως σε ό,τι αφορά την ποιότητα των καυσαερίων του. Προς το παρόν, ο καταλυτικός καθαρισμός των καυσαερίων και η ηλεκτρονική ρύθμιση των λειτουργιών του κινητήρα φαίνεται να προσφέρουν κάποια λύση, που αυτή τη στιγμή μόλις επαρκεί. Στο μέλλον όμως οι ριζικές αλλαγές στη βασική του σύλληψη θα είναι αναπόφευκτες.

Είναι αναγκαίος ένας νέος μηχανισμός για την κίνηση του εμβόλου;

Για να μπορέσει κανείς κατ' αρχήν να αντιληφθεί ότι το ερώτημα αυτό είναι δικαιολογημένο, πρέπει να συ-

νειδητοποιήσει πώς ένας κινητήρας εσωτερικής καύσης συνδυάζει δύο εντελώς διαφορετικές λειτουργίες. Είναι αφ' ενός ένας χημικός αντιδραστήρας στον οποίο λαμβάνει χώρα η αντίδραση:

I. Καύσιμο + αέρας → καυσαέρια + θερμότητα

και αφ' ετέρου μία θερμική μηχανή, στην οποία επιτελείται η μεταβολή:

II. Θερμότητα → έργο

Εάν εμφανίζονταν οι δύο αυτές λειτουργίες ξεχωριστά, υπάρχουν για την κάθε μία ιδιαίτερες επιστημονικές περιοχές αρμόδιες να καθοδηγήσουν το μηχανικό να διαμορφώσει βέλτιστα την αντίστοιχη τεχνική διάταξη.

Η γνώση της Φυσικής Χημείας και της Χημικής Κινητικής επιτρέπει για τη λειτουργία I να κατασκευάσει κανείς αντιδραστήρες (π.χ. εγκαταστάσεις καύσης), των οποίων η απόδοση πλησιάζει πολύ κοντά στο θεωρητικώς επιτρεπόμενο από την κινητική των αντιδράσεων. Η γνώση της Μηχανικής και της Θερμοδυναμικής επιτρέπει για τη λειτουργία II να κατασκευάσει κανείς μηχανές (π.χ. ατμοστροβίλους), των οποίων ο βαθμός απόδοσης πλησιάζει πολύ κοντά στο θεωρητικώς επιτρεπόμενο από τη Θερμοδυναμική.

Πού οφείλεται το ότι η κατάσταση στον κινητήρα εσωτερικής καύσης βρίσκεται και για τις δύο λειτουργίες τόσο μακριά από τα όρια αυτά;

Η χρονική εξάρτηση της αλλαγής του όγκου στο χώρο εργασίας

Ένα βασικό χαρακτηριστικό του κινητήρα εσωτερικής καύσης είναι η περιοδική αλλαγή του όγκου στο χώρο εργασίας, η οποία προκαλείται από την παλινδρομική κίνηση του εμβόλου. Αυτή η αλλαγή του όγκου,

ενώ είναι απαραίτητη για τη λειτουργία II του κινητήρα (μετατροπή θερμότητας σε έργο), είναι απεναντίας ενοχλητική για τη λειτουργία I (χημική αντίδραση). Η αντίδραση αρχίζει από το σημείο έναυσης, έως ότου διασχίσει όλο το καύσιμο αέριο μείγμα. Το πρόβλημα όμως είναι ότι ταυτόχρονα μετακινείται και ο πυθμένας του χώρου αντίδρασης (το έμβολο), και από κάποια στιγμή και έπειτα αρχίζει να φεύγει μπροστά από το μέτωπο της αντίδρασης που τον ακολουθεί.

Με τον τρόπο αυτό αλλάζουν όχι μόνο η μορφή και ο όγκος του χώρου αντίδρασης, αλλά ταυτόχρονα η πίεση και η θερμοκρασία του αντιδρώντος μείγματος και έτσι επηρεάζεται η ταχύτητα της αντίδρασης. Αυτό όμως έχει αποφασιστικές συνέπειες για την πορεία της αντίδρασης. Η απόδοση της χημικής αντίδρασης και η σύσταση των καυσαερίων επηρεάζονται με τον τρόπο αυτό ριζικά. Ίσως αυτό να μην είναι αμέσως κατανοητό για το «μη φυσικοχημικό», αρκεί όμως να σκεφθεί κανείς ότι σε ακραίες περιπτώσεις αυτή η «φυγή» του εμβόλου μπορεί να οδηγήσει σε πλήρη διακοπή της αντίδρασης, εάν η φλόγα δεν μπορέσει καν να το προλάβει. Εάν το έμβολο κινείται αρκετά γρήγορα και η φλόγα σιγά, υπάρχουν, όπως είναι γνωστό, περιπτώσεις (π.χ. υψηλός αριθμός στροφών, πτωχό μείγμα) στις οποίες η αντίδραση διακόπτεται, προτού αντιδράσει όλο το καύσιμο μείγμα που βρίσκεται στο χώρο της αντίδρασης.

Απλουστεύοντας, θα μπορούσε κανείς να φανταστεί ότι θα ήταν επιθυμητό να αφήσει το έμβολο ακίνητο, όσο διαρκεί η αντίδραση, για να το κινήσει στη συνέχεια γρήγορα για την ενεργειακή μετατροπή. Μια πιο προσεκτική παρατήρηση δίνει μια κάπως διαφοροποιημένη εικόνα, η οποία όμως δεν χρειάζεται να αναλυθεί εδώ λεπτομερώς. Σημαντικό είναι να αναγνωρίσει κανείς ότι η Χημική Κινητική και η Θερμοδυναμική συμφωνούν πως:

Η χρονική εξάρτηση της αλλαγής του όγκου στο χώρο εργασίας επηρεάζει την πίεση και τη θερμοκρασία, επομένως την ταχύτητα της αντίδρασης και το ρυθμό μετατροπής της ενεργείας και ως εκ τούτου καθορίζει, τόσο την αποτελεσματικότητα της λειτουργίας I όσο και το βαθμό απόδοσης στη λειτουργία II του κινητήρα.

Αν ήταν κανείς σε θέση να προσαρμόσει την αλλαγή του όγκου στις απαιτήσεις της Χημικής Κινητικής και της Θερμοδυναμικής, θα είχε καθαρότερα καυσαέρια και υψηλότερους βαθμούς απόδοσης.

Δυστυχώς, όμως, αυτό δεν μπορεί να γίνει. Ο χρονικός νόμος για την αλλαγή του όγκου στο συμβατικό κινητήρα επιβάλλεται από το μηχανισμό του στρόφαλου και δεν μπορεί να αλλάξει.

Είναι δυνατός ένας νέος μηχανισμός για την κίνηση του εμβόλου;

Συνήθως, όταν σκέφτεται κανείς κάποια περιοδική κίνηση, φαντάζεται μία αρμονική κίνηση ή ένα χρονικό νόμο της μορφής:

$$y = a \cdot \sin(\omega t) \quad (1)$$

Μπορεί όμως κανείς να φανταστεί και άλλες περιοδικές κινήσεις που να βασίζονται σε διαφορετικές μαθηματικές σχέσεις. Για παράδειγμα, από τις άπειρες τέτοιες δυνατότητες, το διάγραμμα 1 δείχνει, εκτός από τη συνάρτηση (1) (γαλάζια καμπύλη), την κόκκινη καμπύλη που έχει δημιουργηθεί από μία ακολουθία κλάδων της συνάρτησης:

$$y = b \cdot t^2 \quad (2)$$

καθώς και την πράσινη καμπύλη, η οποία βασίζεται στη συνάρτηση:

$$y = c \cdot t^3 \quad (3)$$

Όλοι οι αριθμοί αναφέρονται σε ένα έμβολο που παλινδρομεί 3000 φορές το λεπτό σε μία διαδρομή 10 cm. Αμέσως βλέπει κανείς ότι μολονότι η περίοδος (και η συχνότητα) είναι η ίδια σε όλες τις καμπύλες, η πραγματική εξάρτηση από το χρόνο διαφέρει κατά πολύ. Έτσι, για παράδειγμα, στα σημεία αλλαγής πορείας η γαλάζια καμπύλη είναι σημαντικά «αιχμηρότερη» από ό,τι η πράσινη. Η «μεγέθυνση» στο διάγραμμα 2 δείχνει με λεπτομέρεια την πορεία των καμπυλών στην περιοχή αυτή.

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν προηγουμένα, θα πρέπει κανείς να ομολογήσει πως η γαλάζια καμπύλη (η οποία δυστυχώς αντιστοιχεί στην κίνηση του εμβόλου στο συμβατικό κινητήρα) είναι από τις τρεις η λιγότερο κατάλληλη, για να εκπληρώσει τις λειτουργίες του κινητήρα. Αφήνει λίγο χρόνο στη διάθεση της αντίδρασης (ο όγκος αλλάζει πολύ γοργά στα σημεία αλλαγής πορείας) και η ταχύτητα της εκτόνωσης (η κλίση της καμπύλης στο μέσο της διαδρομής) είναι η μικρότερη και γι' αυτό η πιο απομακρυσμένη από την αδιαβατική. Η πράσινη καμπύλη μοιάζει να είναι η καλύτερη, και θα μπορούσε κανείς να φανταστεί και άλλες συναρτήσεις, οι οποίες στα σημεία αναστροφής να είναι ακόμα πιο πεπλατυσμένες και στη διαδρομή να εμφανίζουν ακόμα μεγαλύτερη ταχύτητα.

Το πρόβλημα της επιτάχυνσης

Μία περιοδική παλινδρομική κίνηση αποτελείται από μία σειρά εναλλασσόμενες φάσεις επιτάχυνσης και επιβράδυνσης. Εάν σκεφθεί κανείς την τεχνική πραγματοποίηση μίας τέτοιας κίνησης, θα πρέπει να αντιληφθεί ότι για τις τιμές της επιτάχυνσης υπάρχουν όρια που καθορίζονται από την αντοχή των υλικών. Αύξηση των διαστάσεων δεν ωφελεί, γιατί έτσι μεγαλώνει η μάζα των κινουμένων μερών και στη συνέχεια αυξάνονται οι δυνάμεις που απαιτούνται για την επιτάχυνσή τους.

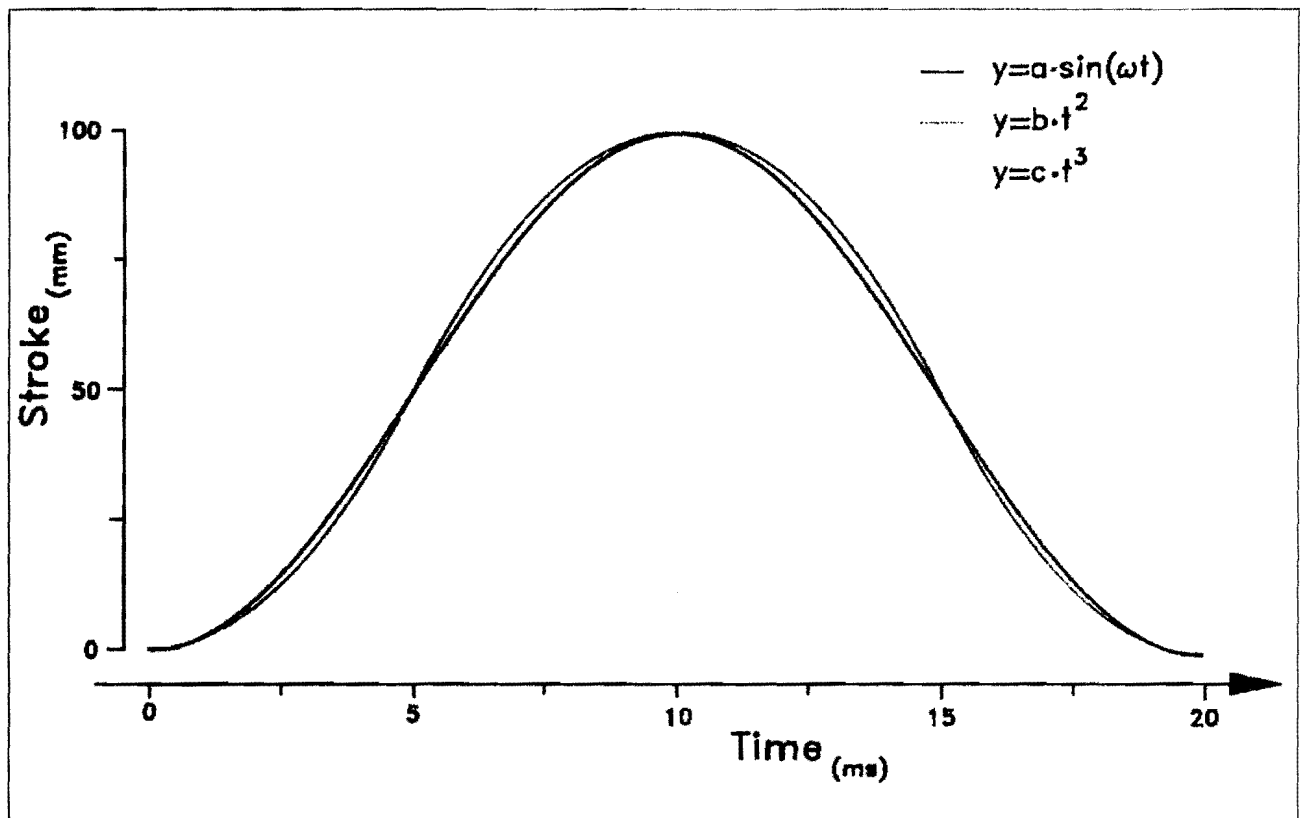
Η επιτάχυνση για τις κινήσεις του διαγράμματος 1 φθάνει τις ακόλουθες τιμές:

Για τη συνάρτηση (1 sinus) 4.93km/s²

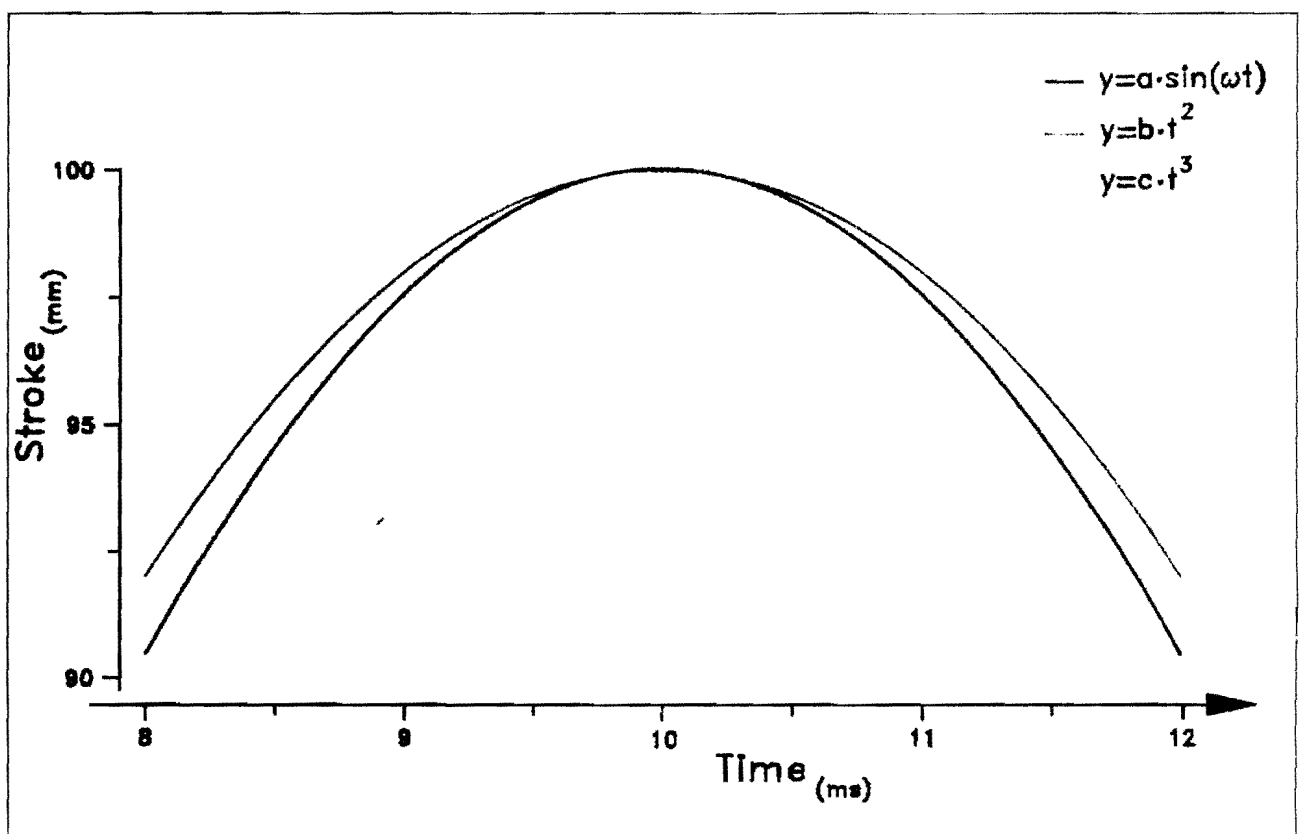
Για τη συνάρτηση (2 t²) 4 km/s²

Για τη συνάρτηση 3 (t³) 12 km/s²

Θα πρέπει τώρα να ομολογήσουμε ότι για την πραγματοποίηση της συνάρτησης (3) εμφανίζονται μεγάλες επιφυλάξεις. Έναντι της συνάρτησης ημιτόνου α-



Εικόνα 1.



Εικόνα 2.

παιτεί μία επιτάχυνση αυξημένη κατά 243%!

Τώρα καταλαβαίνει κανείς πόσο ενδιαφέρων γίνεται ο κινητικός νόμος (2). Η βελτίωση έναντι της συνάρτησης ημιτόνου δεν είναι ίσως τόσο μεγάλη, υπάρχει όμως οπωσδήποτε, και – πράγμα που είναι σημαντικότερο – η επιτάχυνση που χρειάζεται για αυτό είναι μικρότερη απ' ό,τι για τη συνάρτηση ημιτόνου· επιπλέον δε δίνει και μεγαλύτερη ταχύτητα στο μέσον της διαδρομής. Η συνάρτηση t^2 επιτυγχάνει μακρότερη παραμονή στο σημείο αναστροφής και κατά 30% μεγαλύτερη ταχύτητα με επιτάχυνση μικρότερη κατά 20%.

Αυτό όμως είναι πολύ σημαντικό. Αν υποθεθεί ότι υπήρχε ένας μηχανισμός που να πραγματοποιεί την κίνηση t^2 , δεν θα χρειαζόταν να έχει ένα πολλαπλάσιο της αντοχής (όπως στην περίπτωση της συναρτήσεως t^3), αλλά λιγότερο απ' ό,τι στη συνάρτηση ημιτόνου. Τι δυνατότητες θα υπήρχαν όμως αν ο υποθετικός αυτός μηχανισμός είχε την ίδια αντοχή, όπως ο μηχανισμός της συνάρτησης ημιτόνου (δηλαδή ο στρόφαλος);

Τότε η κατάσταση είναι πολλαπλασιώς καλύτερη. Εάν το έμβολο στη συνάρτηση t^2 μπορεί να επιταχυνθεί με 5 km/s², τότε για την κίνησή του από το ένα νεκρό σημείο στο άλλο δεν χρειάζεται πια 10 ms, αλλά λιγότερο από 9 ms. Και για ολόκληρη την περίοδο χρειάζεται λιγότερο από 18 ms έναντι των 20 ms που έχει στη διάθεσή του. Αυτό σημαίνει ότι το έμβολο, όταν φθάσει στο νεκρό σημείο, δεν είναι υποχρεωμένο να ξεκινήσει πάλι αμέσως, αλλά μπορεί να παραμείνει εκεί ακίνητο περισσότερο από ένα ms.

Τα διαγράμματα 5 και 6 παρουσιάζουν αυτή την κατάσταση. Εδώ στα σημεία αναστροφής εμφανίζονται πραγματικές «φάσεις ηρεμίας» του εμβόλου, και εδώ θα ήταν δυνατόν να πραγματοποιηθεί για πρώτη φορά μία «ισόχωρη» (με σταθερό όγκο) καύση. Επιπλέον, η ταχύτητα της εκτόνωσης αυξάνει κατά άλλα 13% σε 22,36 m/s, γεγονός που θα ευνοούσε τη μετατροπή θερμότητας σε έργο.

Όλα αυτά φαίνονται πολύ όμορφα. Μόνο που ο μηχανισμός ο οποίος θα επέτρεπε τέτοιου είδους κινήσεις, θα έπρεπε πρώτα να εφευρεθεί.

Είναι αναγκαίος ένας νέος μηχανισμός για τη ρύθμιση της εισαγωγής και εξαγωγής;

Ο μηχανισμός των βαλβίδων είναι το πολυπλοκότερο, δαπανηρότερο και το πιο ευαίσθητο μέρος του κινητήρα. Αποτελείται από ένα μεγάλο πλήθος ξεχωριστών κομματιών με ιδιόμορφη γεωμετρία και μικρές ανοχές, τα οποία κατασκευάζονται από ακριβά υλικά με χρονοβόρες μεθόδους επεξεργασίας. Δεν είναι, λοιπόν, να απορεί κανείς αν αποτελεί την κυρίως έγνοια του κατασκευαστή (τοποθέτηση του μηχανισμού στον κινητήρα, κόστος) και του χρήστη (ρύθμιση και «τρίψιμο» των βαλβίδων). Δεν χρειάζεται να αναλυθεί εδώ η μακρά σειρά των μειονεκτημάτων της ρύθμισης της εισαγωγής και εξαγωγής με βαλβίδες. Είναι γνωστή σε κάθε μηχανικό και τη βρίσκει κανείς

- εύκολα σε κάθε εγχειρίδιο. Αυτό που αξίζει ιδιαίτερη προσοχή είναι ότι τελευταία αρχίσαμε να αντιλαμβανόμαστε πως ο μηχανισμός των βαλβίδων είναι εν μέρει υπεύθυνος και για την κακή ποιότητα των καυσαερίων.

Η μορφή του χώρου καύσης

Τα φυσικοχημικά φαινόμενα κατά τη διάρκεια της καύσης είναι πολύπλοκα και δεν μπορούν εύκολα να μελετηθούν. Πρόκειται για μια πολύ γρήγορη αλυσιωτή αντίδραση (έκρηξη), η οποία διαδίδεται μέσα στο αντιδρών μείγμα με ασταθείς χημικούς φορείς (ρίζες, άτομα, ιόντα). Η αντίδραση λαμβάνει χώρα σε μικρό χρόνο, υψηλή πίεση και υψηλή θερμοκρασία και επιπλέον αναπαράγεται πολύ δύσκολα (κάθε έκρηξη έχει τη δικιά της ιδιόμορφη εξέλιξη). Για τους λόγους αυτούς είναι προς το παρόν περιορισμένη η δυνατότητά μας να περιγράψουμε με ακρίβεια τη νομοτέλεια της πορείας της αντίδρασης. Δεν είμαστε ακόμα σε θέση να δώσουμε μια ποσοτική περιγραφή της διάδοσης του μετώπου της αντίδρασης. Μπορούμε, όμως ωστόσο, να διατυπώσουμε δύο προγνώσεις με γενική ισχύ:

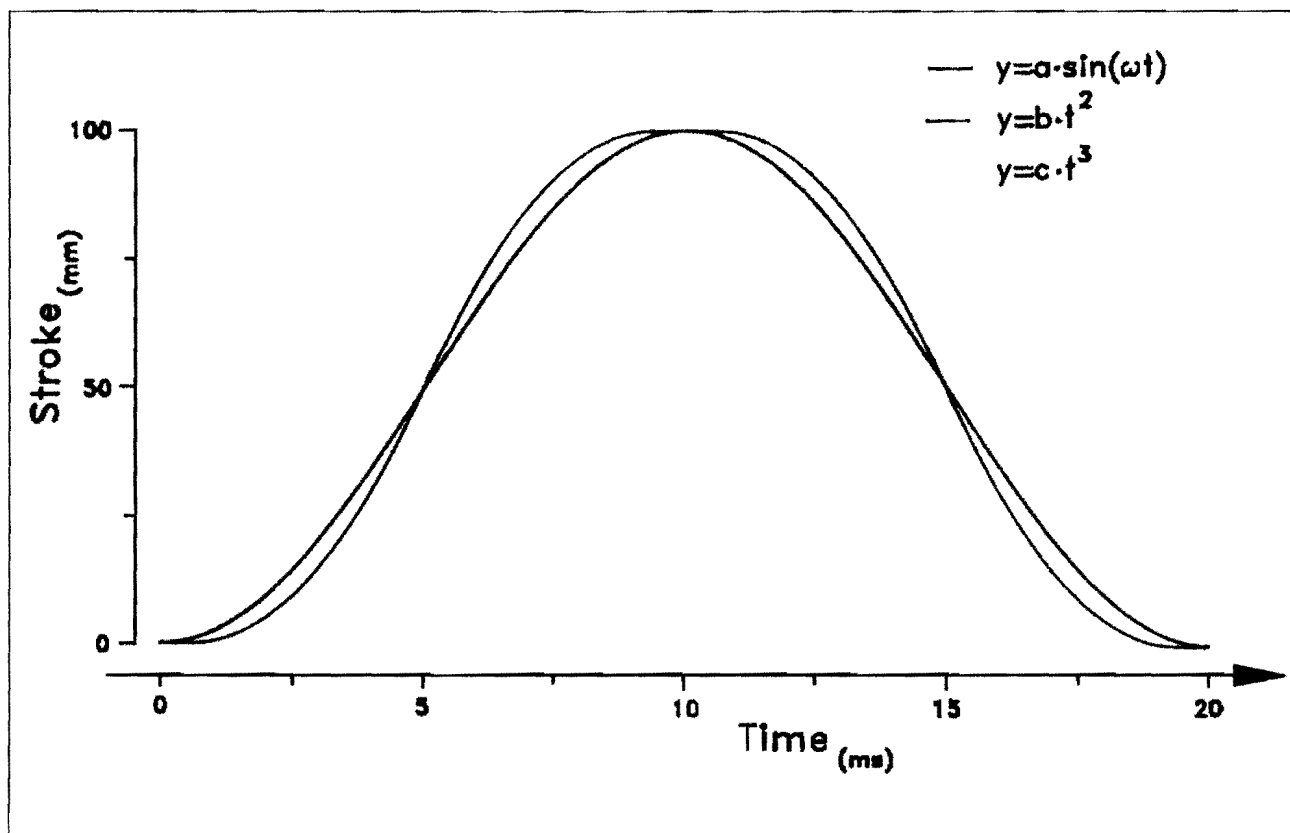
1. Επειδή το μέτωπο της φλόγας ξεκινώντας από το σημείο έναυσης πρέπει να διασχίσει όλη τη μάζα του αντιδρώντος μείγματος, ο χρόνος αντίδρασης θα είναι τόσο μικρότερος, όσο μικρότερος είναι ο όγκος της φλόγας.
2. Επειδή οι φορείς της αντίδρασης απενεργοποιούνται, όταν συναντούν τα τοιχώματα, το αντιδρών μείγμα θα αντιδράσει τόσο πληρέστερα, όσο μικρότερη είναι η επιφάνεια των τοιχωμάτων του χώρου της αντίδρασης.

Αν θεωρήσει κανείς το χρόνο που χρειάζεται, για να αντιδράσει ένα ορισμένο ποσό αερίου μείγματος, θα υπέθετε εκ πρώτης όψεως ότι, όπως σε όλες τις χημικές αντιδράσεις, ο χρόνος αυτός ορίζεται απολύτως από το ποσό του αερίου (δηλαδή τον όγκο), τη θερμοκρασία και την πίεση.

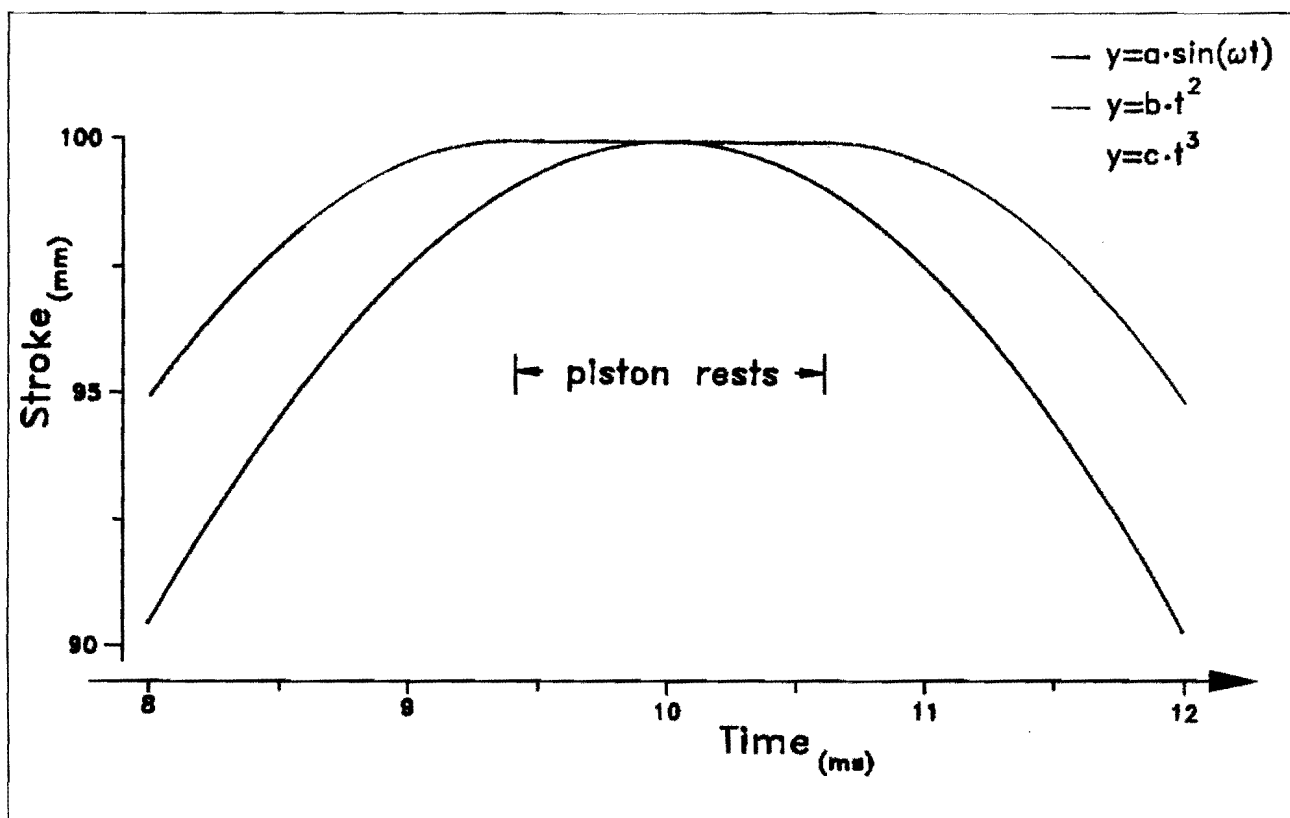
Τα πράγματα όμως δεν είναι έτσι.

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε δύο μηχανές (μορφή Α και μορφή Β στα σχέδια 9 έως 12) με την ίδια διάμετρο του εμβόλου (80 mm) και το ίδιο μήκος εμβολισμού (45 mm). Για να είναι και η πίεση η ίδια (λόγος συμπίεσης 1:10), έχουμε φροντίσει, ώστε και ο όγκος που παραμένει για το αέριο, όταν το έμβολο βρίσκεται στο άνω νεκρό σημείο, να είναι ο ίδιος (25 cm³). Τότε η ποσότητα του αερίου, η θερμοκρασία και η πίεση τη στιγμή της αντίδρασης (έμβολο στο ανώτατο σημείο της διαδρομής του) και στις δύο μηχανές θα είναι οι αυτές. Θα είναι όμως και η πορεία της αντίδρασης η ίδια;

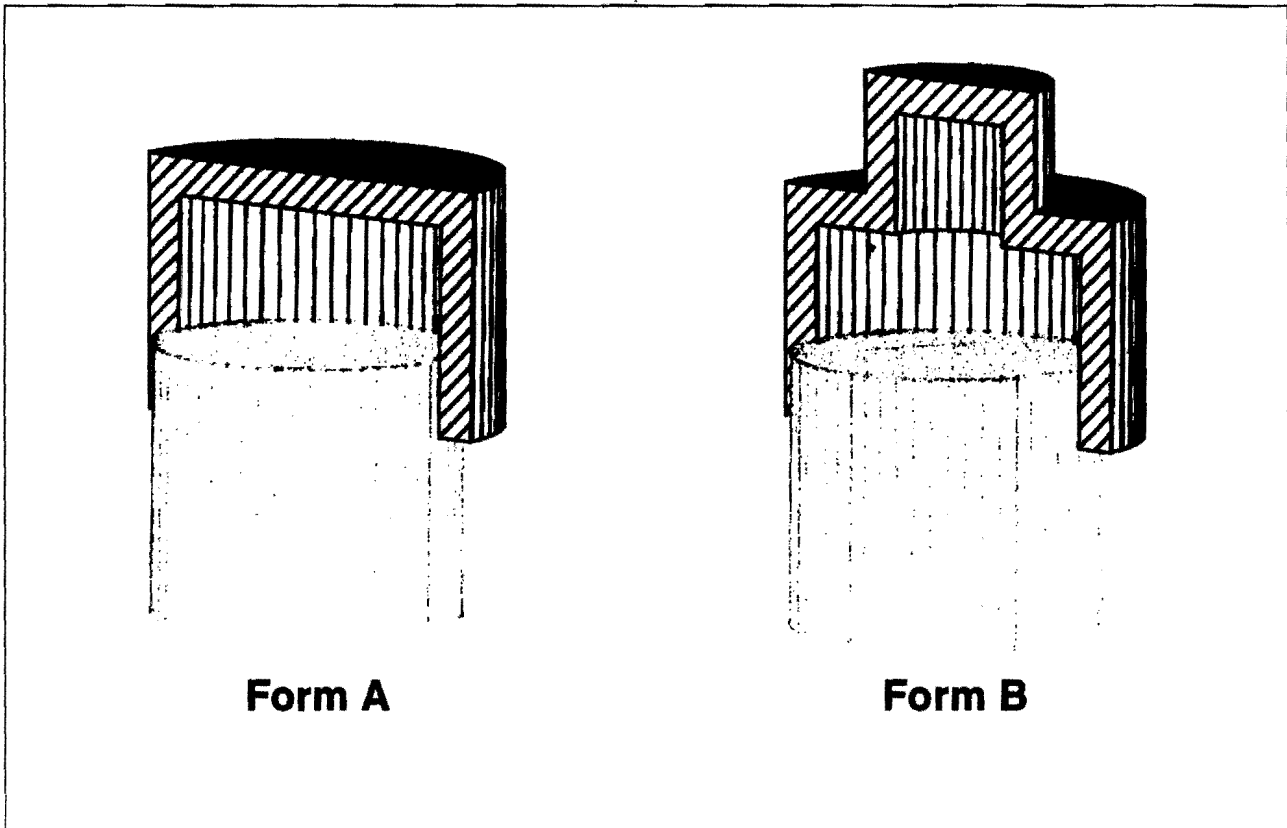
Όταν το έμβολο έρθει στο άνω νεκρό σημείο (σχέδιο 10), ο όγκος που καταλαμβάνει το αέριο, είναι και στις δύο μηχανές ο αυτός. Η μορφή όμως του χώρου είναι διαφορετική (σχήμα 11). Και οι δύο μορφές είναι κυλινδρικές. Η μία όμως (Α) είναι πεπλατυσμένη, η άλλη (Β) είναι συμπαγής. Η μορφή Α εμφανίζει κατά



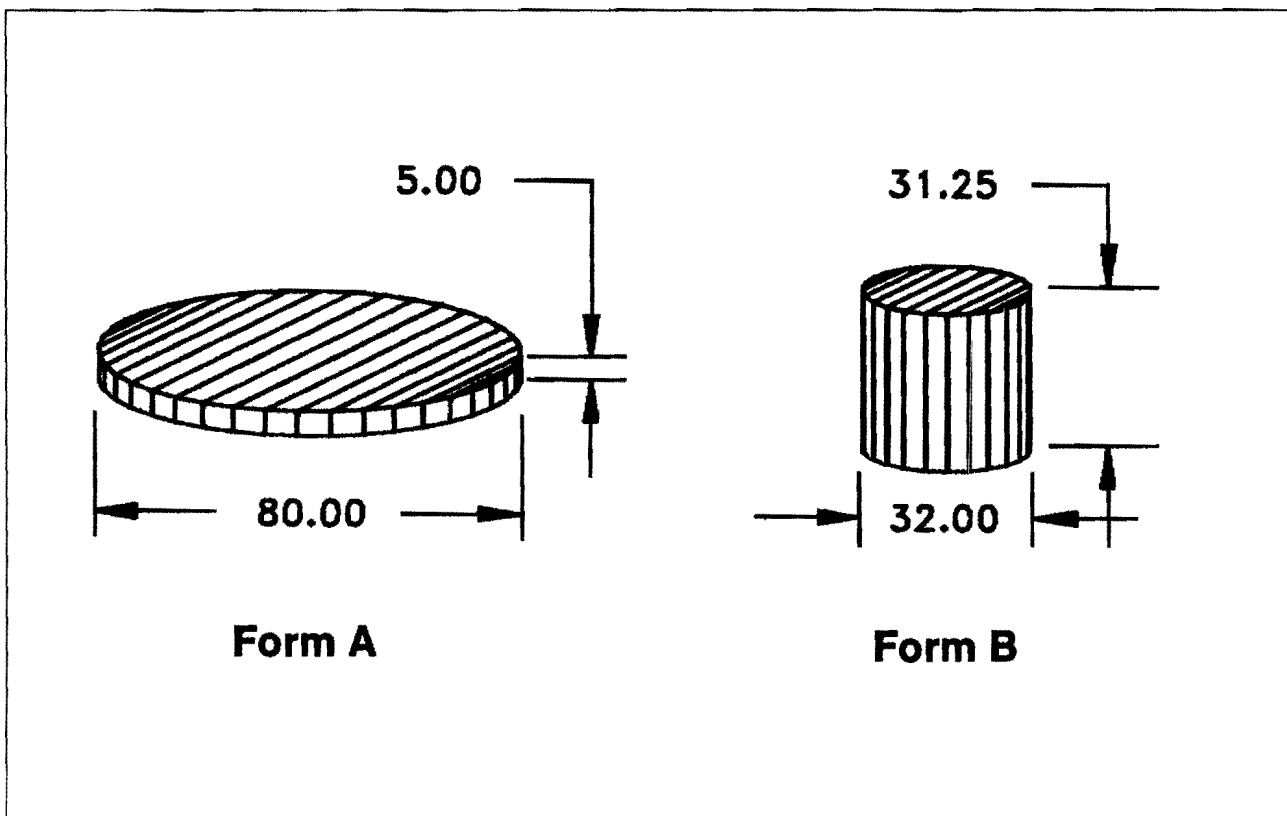
Εικόνα 3.



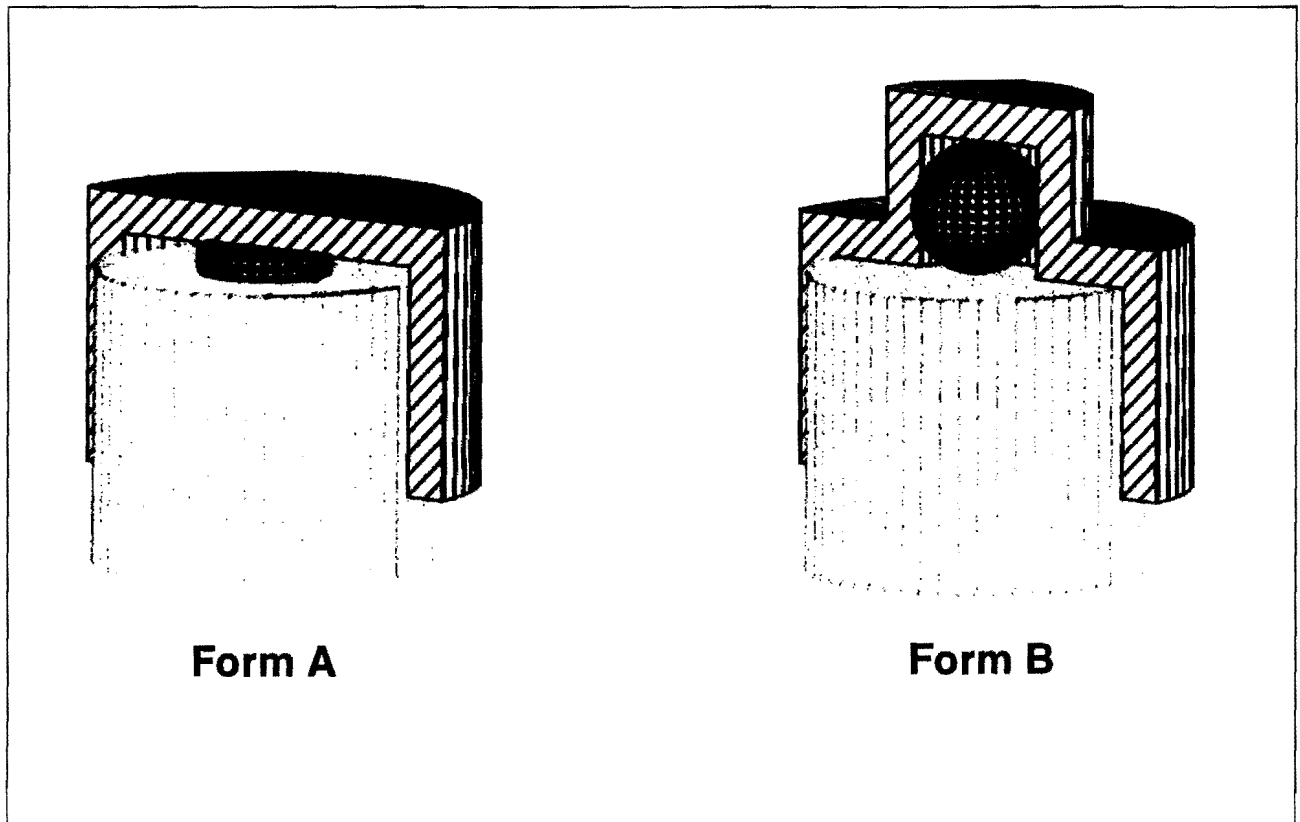
Εικόνα 4.



Εικόνα 5.



Εικόνα 6.



Εικόνα 7.

250% μεγαλύτερη διάμετρο και κατά 238% μεγαλύτερη επιφάνεια τοιχωμάτων.

Αν η έναυση γίνεται στο γεωμετρικό κέντρο του χώρου, τότε το μέτωπο της φλόγας διαδίδεται σαν σφαίρα μέσα σε όλο το αντιδρών μείγμα. Ενώ όμως στη μορφή Β το μέτωπο της αντίδρασης μπορεί ανεμπόδιστα να διαδοθεί προς όλες τις κατευθύνσεις, στη μορφή Α ήδη λίγο μετά το ξεκίνημά του έχει συναντήσει τα τοιχώματα (δάπεδο και οροφή). Εκεί το μεγαλύτερο μέρος των φορέων της αντίδρασης απενεργοποιείται και το μέτωπο της φλόγας υποχρεώνεται να προχωρήσει με τη στενή του πλευρά «έρποντας» μεταξύ οροφής και δαπέδου.

Στο σχήμα 12 φαίνεται για την ίδια χρονική στιγμή από την έναρξη της αντίδρασης (ίδια διάμετρος του μετώπου της φλόγας στη μέση) πώς διαδίδεται ανεμπόδιστα η φλόγα στη μορφή Β και πώς προσπαθεί να προχωρήσει μεταξύ των ψυχρών τοιχωμάτων στη μορφή Α. Από το γεωμετρικό και μόνο υπολογισμό βλέπει κανείς πως στη μορφή Β έχουν αντιδράσει τα 69% του αερίου, στην Α μόνο το 16%. Στην πραγματικότητα η διαφορά είναι ακόμα μεγαλύτερη, επειδή η αντίδραση είναι μία «αλυσωτή αντίδραση» και η ταχύτητά της αυξάνει με το πλήθος των φορέων.

Η μορφή Α είναι ολοφάνερα η δυσμενέστερη από τις δύο, είναι όμως δυστυχώς εκείνη η οποία εφαρμόζεται στην πράξη. Αν μπορούσε κανείς να πραγματοποιήσει τη μορφή Β, θα είχε ταχύτερη και πιο ολο-

κληρωμένη αντίδραση και, κατά συνέπεια, καλύτερα καυσαέρια.

Αυτό όμως δυστυχώς δεν είναι δυνατόν. Ο χώρος καύσης του συμβατικού κινητήρα πρέπει να είναι πεπλατυσμένος, έτσι ώστε στην οροφή του να προσφέρει αρκετό χώρο για την τοποθέτηση των βαλβίδων. Και καταλαβαίνει έτσι κανείς, γιατί γίνεται τελευταία τόση προσπάθεια για περιδίνηση του αερίου και εκβάθυνση της οροφής του εμβόλου.

Είναι δυνατός ένας νέος μηχανισμός για τη ρύθμιση της εισαγωγής και εξαγωγής;

Οι προσπάθειες απαλλαγής από την ενοχλητική ρύθμιση με βαλβίδες είναι τόσο παλιές, όσο και η ίδια η ρύθμιση με βαλβίδες, δηλαδή κάπου 100 ετών. Το ότι καμία από τις πολυάριθμες άλλες λύσεις δεν κατόρθωσε να επικρατήσει οφείλεται κυρίως στο ότι η ρύθμιση με βαλβίδες, όσα μειονεκτήματα και να έχει, δίνει ένα πλεονέκτημα, το οποίο καμιά άλλη λύση δεν προσφέρει με τόση σιγουριά: Οι βαλβίδες κάτω από την πίεση των αερίων της αντίδρασης μένουν ακίνητες «κολλημένες» στις θέσεις τους και κλείνουν αεροστεγώς το χώρο εργασίας. Όλες οι άλλες λύσεις βασίζονται κατά κάποιο τρόπο στην αρχή της ολισθαίνουσας στεγάνωσης, η οποία, όπως φαίνεται, δεν μπορεί να είναι αποτελεσματική.

Γνωρίζουμε, εντούτοις, περιπτώσεις στις οποίες η ολισθαίνουσα στεγάνωση λειτουργεί. Το έμβολο κάθε

κινητήρα στεγανώνεται ολισθαίνον ως προς το τοίχωμα του κυλίνδρου με τη βοήθεια των ελατηρίων στεγανότητας. Εκτός αυτού, όπως ήδη από τη δεκαετία του '20 έδειξαν οι ερευνητικές εργασίες του Felix Wankel (και αργότερα ο ομώνυμος κινητήρας), μία αποτελεσματική ολισθαίνουσα στεγάνωση είναι αναμφίβολα δυνατή.

Τέλος, δεν πρέπει να παραβλεφθεί ότι κατά τη διάρκεια του δευτέρου παγκοσμίου πολέμου, η DVL στο Βερολίνο υπό τη διεύθυνση του W. D. Bensinger κατασκεύασε κινητήρες αεροπλάνων, στους οποίους η ρύθμιση εισαγωγής και εξαγωγής γινόταν με ολισθαίνουσα στεγάνωση και οι οποίοι σε πραγματική λειτουργία εν πτήση μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν περισσότερο χρόνο απ' ό,τι οι αντίστοιχοι κινητήρες οι ρυθμιζόμενοι με βαλβίδες.

Από όλες τις δυνατότητες που μελετήθηκαν ή δοκιμάστηκαν για την αντικατάσταση της ρύθμισης με βαλβίδες από κάποια άλλη τεχνική λύση, αυτή που έχει ευδοκιμήσει περισσότερο είναι η ρύθμιση με περιστρεφόμενο σύρτη. Μερικές κατασκευές μάλιστα έφθαναν σε ωριμότητα παραγωγής εν σειρά.

Η ρύθμιση με περιστρεφόμενο σύρτη έχει ένα πλήθος πλεονεκτήματα, παρουσιάζει όμως (τουλάχιστον στις μέχρι τώρα γνωστές κατασκευές) δύο βασικά μειονεκτήματα:

1. Ο σύρτης χρειάζεται για την κίνησή του ένα νέο, στιβαρό και πολλές φορές πολύπλοκο μηχανισμό, έτσι ώστε η απλότητα, η οποία επιδιωκόταν με την εγκατάλειψη των βαλβίδων, να πηγαίνει πάλι χαμένη.
2. Μεταξύ του τοιχώματος του κυλίνδρου και του τμήματος της μηχανής, που οδηγεί τα αέρια, εμφανίζεται ένα νέο κινούμενο στοιχείο (ο σύρτης), το οποίο πρέπει και από τις δύο πλευρές να λιπανθεί και να στεγανοποιηθεί, έτσι ώστε η ψύξη του να καθίσταται προβληματική.

Κατ' αρχήν όμως, θα έπρεπε η ρύθμιση με περιστρεφόμενο σύρτη να είναι δυνατή χωρίς την εισαγωγή ενός νέου κινούμενου στοιχείου, αν θα μπορούσε να αξιοποιήσει κανείς για τη ρύθμιση της εισαγωγής και εξαγωγής την κίνηση ενός ούτως ή άλλως κινούμενου τεμαχίου. Εάν στη συνέχεια φροντίσει κανείς, ώστε το στοιχείο που ρυθμίζει τη ροή των αερίων να στεγανοποιείται μόνο από τη μία πλευρά και να είναι προσιτό στην ψύξη και ακόμα ίσως να δημιουργεί ένα συμπαγή χώρο καύσης, τότε ο κινητήρας δεν θα είχε απλώς απαλλαχτεί από τα ελαττώματα της ρύθμισης με βαλβίδες, αλλά θα είχε βελτιωθεί και στη βασική του σύλληψη.

Αυτά όλα φαίνονται πολύ όμορφα. Μόνο που ο μηχανισμός που θα επέτρεπε μία τέτοια ρύθμιση της εισαγωγής και εξαγωγής θα έπρεπε πρώτα να εφευρευθεί.

To Rany - Motor

Από τα προηγούμενα φαίνεται ότι αν επιδιώκει κανείς μία ριζική βελτίωση της συμπεριφοράς του κινητήρα

εσωτερικής καύσης, θα πρέπει να αποδεχθεί μια ριζική αλλαγή στην κατασκευή του. Ο μηχανισμός του στροφάλου πρέπει να εγκαταλειφθεί και στη θέση του να υπάρξει η δυνατότητα διαμόρφωσης οποιουδήποτε επιθυμητού χρονικού νόμου για την αλλαγή του όγκου στο χώρο εργασίας. Η ρύθμιση της ροής των αερίων με βαλβίδες πρέπει να αντικατασταθεί από ένα μηχανισμό που να επιτρέπει τη διαμόρφωση ενός συμπαγούς χώρου καύσης.

Εάν επιτυγχανόταν κάτι τέτοιο, δεν θα είχε δοθεί αυτομάτως και η δυνατότητα αντικατάστασης του συμβατικού κινητήρα από έναν καινούριο. Ο συμβατικός κινητήρας έχει πίσω του μία μακρά ιστορία εξέλιξης, η οποία τον έχει οδηγήσει σε έναν υψηλό βαθμό ωριμότητας. Γι' αυτόν το λόγο δεν πρόκειται να αντικατασταθεί εύκολα. Υψηλοί αριθμοί παραγωγής και μεγάλα οικονομικά και προσωπικά συμφέροντα επιτρέπουν ενδεχομένως «μικρές διορθώσεις στο κατεστημένο», δρουν όμως αποφασιστικά, εναντίον κάθε προσπάθειας ριζικής αλλαγής. Για να έχει ελπίδες επιτυχίας μία τέτοια προσπάθεια, θα πρέπει τα πλεονεκτήματα του νέου κινητήρα να είναι πραγματικά συντριπτικά, ώστε να είναι σε θέση να λυγίσει την πολύ σοβαρή αντίσταση που θα υπάρξει.

Για να μπορέσει ένας νέος κινητήρας να αντικαταστήσει τον παραδοσιακό, θα πρέπει εκτός από

- καλύτερα καυσαέρια και
- μικρότερη κατανάλωση καυσίμου,

να έχει

- μικρότερες απώλειες τριβών
- μικρότερο όγκο και
- μικρότερο βάρος,

να αποτελείται από

- ολιγάριθμα και
- ευχερώς παραγόμενα στοιχεία,

ώστε να είναι

- φθηνότερος στην κατασκευή και
- φθηνότερος στη συντήρησή

και τέλος, να έχει ακόμα

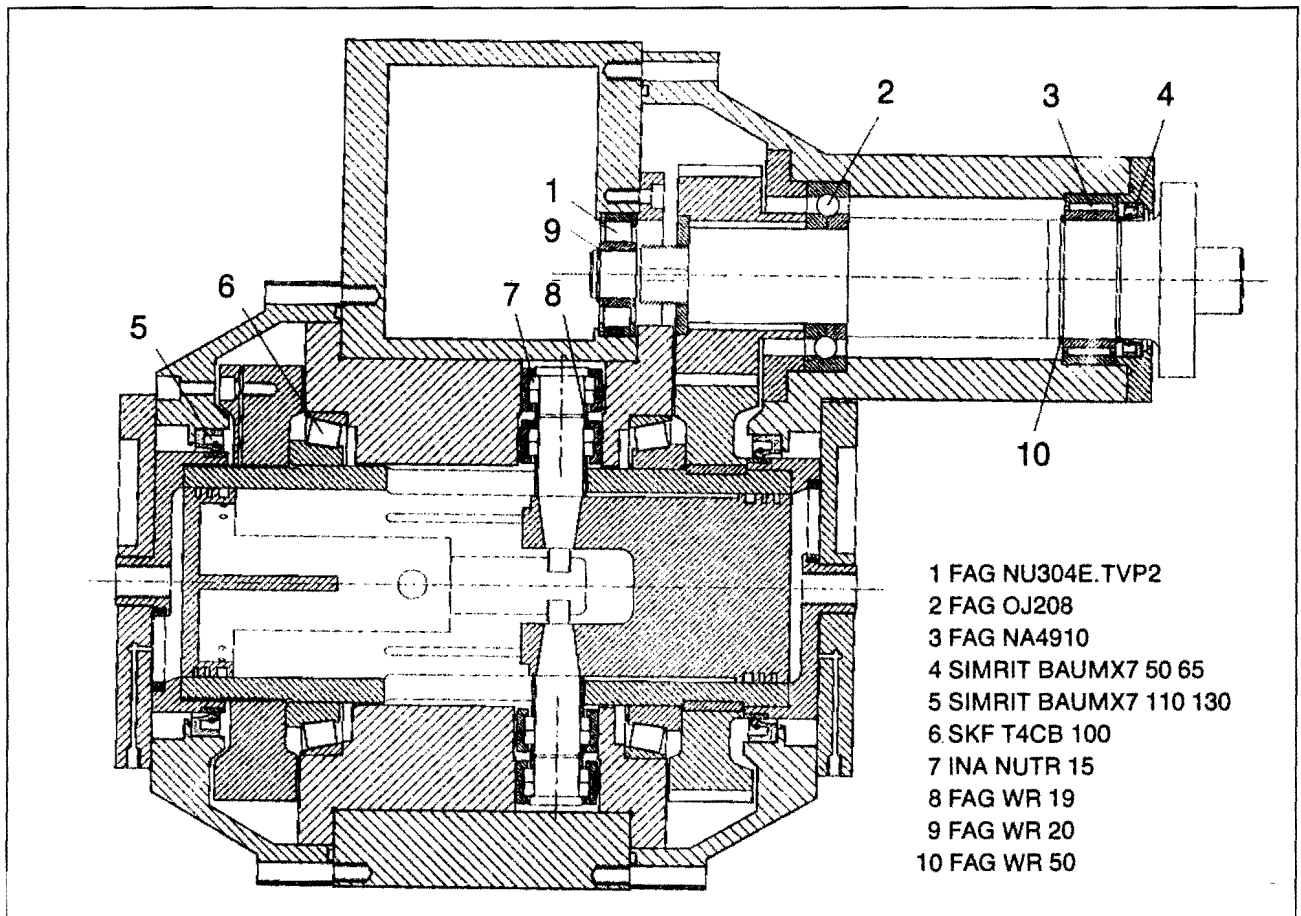
- χαμηλότερο επίπεδο θορύβου και
- λιγότερους κραδασμούς.

Ένα στ' αλήθεια δύσκολο πρόβλημα!

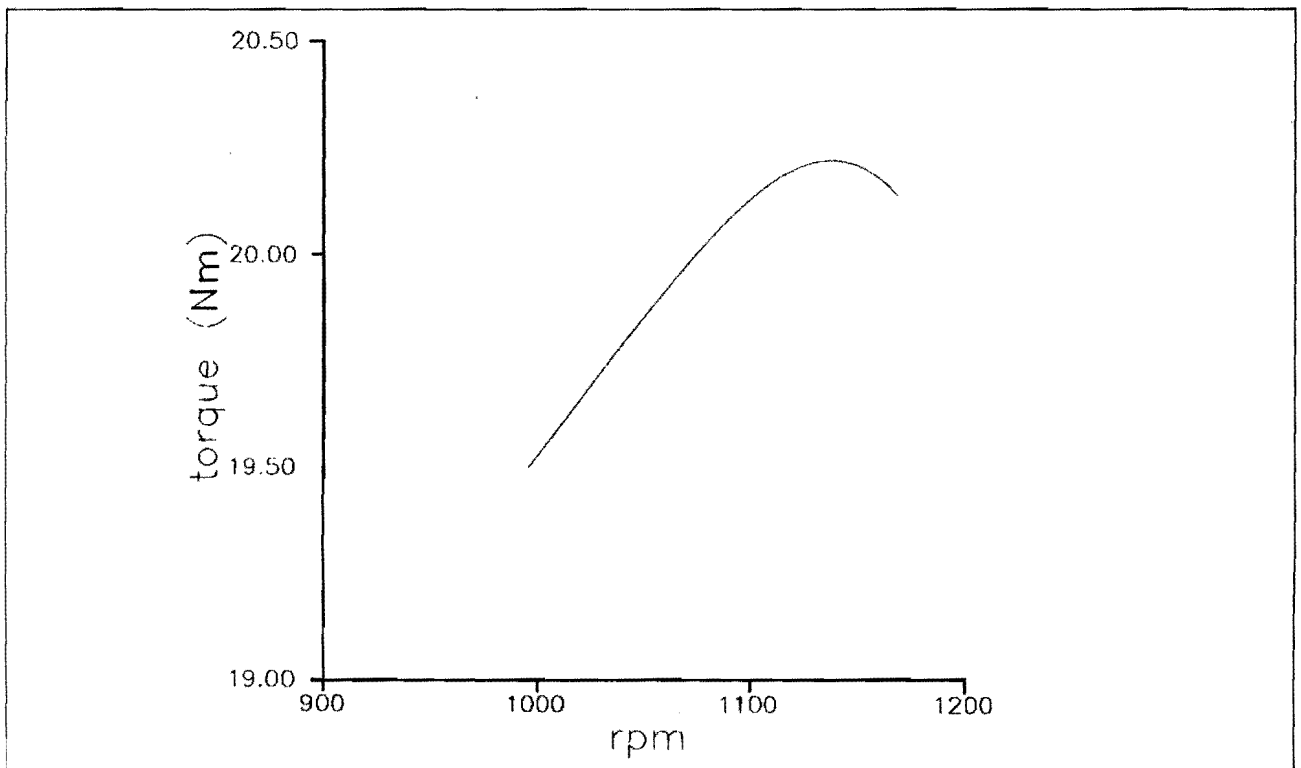
Η κίνηση του εμβόλου σύμφωνα με τον επιθυμητό χρονικό νόμο

Για το Rany-Motor επινοήθηκε ένας μηχανισμός, ο οποίος βασιζόμενος σε ένα καμπύλο οδηγό μετατρέπει την παλινδρομική κίνηση του εμβόλου σε περιστροφική επιτρέποντας την εφαρμογή οποιουδήποτε χρονικού νόμου γι' αυτή την παλινδρόμηση.

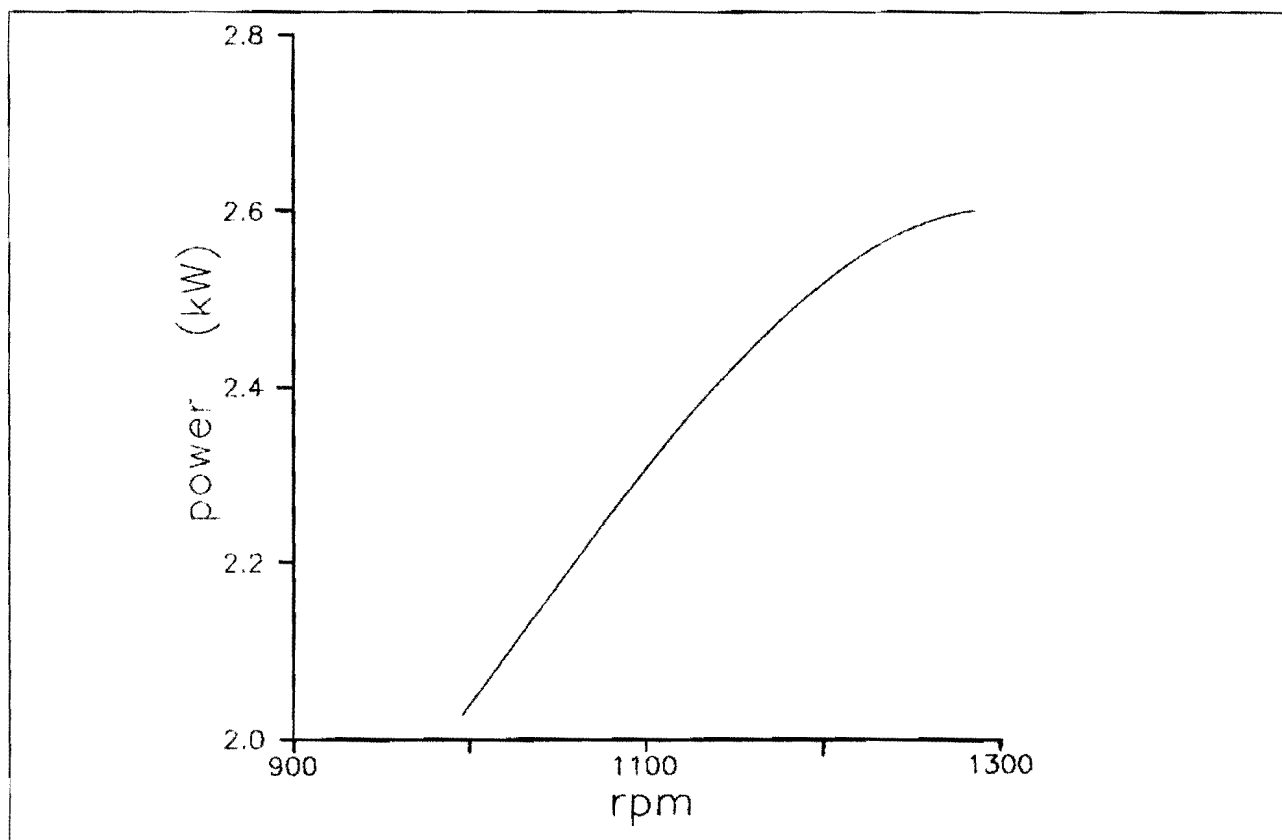
Οι φωτογραφίες από το μοντέλο R2C δείχνουν με κάθε λεπτομέρεια από ποια κομμάτια αποτελείται το



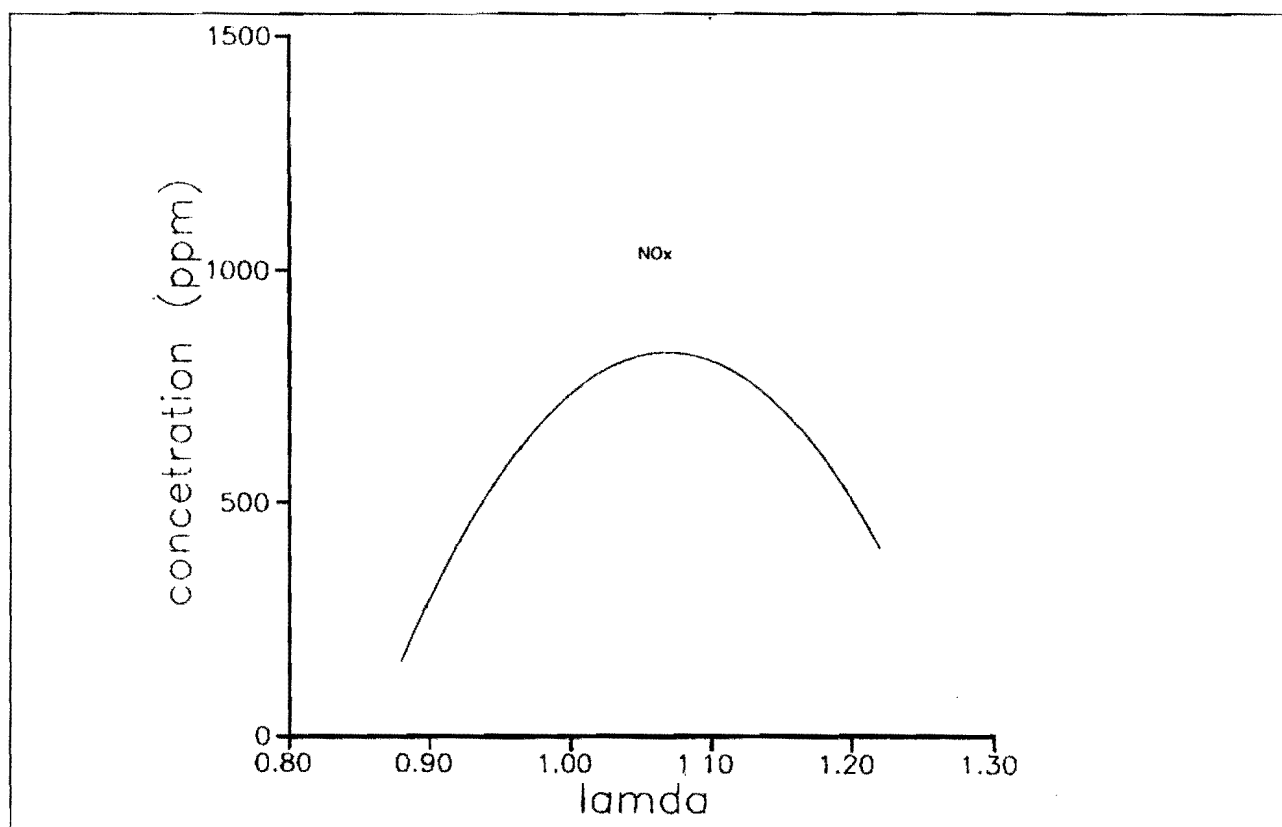
Εικόνα 8.



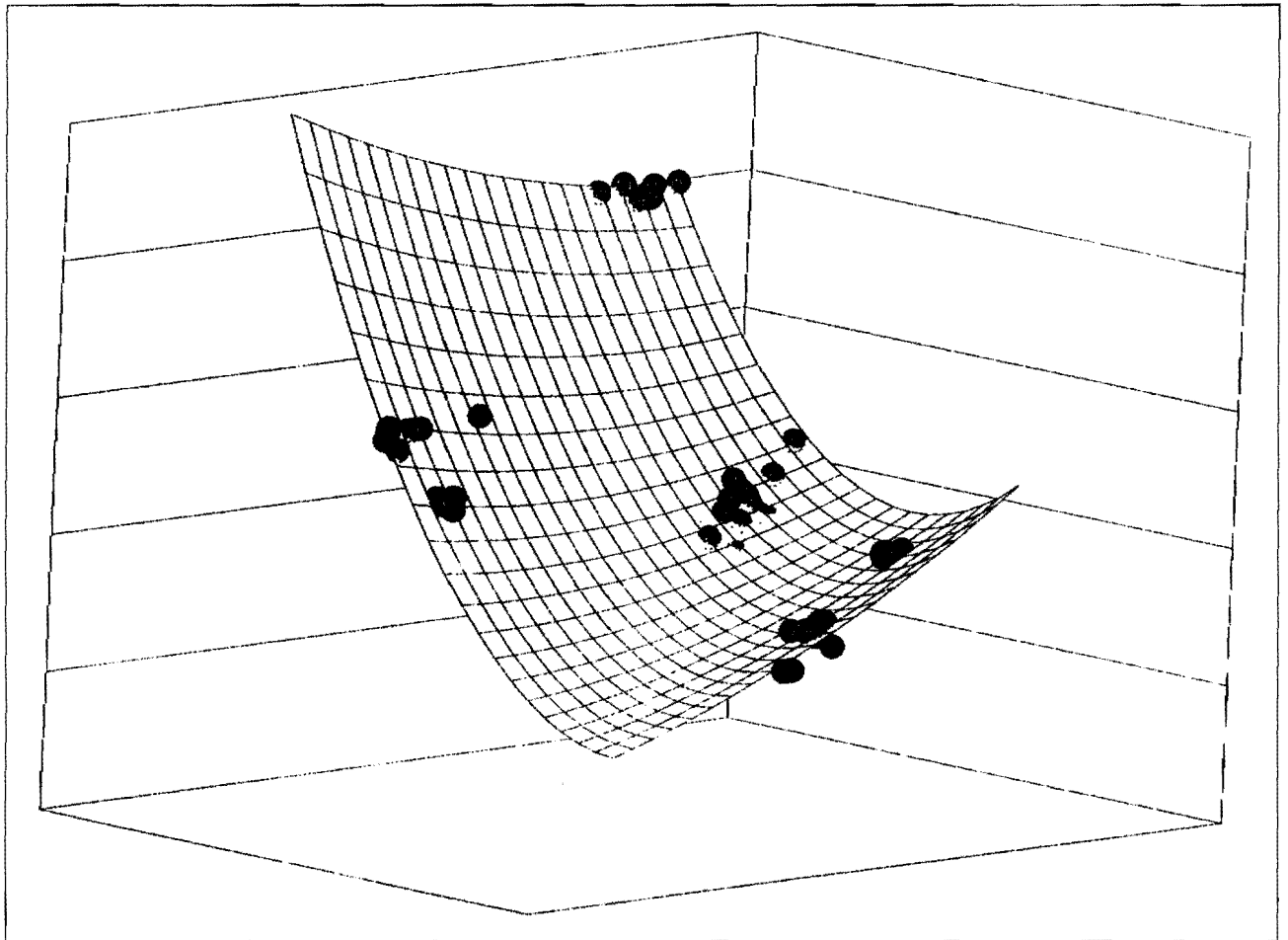
Εικόνα 9.



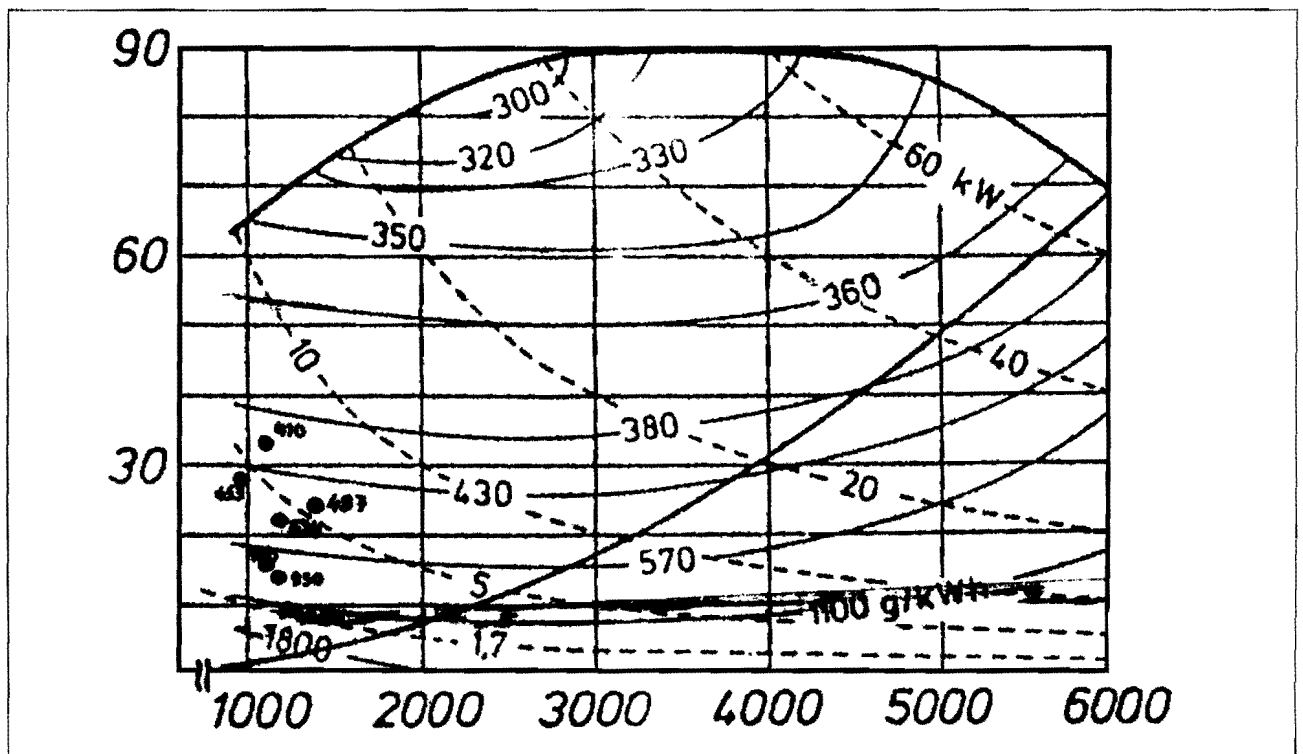
Εικόνα 10.



Εικόνα 11.

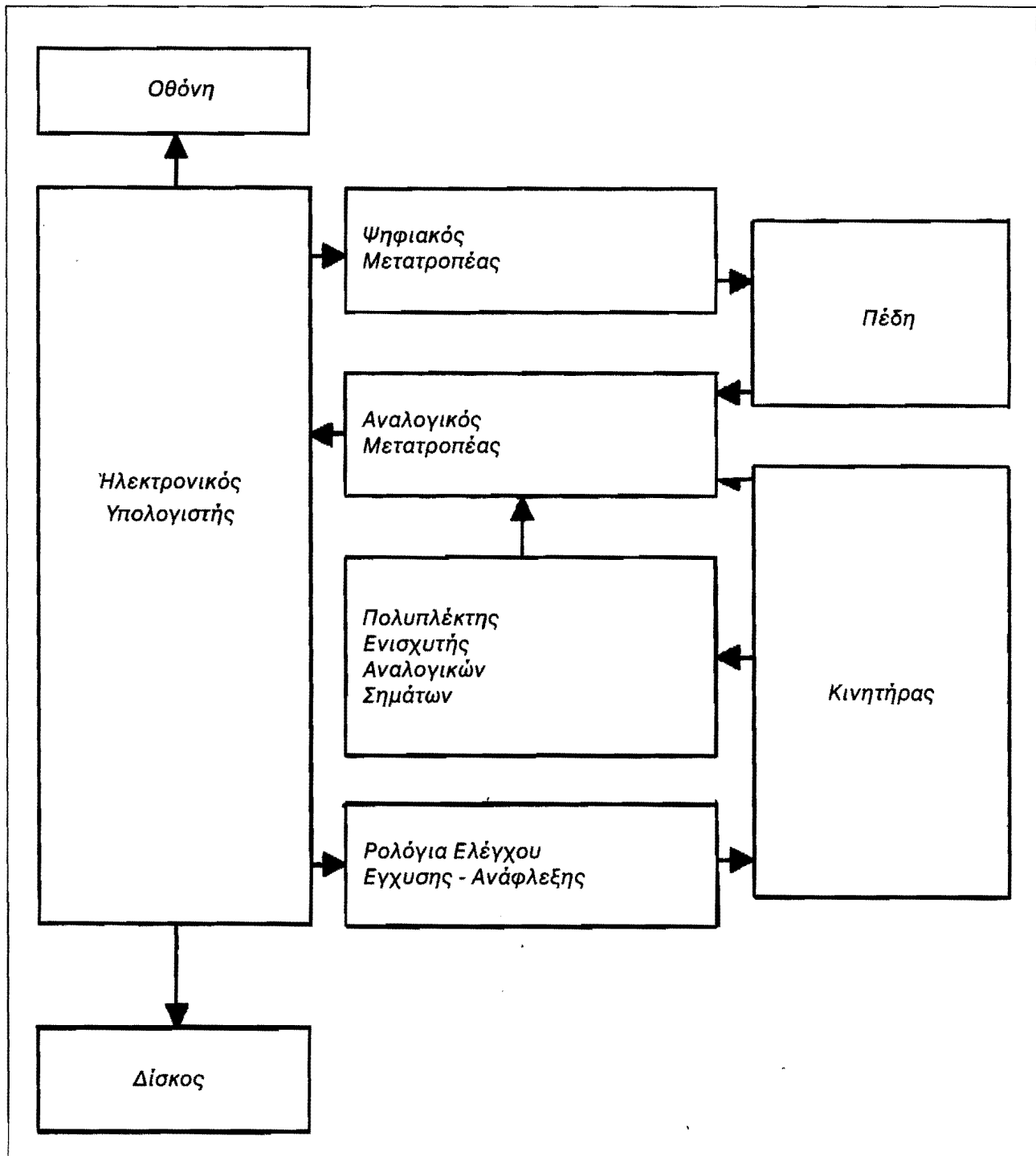


Εικόνα 12.

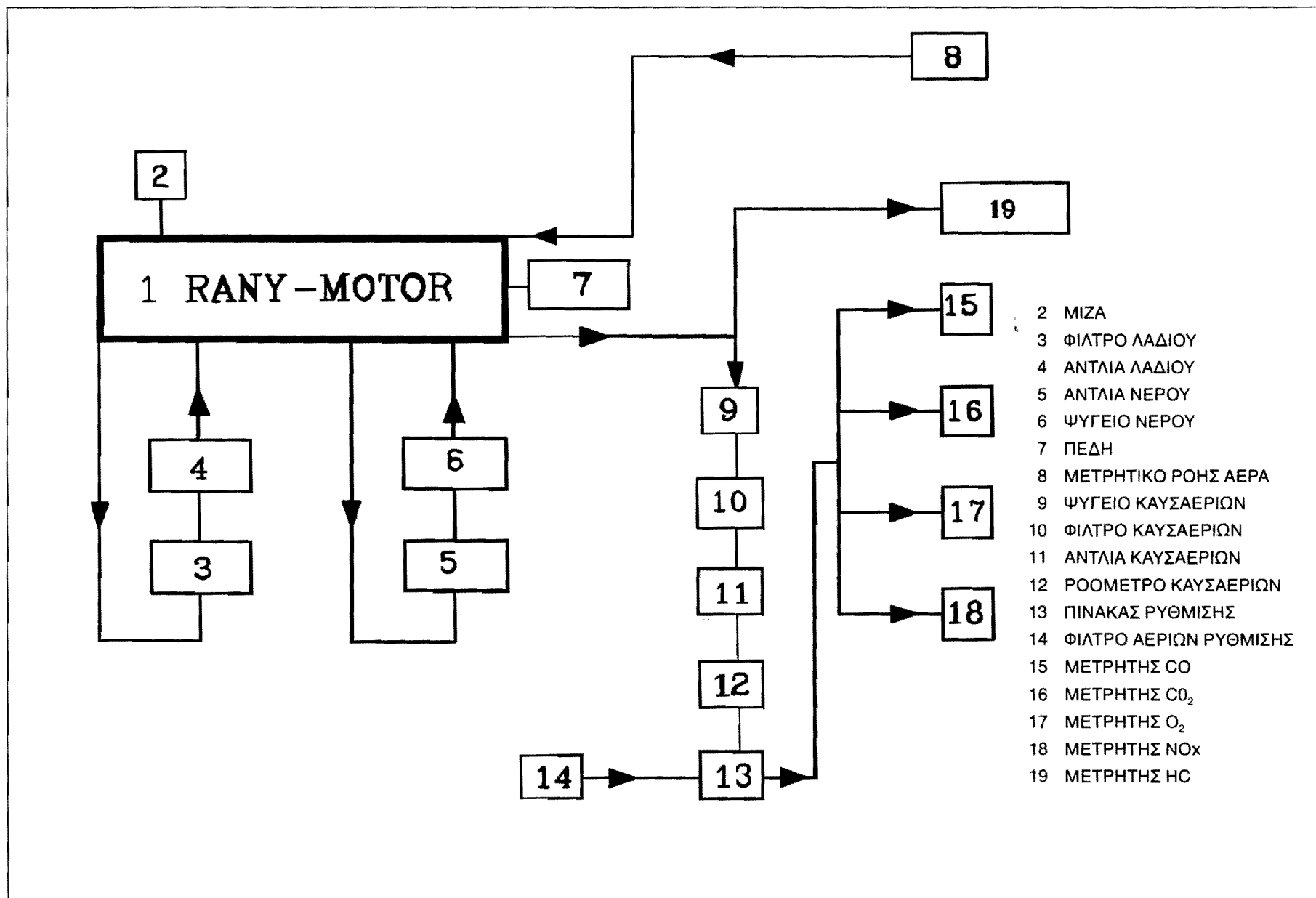


Εικόνα 13.

Έλεγχος κινητήρα Pany από ηλεκτρονικό υπολογιστή
Έλεγχος κινητήρα



Εικόνα 14.



Εικόνα 15.

Rany-Motor και πώς τα κομμάτια αυτά συνδέονται μεταξύ τους, για να σχηματίσουν τον πλήρη κινητήρα. Οι εικόνες 1, 2 και 3 δείχνουν τα βασικά τεμάχια, από τα οποία αποτελείται ο μηχανισμός κίνησης του εμβόλου. Οι εικόνες 4, 5 και 6 δείχνουν πώς τα τεμάχια αυτά συνδυάζονται με το έμβολο και με ράουλα του εμπορίου, για να αποτελέσουν τον πλήρη μηχανισμό κίνησης.

Ο καμπύλος οδηγός μένει ακίνητος. Το κομμάτι με τη μορφή του σωλήνα («ο ρότορας»), του οποίου τα δύο άκρα διαμορφώνουν δύο χώρους εργασίας, έχει μια καθαρά περιστροφική κίνηση. Το κομμάτι με τη μορφή του Υ, το «διαπασών», το οποίο φέρει το έμβολο και τα ράουλα, εκτελεί μία συνδυασμένη παλινδρομική - περιστροφική κίνηση. Το έμβολο περιστρέφεται με την ίδια γωνιακή ταχύτητα, όπως και το τοίχωμα του κυλίνδρου («ο ρότορας»), ώστε η σχετική μεταξύ τους κίνηση να είναι καθαρά παλινδρομική.

Στις επιμήκεις σχισμές του «ρότορα» ολισθαίνουν τα λειασμένα σκέλη του «διαπασών». Όταν ο «ρότορας» περιστρέφεται περί τον άξονά του, το «διαπασών» αναγκάζεται και αυτό να περιστραφεί. Ο καμπύλος οδηγός, όμως, ο οποίος βρίσκεται ακίνητος γύρω από αυτό, υποχρεώνει τα ράουλα (και στη συνέχεια το «διαπασών» και το έμβολο) να εκτελέσει επιπλέον μία ευθύγραμμη κίνηση κατά μήκος του άξονα του «ρότορα». Εάν ο καμπύλος οδηγός είναι κατάλληλα διαμορφωμένος, ο κινηματικός νόμος, ο οποίος επιβάλλεται στο έμβολο, μπορεί να είναι μία οποιαδήποτε συνάρτηση του χρόνου.

Στο Rany-Motor δεν χρειάζεται καμιά ιδιαίτερη προσπάθεια για την αντιστάθμιση των κινουμένων μαζών, επειδή αυτή ούτως ή άλλως είναι εξασφαλισμένη εξαρχής. Στον ίδιο ρότορα εισάγονται δύο έμβολα (όπως ήδη φαίνεται στην εικόνα 6), τα οποία εκτελούν μία εντελώς συμμετρική αντίθετη κίνηση.

Λεπτομερέστερα μπορεί να μελετήσει κανείς τη συμμετρία αυτής της κίνησης στις εικόνες 7, 8 και 9. Τα δύο διαπασών είναι μετατεθειμένα κατά 90 μοίρες, με τρόπο ώστε τα ράουλα τους να τρέχουν πάνω στον καμπύλο οδηγό με διαφορά φάσεως 90 μοίρων. Επειδή η καμπύλη είναι συμμετρική, τα έμβολα κινούνται την ίδια στιγμή κατά την ακριβώς αντίθετη κατεύθυνση, έτσι ώστε η κίνηση του ενός να είναι «κατοπτρικά συμμετρική» της κίνησης του άλλου. Το ζεύγος των εμβόλων σε συνεχή διαδοχή «εκτείνεται» (εικόνες 7 και 9) και «συσπειρούται» (εικόνα 8) ασταμάτητα.

Το μοντέλο R2C είναι αυτό με το οποίο γίνονται σήμερα οι μετρήσεις. Βρίσκεται επί πολλούς μήνες στο δοκιμαστήριο και έχει ήδη μερικές εκατοντάδες ωρών λειτουργίας. Σχεδιάστηκε με το σκοπό να αποδείξει την αποτελεσματικότητα της νέας αρχής κίνησης και να δώσει τη δυνατότητα για μετρήσεις. Προσπάθεια για ελάττωση του όγκου και της μάζας του δεν έγινε. Είναι ένα ογκώδες, βαρύ μηχάνημα. Πέρα όμως από τη φιλικότητα προς το περιβάλλον, ένα από τα ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά του νέου κινητήρα είναι οι μικρές διαστάσεις και το μικρό βάρος. Για

να επιδειχθεί αυτή η ιδιότητα, κατασκευάστηκε το μοντέλο R2D που φαίνεται στις επόμενες εικόνες. Το μοντέλο R2D είναι ένας κινητήρας 600 cm³ που η βασική του μονάδα έχει μήκος περίπου 40 cm, διάμετρο 15 cm και βάρος 17,5 kg. Στο μοντέλο R2D δοκιμάζεται η δυνατότητα οδήγησης του εμβόλου με πίσους που ολισθαίνουν επάνω στον καμπύλο οδηγό. Λόγω των υψηλών φορτίων τη στιγμή της έκρηξης, το πρόβλημα δεν είναι απλό και η αναζήτηση του κατάλληλου ζεύγους των υλικών και της λίπανσης συνεχίζεται. Παράλληλα, έχει ξεκινήσει και η κατασκευή ενός νέου μοντέλου (R2F εικόνα 17) για τον έλεγχο και άλλων επιμέρους στοιχείων.

Η ρύθμιση της εισαγωγής και εξαγωγής

Η κίνηση της κεφαλής του κυλίνδρου αξιοποιήθηκε για τη ρύθμιση της ροής των αερίων. Στην κεφαλή του κυλίνδρου έχει προβλεφθεί ένα άνοιγμα (εικόνα 10). Στο απέναντι ακίνητο μέρος της μηχανής (εικόνα 11) καταλήγουν οι αγωγοί εισόδου και εξόδου των αερίων. Εάν μπροστά στο άνοιγμα της κεφαλής του κυλίνδρου βρίσκεται το κλειστό τοίχωμα του ακίνητου μέρους, το αέριο είναι αποκλεισμένο μέσα στο χώρο εργασίας και ανάλογα με την κίνηση του εμβόλου υφίσταται συμπίεση ή εκτόνωση. Όταν κατά την περιστροφή της κεφαλής του κυλίνδρου το άνοιγμα έρθει μπροστά σε έναν από τους αγωγούς, τότε ο χώρος εργασίας επικοινωνεί με τον «έξω κόσμο» και ανάλογα με την κίνηση του εμβόλου γίνεται εισαγωγή ή εξαγωγή. Η περιστρεφόμενη κεφαλή του κυλίνδρου, σε συνεργασία (εικόνα 12) με τον ακίνητο (κίτρινο) μανδύα που φέρει τα αέρια, λειτουργεί σαν περιστρεφόμενος σύρτης. Και τα δύο κομμάτια υφίστανται θερμική καταπόνηση και για τα δύο έχει προβλεφθεί ψύξη με κυκλοφορία υγρού (οι κόκκινα βαμμένες επιφάνειες, εικόνα 12).

Ο κινητήρας είναι πράγματι τόσο απλός, όσο φαίνεται. Στην πραγματικότητα ολόκληρος αποτελείται από δύο μόνον κινούμενα μέρη: Το ρότορα και το έμβολο (η κεφαλή του κυλίνδρου είναι μόνιμα συνδεδεμένη με το ρότορα, το «διαπασών» και τα ράουλα μόνιμα συνδεδεμένα με το έμβολο), και αυτά τα δύο μοναδικά κομμάτια επιτελούν την πλήρη λειτουργία ενός τετράχρονου κινητήρα.

Το πρόβλημα της στεγάνωσης, το οποίο έχει γίνει αιτία να αποτύχουν πολλές άλλες προτάσεις για την απαλλαγή του κινητήρα από τις βαλβίδες, λύθηκε με επιτυχία στο Rany-Motor. Γύρω από το άνοιγμα στην κεφαλή του κυλίνδρου έχει προβλεφθεί μία φωλιά, όπου τοποθετήθηκε ένα δαχτυλίδι (εικόνα 10), το οποίο ωθούμενο από την πίεση των αερίων και τη φυγόκεντρο πιέζεται συνεχώς και ολισθαίνει στην εσωτερική επιφάνεια του ακίνητου εξωτερικού μέρους. Μολονότι τα δύο τεμάχια (κεφαλή του κυλίνδρου και ακίνητο περίβλημα) βρίσκονται σε σχετική μεταξύ τους κίνηση, η στεγάνωση είναι άριστη. Για να επιτευχθεί στεγανότητα του δακτυλίου αυτού και ως προς την (σχετικά ακίνητη) κεφαλή του κυλίνδρου, τοποθετήθηκαν στην περιφέρειά του δύο συνηθισμένα ελατήρια στεγανότητας, τα οποία εξαιτίας της

ιδίας ελαστικότητας τους και της πίεσης των αερίων πιέζονται στα εσωτερικά τοιχώματα της φωλιάς αποκλείοντας έτσι κάθε δυνατότητα διαφυγής του αερίου.

Η απαλλαγή του κατασκευαστή από την υποχρέωση να τοποθετήσει τις βαλβίδες στην κεφαλή του κυλίνδρου άνοιξε το δρόμο για τη βέλτιστη διαμόρφωση του χώρου καύσης. Ο χώρος καύσης στο Rany-Motor βρίσκεται ουσιαστικά μέσα στην κεφαλή του κυλίνδρου, όπως μπορεί να δει κανείς στην εικόνα 11. Το έμβολο οδηγείται όσο το δυνατόν κοντά (τόσο όσο ακριβώς να μη χτυπάει) στην κεφαλή του κυλίνδρου, ώστε το αέριο να βρίσκεται κλεισμένο μέσα στον κενό χώρο της κεφαλής του κυλίνδρου. Ο χώρος εργασίας έχει αποκτήσει συμπαγή μορφή. Ολόκληρη η μάζα αντίδρασης έχει συσφαιρωθεί και με μεγάλη προσέγγιση έχει αποκτήσει τη μορφή Β του σχεδίου 12. Ο δρόμος της αντίδρασης έχει επιβραχυνθεί και η επιφάνεια του χώρου αντίδρασης ελαττώθηκε. Ο χρόνος αντίδρασης έχει αντίστοιχα μειωθεί, και εφ' όσον λαμβάνεται μέριμνα (με την κατάλληλη διαμόρφωση του καμπύλου οδηγού) να παραμένει το έμβολο αρκετό χρόνο κοντά στο άνω νεκρό σημείο, η αντίδραση μπορεί να γίνει ουσιαστικά σε ισόχωρες συνθήκες.

Στο Rany-Motor εκ κατασκευής το ανοιγοκλείσιμο εισαγωγής - εξαγωγής γίνεται ακαριαία, κάτι που θα ενθουσίαζε τους κατασκευαστές πολύστροφων κινητήρων. Οι βέλτιστες γωνίες προεισαγωγής - προεξαγωγής, οφειλόμενες στη ροή των αερίων, δεν έχουν βρεθεί ακόμη, φαίνεται όμως ότι είναι σημαντικά μικρότερες από το βαλβιδοφόρο κινητήρα. Ήδη με μικρή αλλαγή τους, έχουμε θεαματικές μεταβολές στη λειτουργία, ενώ πρέπει να τονισθεί ότι τα μέχρι τώρα πολύ καλά πειραματικά αποτελέσματα με κανέναν τρόπο δεν αντιπροσωπεύουν τις βέλτιστες συνθήκες εισαγωγής - εξαγωγής.

Έλεγχος του κινητήρα, εγκατάσταση, μετρήσεις

Ο κινητήρας, συνδεδεμένος με ηλεκτροδυναμική πέδη και τις απαραίτητες αναλυτικές και λοιπές βοηθητικές συσκευές, βρίσκεται συνεχώς υπό τον έλεγχο ενός υπολογιστή.

Ο υπολογιστής παίρνει από τον κινητήρα και τις συσκευές πληροφορίες για

- τον αριθμό στροφών
- τη σύνθεση των καυσαερίων
- το φορτίο που έχει επιβληθεί
- το ποσόν του εισερχόμενου αέρα
- την κατανάλωση της βενζίνης,

υπολογίζει

- τη στιγμή της έγχυσης
- τη διάρκεια της έγχυσης
- τη στιγμή της ανάφλεξης

ενεργοποιεί

- τις μαγνητικές βαλβίδες έγχυσης και
- τα τρανζίστορ για την ηλεκτρική εκκένωση

παρουσιάζει όλα τα μετρούμενα και υπολογιζόμενα μεγέθη στην οθόνη που εποπτεύει ο χειριστής και τέλος τα καταγράφει για μελλοντική αξιοποίηση.

Στα διαγράμματα 21, 22 και 23 φαίνεται σχηματικά η συνδεσμολογία των διαφόρων συσκευών της πειραματικής διάταξης, των ηλεκτρονικών μερών και το λογικό διάγραμμα με βάση το οποίο ο υπολογιστής ελέγχει τη λειτουργία του κινητήρα.

Είναι φυσικό ότι από έναν κινητήρα ο οποίος υφίσταται συνεχείς αλλαγές και βελτιώσεις και για τον οποίο επ' ουδενί λόγο δεν έχουν βρεθεί οι βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας, δεν θα μπορούσε κανείς να περιμένει τελικά αποτελέσματα μετρήσεων και φυσικά ακόμη λιγότερο επιδόσεις συγκρίσιμες με αυτές των μέχρι τελειότητας εξελιγμένων συμβατικών κινητήρων του εμπορίου. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στα ακόλουθα διαγράμματα έχουν παρθεί όλα από το μοντέλο R2C και αναφέρονται σε διατομή εισόδου αέρος ίση με το 8% της διαθέσιμης διατομής. Προφανώς, δεν μπορεί παρά να έχουν προσωρινό μόνο χαρακτήρα και απλώς να υποδηλώνουν αυτό που πρέπει να περιμένουμε από το Rany-Motor. Όταν ήδη τώρα στο στάδιο αυτό της ανάπτυξης οι επιδόσεις αυτές είναι όχι μόνο συγκρίσιμες, αλλά ίσως και καλύτερες από το συμβατικό κινητήρα, μπορεί κανείς να υπολογίσει ποιες θα είναι στο μέλλον, όταν θα έχει αποκτήσει μία ανάλογη ωριμότητα.

Μέκρας: Ευχαριστώ τον κύριο Μπεκιάρογλου για την πολύ ωραία παρουσίαση που μας έκανε.

Θα ήθελα να καλέσω τον κύριο Κουτσούκο από το Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης να μας μιλήσει για τις «εκπομπές από την κυκλοφορία βενζινοκίνητων αυτοκινήτων στο λεκανοπέδιο της Αθήνας το 1988-1989 και σήμερα».

Όπως φαίνεται εδώ στην ανακοίνωση, ήταν να έρθει ο κύριος Οικονομόπουλος, αλλά δεν μπόρεσε, και στη θέση του ήρθε ο κύριος Κουτσούκος.