



Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ: ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ WANKEL



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΒΑΡΒΑΝΤΑΚΗΣ ΛΕΩΝΙΔΑΣ - ΠΟΥΛΙΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

Α.Μ. ΣΠΟΥΔΑΣΤΩΝ: 2011/0043 - 2011/0004

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΜΙΧΟΣ ΦΩΤΙΟΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2017

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	4
1.1 Ορισμός περιστροφικού κινητήρα.....	4
1.2 Ιστορική αναδρομή.....	5
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	35
2.1 Μέρη κινητήρα wankel.....	35
2.1.1 Ρότορας.....	35
2.1.2 Στάτορας.....	39
2.1.3 Κέλυφος.....	40
2.1.4 Άξονας.....	42
3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	44
3.1 Φάσεις λειτουργίας κινητήρα wankel.....	44
3.1.1 Εισαγωγή.....	44
3.1.2 Συμπύεση.....	44
3.1.3 Εκτόνωση.....	45
3.1.4 Εξαγωγή.....	45
3.2 Σύγκριση wankel με παλινδρομικό κινητήρα	47
4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	49
4.1 Γεωμετρία του κινητήρα wankel	49
4.2 Εύρεση κυβισμού σε κινητήρα wankel	51
4.3 Εύρεση βαθμού συμπίεσης σε κινητήρα wankel.....	54
4.4 Προανάφλεξη καυσίμου	55
4.5 Κρουστική καύση	55
5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	57
5.1 Τύποι περιστροφικών κινητήρων	57
5.2 Επεξήγηση της λειτουργίας του κινητήρα κατά το φάσμα στροφών...	66

5.3 Σύστημα εισαγωγής μίγματος σε περιστροφικό κινητήρα.....	68
5.4 Οικονομία καυσίμου στους περιστροφικούς κινητήρες.....	68
5.5 Προβλήματα περιστροφικών κινητήρων.....	70
5.6 Θόρυβοι κατά τη λειτουργία του περιστροφικού κινητήρα	72
5.7 Το πρόβλημα της υψηλής κατανάλωσης και η λύση από τη Mazda ...	73
6 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	79
6.1 Ο κινητήρας RENESIS της Mazda.....	79
6.2 Κρύα εκκίνηση του κινητήρα RENESIS.....	82
6.3 Σύστημα ψεκασμού σε κινητήρα RENESIS	82
6.4 Σύγκριση του κινητήρα RENESIS με τον 13B-REW.....	83
7 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	85
7.1 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα κινητήρα wankel	85
Συμπεράσματα.....	88
Πηγές - Βιβλιογραφία	89
Πηγές εικόνων - σχημάτων	90

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εργασία αυτή εκπονήθηκε από τους φοιτητές Βαρβαντάκη Λεωνίδα και Πούλιο Δημήτριο με επιβλέπων καθηγητή τον Δρ. Μίχο Φώτιο. Σκοπός της παρούσης εργασίας είναι η ανάλυση και η παρουσίαση της δομής, της λειτουργίας και των διαφορών που παρουσιάζει ο κινητήρας wankel σε σχέση με τους σύγχρονους συμβατικούς κινητήρες. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε επισκόπηση της σχετικής με το θέμα βιβλιογραφίας και από τους δυο φοιτητές. Λόγω του ότι οι αυτοκινητοβιομηχανίες εξελίσσουν καθημερινά τον συγκεκριμένο τύπο κινητήρα σε όλα του τα στάδια, έγινε προσπάθεια για την πλήρη κάλυψη του θέματος. Επιπλέον, ζητήθηκε η βοήθεια και από εξειδικευμένους σε αυτό το είδος μηχανικούς, οι οποίοι μέσα από προσωπικές συνεντεύξεις μας παρείχαν πληροφορίες σχετικά με τις τεχνικές και τα χαρακτηριστικά που αφορούν τον κινητήρα wankel.

Στο σημείο αυτό θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή Δρ. Μίχο Φώτιο, τόσο για το ότι μας εμπιστεύθηκε ώστε να φέρουμε εις πέρας το συγκεκριμένο θέμα, αλλά κυρίως για τη συνεργασία, τη στήριξη και τις πολύτιμες υποδείξεις καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας. Ευχαριστούμε ακόμη τον κ. Δημήτρη Γιαννόπουλο, μηχανικό των Αθηνών και γνώστη του παρόντος αντικειμένου, για τη συνεργασία και τις πληροφορίες που μας παρείχε κατά τη διάρκεια προσωπικής συνεντεύξεως.

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Ορισμός περιστροφικού κινητήρα

Ο περιστροφικός κινητήρας αποτελεί ένα τύπο κινητήρα εσωτερικής καύσης που εφευρέθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1950, από τον Γερμανό μηχανολόγο Felix Wankel. Το χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτού του κινητήρα είναι η περιστροφική κίνηση του εμβόλου του και αποτελεί και τη βασική διαφορά με τους κινητήρες Ντίζελ και Όττο, στους οποίους η κίνηση των εμβόλων είναι παλινδρομική^[1].

Το έμβολο του κινητήρα wankel διαφέρει από τα συνήθη έμβολά ως προς τα γεωμετρικά του στοιχεία. Το βασικό του σχήμα είναι το ισόπλευρο τρίγωνο και περιστρέφεται μέσα στον κύλινδρο της μηχανής, όπου γίνεται και η καύση. Το κέντρο του εμβόλου στηρίζεται στον εκκεντροφόρο άξονα της μηχανής, που στη συγκεκριμένη διάταξη αναλαμβάνει και ρόλο στροφαλοφόρου άξονα. Μέσα στο έμβολο υπάρχει και ομόκεντρο γρανάζι, πάνω στο οποίο «κρέμεται» το έμβολο κατά την περιστροφή του στον ελλειψοειδή κύλινδρο^[1].

1.2 Ιστορική αναδρομή

Εξήντα δύο χρόνια μετά από τη δημιουργία του πρώτου αυτοκινήτου με περιστροφικό κινητήρα wankel οι αυτοκινητοβιομηχανίες αξιοποιούν και εξελίσσουν καθημερινά την ιδέα του περιστροφικού κινητήρα wankel που εφηύρε ο Felix Wankel το 1954. Ο γερμανός μηχανολόγος - μηχανικός Felix Wankel γεννήθηκε το 1902 και πέθανε στις 9 Οκτωβρίου του 1988. Στα παιδικά του



Εικόνα 1: Felix Wankel (1902 – 1988)¹

χρόνια εγκατέλειψε το σχολείο και δημιούργησε με τη βοήθεια των φίλων του ένα εργαστήριο όπου συγκέντρωναν τα αγωνιστικά αυτόκινητα της εποχής και το 1924 κατάφεραν να ολοκληρώσουν το τρίτροχο όχημα Teufelskäfer (κάνθαρος του διαβόλου) όπου σύμφωνα με τα λεγόμενα η τελική του ταχύτητα άγγιζε τα 110 km/h, αριθμός αρκετά σημαντικός για την εποχή εκείνη^[2].

Από το 1924 και έπειτα ο Felix Wankel αποφάσισε να προσπαθήσει να δημιουργήσει ένα κινητήρα που θα εκτελούσε περιστροφική κίνηση για την παραγωγή έργου και όχι παλινδρομική κίνηση, όπως των περισσότερων μοντέλων εκείνης της εποχής. Έπειτα από τριάντα χρόνια προσωπικής προσπάθειας και χρηματοδότησης από κρατικούς φορείς ο Felix Wankel κατάφερε να δημιουργήσει τον πρώτο κινητήρα wankel (Wankel motor) το 1954 και να προωθηθεί έπειτα από τέσσερα χρόνια το 1958 με τύπο κινητήρα KKM 250. Πρόκειται για μεγάλη εφεύρεση από το μηχανολόγο – μηχανικό, ωστόσο ο πρωτοποριακός αυτός κινητήρας είχε και μερικά μειονεκτήματα, όπως η υψηλή κατανάλωση καύσιμου και η αυξημένη κατανάλωση λαδιού. Με την πάροδο των χρόνων οι αυτόκινητοβιομηχανίες προσπάθησαν να μειώσουν σημαντικά τα συγκεκρι-

μένα μειονεκτήματα. Τέλος, η ιδέα και ο κινητήρας χρησιμοποιήθηκε το 1967 σε ένα αυτοκίνητο παραγωγής, το NSU Ro 80, το οποίο παρόλο την αυξημένη ισχύ του κινητήρα του, που άγγιζε τους 115 ίππους, δε γνώρισε μεγάλη επιτυχία εξαιτίας της μεγάλης ευαισθησίας του κινητήρα^[2].

Από το 1954, όπου έγινε η πρώτη ανακάλυψη για τον κινητήρα wankel, έως και σήμερα πολλές αυτοκινητοβιομηχανίες στοχεύουν στη βελτιστοποίηση του κινητήρα και στην εξάλειψη των προβλημάτων που δημιουργούνται κατά τη λειτουργία του. Διάφορα οχήματα που φέρουν περιστροφικό κινητήρα είναι τα εξής:

1. Spider NSU Wankel

Το πρώτο αυτοκίνητο παραγωγής στον κόσμο που έφερε περιστροφικό κινητήρα. Παρουσιάστηκε στο σαλόνι αυτοκινήτου της Φρανκφούρτης, τον Σεπτέμβριο του 1963^[2].



Εικόνα 2: Spider NSU²

Πίνακας 1: Τεχνικά χαρακτηριστικά του Spider NSU Wankel^[3]

Γενικές πληροφορίες	
Μάρκα	NSU
Χρονολογία	1963
Μοντέλο	Wankel Spider
Σειρά	Wankel
Κατασκευαστής	NSU
Χώρα	Γερμανία
Αμάξωμα (Σασί)	
Αριθμός θυρών	2
Τύπος οχήματος	Κάμπριο coupe
Αριθμός θέσεων	2
Σχεδιαστής	Bertone
Χώρος επιβατών (όγκος)	3030 L

Διαστάσεις	
Μήκος	3632 mm
Απόβαρο	700 kg
Πλάτος	1524 mm
Ύψος	1260 mm
Μεταξόνιο	2020 mm
Εμπρόσθιο μετατρόχιο	1219 mm
Οπίσθιο μετατρόχιο	1270 mm
Χωρητικότητα καυσίμου	34 L
Μήκος / Ακτινικό μεταξόνιο	1.8 m
Αεροδυναμική	
Εμπρόσθια επιφάνεια	1.63 m ²
Πληροφορίες κινητήρα	
Συνολικός αριθμός κυλίνδρων	1
Τύπος κινητήρα	Ρότορας (Wankel)
Κατασκευαστής	NSU
Θέση κινητήρα	Πίσω μέρος
Καύσιμο	Βενζίνη
Κυβισμός	1000 cm ³
Σχέση συμπίεσης	8.5 : 1
Μέγιστη ισχύς εξόδου	37.3 kW ή 50.0 hp at 6000 rpm
Μέγιστη ροπή	71.0 N · m at 2500 rpm
Αεροσυμπιεστής	Όχι
Intercooler	Όχι
Μέγιστη ισχύς (ισχύς στους τροχούς)	13.4 kW
Ψυκτικό	Νερό
Καταλυτικός μετατροπέας	Όχι
Μετάδοση	
Τύπος μετάδοσης	Χειροκίνητη
Αριθμός σχέσεων	4
Τύπος κίνησης	Πισωκίνητο (τετρακίνητο)
Επιδόσεις	
Μέγιστη ταχύτητα	148 km / h
Επιτάχυνση (97 km / h)	16.70 s

2. NSU Ro 80

Παρουσιάστηκε στο κοινό το φθινόπωρο του 1967, στο σαλόνι της Φρανκφούρτης. Παρέμεινε στην παραγωγή για δέκα έτη και πούλησε 31295 μονάδες^[2].



Εικόνα 3: NSU Ro 80³

Πίνακας 2: Τεχνικά χαρακτηριστικά του NSU Ro 80^[4]

Γενικές πληροφορίες	
Μάρκα	NSU
Χρονολογία	1967
Μοντέλο	Ro 80
Σειρά	Ro
Κατασκευαστής	NSU
Χώρα	Γερμανία
Αμάξωμα (Σασί)	
Αριθμός θυρών	2
Χώρος επιβατών (όγκος)	5030 L
Διαστάσεις	
Μήκος	4790 mm
Απόβαρο	1210 kg
Πλάτος	1770 mm
Ύψος	1420 mm
Μεταξόνιο	2870 mm
Απόσταση από το έδαφος	120 mm
Χωρητικότητα καυσίμου	37 L
Μήκος / Ακτινικό μεταξόνιο	1.67 m
Αεροδυναμική	
Συντελεστής οπισθέλκουσας (Cd, Cx, Cw)	0.4
Μετωπική επιφάνεια	2.14 m ²
Αεροδυναμικός συντελεστής (Cd×A)	0.85 m ²
Αεροδυναμική αντίσταση στα 100 km/h (62 mph)	21.2 kW
Πληροφορίες κινητήρα	
Θέση κινητήρα	Μπροστά μέρος
Καύσιμο	Βενζίνη
Κυβισμός	2390 cm ³
Μέγιστη ισχύς εξόδου	85.0 kW ή 114.0 hp at 5500 rpm
Μέγιστη ροπή	162.0 N · m at 4500 rpm
Μέγιστη ισχύς (ισχύς στους τροχούς)	34.0 kW
Μετάδοση	
Τύπος μετάδοσης	Αυτόματη
Αριθμός σχέσεων	3
Τύπος κίνησης	Εμπρόσθιο

3. Mercedes C111

Πριν το τέλος της δεκαετίας του '60 χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη των νέων κινητήρων wankel και δοκιμάστηκε, για πρώτη φορά, από την Mercedes-Benz, σε ένα κινητό εργαστήριο. Η περιστροφική μηχανή του Wankel θεωρήθηκε ως πιθανός διάδοχος των εμβολοφόρων μηχανών και η Mercedes μαζί με τις General Motors, Peugeot, Mazda και NSU δούλεψαν σκληρά για να λύσουν τα διάφορα προβλήματα που παρουσίαζε (στεγανοποίηση και μεγάλη κατανάλωση καυσίμου)^[2].

Το πρώτο C111 κατασκευάστηκε το 1969, με μια μηχανή wankel τεσσάρων ρότορων. Είχε ιπποδύναμη 280 bhp και τελική ταχύτητα 160 mph, χάρη στην αεροδυναμική σχεδίασή του με αεροδυναμικό συντελεστή Cd 0.35. Η πίσω ανεξάρτητη ανάρτηση, που εξελίχθηκε για το C111, αποτέλεσε τη βάση του συστήματος πολλαπλών συνδέσμων. Πέντε μήνες αργότερα, περίπου, το C111-II είχε μια ισχυρότερη μηχανή (350 bhp) και βελτιωμένο αεροδυναμικό συντελεστή (Cd 0.325) δίνοντάς του μια τελική ταχύτητα πάνω από 185 mph και ενός αξιοπρόσεκτου χρόνου 0 – 62 mph σε 4,8 δευτερόλεπτα^[2].



Εικόνα 4: Mercedes C111⁴

4. GS (GZ) Birotor

Από το 1973 έως και το 1975 κατασκευάστηκαν συνολικά 813 GZ Birotors. Η περιστροφική μηχανή του κατασκευάστηκε από την Comotor, μια κοινοπραξία μεταξύ Citroen και NSU, ωστόσο το αυτόκίνητο παρουσίαζε αρκετά προβλήματα όπως μεγάλη κατανάλωση καυσίμου, ρυπογόνο λειτουργία και έλλειψη αξιοπιστίας^[2].

Ήταν εφοδιασμένο με περιστροφική μηχανή wankel δύο ροτόρων (1990 cc) που απέδιδε 101 bhp DIN / 6500 στροφές / λεπτό, υδρόψυκτο Bosch, ηλεκτρονική ανάφλεξη και διπλό καρμπυρατέρ Solex. Η μετάδοση βρισκόταν στον εμπρόσθιο άξονα, μέσω ημιαυτομάτου κιβωτίου τριών ταχυτήτων. Στο σύστημα πέδησης είχε δισκόφρενα στον εμπρόσθιο άξονα, ενώ στον οπίσθιο είχε ανεξάρτητη υδροπνευ-

ματική ανάρτηση. Τέλος, η κατανάλωση των καυσίμων του ήταν 13 L ανά 100 km^[2].



Εικόνα 5: GS (GZ) Birotor⁵

5. Cosmo Sport / Mazda 110S

Τον Μάιο του 1967, η Mazda λανσάρισε την πρώτη της γενιά Cosmo Sport με διπλό περιστροφικό κινητήρα, που είχε περάσει όλα τα τεστ καλής και αξιόπιστης λειτουργίας. Κατά τη διάρκεια των ελέγχων διανύθηκαν τρία εκατομμύρια χιλιόμετρα επί 6 έτη. Το Cosmo Sport έμεινε γνωστό σαν το πρώτο επιβατικό μαζικής παραγωγής με περιστροφικό κινητήρα 110 ίππων^[3].

Τον Ιούλιο του 1968, το Cosmo Sport 2^{ης} γενιάς έκανε το ντεμπούτο του με 128 ίππους, και ταχύτητα 200km/h. Ένα μήνα αργότερα, η Mazda πήρε μέρος στο "Μαραθώνιο των δρόμων" του Nürburging. Ύστερα από τρεισήμισι ημέρες τερμάτισε στην 4^η θέση, αποδεικνύοντας στον κόσμο την εκπληκτική αξιοπιστία και τον δυναμισμό του περιστροφικού κινητήρα^[3].

Στην Ευρώπη κυκλοφόρησαν περί τα 10 αυτοκίνητα αυτού του τύπου. Ένα εξαιρετικά διατηρημένο αυτοκίνητο Mazda Cosmo 110S, έτρεξε στον 12^ο Γύρο Αττικής, που έγινε από τον Σύλλογο Ιδιοκτητών Σπορ Αυτοκινήτων ΣΙΣΑ στις 20/3/2005, με συμμετοχή 77 κλασικών αυτοκινήτων και τερμάτισε πρώτο στην κατηγορία του (μέχρι 1300 cc). Αλλά και στις 29 Απριλίου έως 1 Μαΐου 2006 έτρεξε στο 8^ο

Κλασσικό Ράλλυ Ελλάδας και κατάφερε, μετά από ένα επεισοδιακό αγώνα, να βγει 1^ο στη γενική κατάταξη, από τα 55 αυτοκίνητα που συμμετείχαν^[3].



Εικόνα 6: Cosmo Sport / Mazda 110S⁶

Πίνακας 3: Τεχνικά χαρακτηριστικά του Cosmo Sport^[3]

Μήκος x Πλάτος x Ύψος	4155 x 1595 x 1180
Μεταξόνιο (mm)	2200
Μετατρόχιο (εμπρός / πίσω) (mm)	1250 / 1240
Βάρος (Kg)	940
Θέσεις	2
Τύπος κινητήρα	10A
Κυβισμός	982cc
Σχέση συμπίεσης	9.4
Μέγιστη ισχύς (ps / rpm)	110 / 7000
Μέγιστη ροπή (Kg · m / rpm)	13.3 / 3500
Μέγιστη ταχύτητα (Km / h)	185
Κύκλος στροφής (m)	4.9
Κιβώτιο ταχυτήτων	4 ταχυτήτων / χειροκίνητο
Αναρτήσεις (εμπρός / πίσω)	wishbone / de Dion
Φρένα (εμπρός / πίσω)	δισκόφρενο / ταμπούρο
Ελαστικά	6.45 – 14 – 4PR

6. Familia Rotary Coupe

Όταν λανσαρίστηκε η εξελιγμένη έκδοση του Cosmo Sport, ένα άλλο αισθησιακό όχημα μπήκε στην αγορά τον Ιούλιο του 1968. Η Mazda ανέπτυξε το ολοκαίνουριο Familia Rotary Coupe βασισμένο στο σχεδιαστικό μοντέλο Mazda RX-85, που αποκαλύφθηκε το προηγούμενο έτος στην Έκθεση του Τόκιο. Το Familia Rotary Coupe είχε τον ίδιο κινητήρα με το Cosmo και ταυτόχρονα προσέφερε άνεση στο εσωτερικό, όπως σ' ένα οικογενειακό αυτοκίνητο. Η Εταιρεία έφερε επίσης,

το υψηλής απόδοσης αυτό μοντέλο στους αγώνες Grand Prix της Σιγκαπούρης, όπου το Familia Rotary Sedan πήρε την 1η θέση, απόδεικνύοντας τον μεγάλο δυναμισμό του^[3].

Τον ίδιο χρόνο που το Coupe έκανε το ντεμπούτο του, ήλθε το τετράθυρο σεντάν, ανταποκρινόμενο στη ζήτηση των πελατών. Με την εισαγωγή του Familia Rotary SS, η Mazda είχε 3 στύλ καμπίνας: Ένα λεπτό και φουτουριστικό σπορ αυτοκίνητο, ένα σπορτίφ εύκολο στη χρήση κουπέ και ένα πραγματικό σεντάν^[3].



Εικόνα 7: Familia Rotary Coupe⁷

Πίνακας 4: Τεχνικά χαρακτηριστικά του Familia Rotary Coupe^[3]

Μήκος x Πλάτος x Ύψος	3830 x 1480 x 1345
Μεταξόνιο (mm)	2260
Μετατρόχιο (εμπρός / πίσω) (mm)	1200 / 1190
Βάρος (Kg)	805
Θέσεις	5
Τύπος κινητήρα	10A
Κυβισμός	982 cc
Σχέση συμπίεσης	9.4
Μέγιστη ισχύς (ps / rpm)	110 / 7000
Μέγιστη ροπή (Kg · m / rpm)	13.5 / 3500
Μέγιστη ταχύτητα (Km / h)	180
Κύκλος στροφής (m)	4.1
Κιβώτιο ταχυτήτων	4 ταχυτήτων / χειροκίνητο
Αναρτήσεις (εμπρός / πίσω)	strut / rigid
Φρένα (εμπρός / πίσω)	δισκόφρενο / ταμπούρο
Ελαστικά	6.15 – 13 – 4PR

7. Capella Rotary / Mazda RX-2

Τον Μάιο του 1970, έκαναν την εμφάνισή τους το Mazda Capella Rotary Sedan και το Rotary Coupe σαν κορυφαία μοντέλα της σειράς "Capella", η οποία είχε έντεκα παραλλαγές. Είχαν κινητήρα τύπου 12A με δύο ρότορες των 573 cc. Ο συνδυασμός της μεγάλης απόδοσης του περιστροφικού κινητήρα και το συμπαγές αμάξωμα είχαν σαν αποτέλεσμα μια εξαιρετική δυναμική αυτοκινήτου. Ένα χρόνο μετά την εισαγωγή των μοντέλων αυτών, η σειρά Capella επεκτάθηκε. Νέα προσθήκη ήταν η σειρά G, η οποία προσέδωσε άνετη οδηγική εμπειρία, λόγω του ταιριάσματος του περιστροφικού κινητήρα με πλήρες αυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων. Το 1972, η σειρά Capella υποδέχτηκε ένα άλλο μέλος, το GS11 εφοδιασμένο με υλικά υψηλής απόδοσης και κιβώτιο πέντε ταχυτήτων για αυξημένο δυναμισμό. Σαν αποτέλεσμα, η σειρά αυτή μπορούσε να δώσει ικανοποίηση σε όλους όσους ήθελαν ένα στιβαρό αμάξωμα, με εκδόσεις για όσους επιθυμούσαν εύκολη οδήγηση. Τα μοντέλα αυτά ικανοποίησαν κάθε είδους απαίτηση της αγοράς. Το 1974, με την ευαισθησία για το περιβάλλον και ιδιαίτερα την ποιότητα του αέρα, η Mazda έδωσε γρήγορα τη λύση. Η αντιρρυπαντική έκδοση AP, απέδειξε τη φιλικότητα του περιστροφικού κινητήρα σε σχέση με το περιβάλλον. Αποτέλεσμα των προσπαθειών της Εταιρείας για τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα υπήρξε ο αυξημένος αριθμός πωλήσεων του Capella Rotary. Η μοναδικότητα του αυτοκινήτου, η απόδοση και η φιλικότητα στο περιβάλλον το έκαναν διεθνώς αποδεκτό προϊόν. Το περιοδικό "American Road Test" το ανέδειξε ως το "Εισαγόμενο Αυτοκίνητο της Χρονιάς" για το 1972^[3].



Εικόνα 8: Capella Rotary / Mazda RX-2⁸

Πίνακας 5: Τεχνικά χαρακτηριστικά του Capella Rotary Coupe^[3]

Μήκος x Πλάτος x Ύψος	4150 x 1580 x 1395
Μεταξόνιο (mm)	2470
Μετατρόχιο (εμπρός / πίσω) (mm)	1285 / 1280
Βάρος (Kg)	950
Θέσεις	5
Τύπος κινητήρα	12 ^A
Κυβισμός	1146 cc
Σχέση συμπίεσης	9.4
Μέγιστη ισχύς (ps / rpm)	120 / 6500
Μέγιστη ροπή (Kg · m / rpm)	16.0 / 3500
Μέγιστη ταχύτητα (Km / h)	190
Κύκλος στροφής (m)	4.7
Κιβώτιο ταχυτήτων	4 ταχυτήτων / χειροκίνητο
Αναρτήσεις (εμπρός / πίσω)	strut / 4-link
Φρένα (εμπρός / πίσω)	δισκόφρενο / ταμπούρο
Ελαστικά	155SR13

8. Savanna / Mazda RX-3

Το σλόγκαν "περιστροφική ειδικότητα" χρησιμοποιήθηκε για τη διαφήμιση του σπορ σεντάν "Savanna" που κυκλοφόρησε τον Σεπτέμβριο του 1971. Έχοντας κινητήρα τύπου 10A, το Savanna, σε σχήμα σεντάν και κουπέ, προσέφερε εκπληκτική κατευθυντική σταθερότητα. Υπήρξε μεγάλη ζήτηση από το χώρο των αγώνων αυτοκινήτου. Η Mazda ανταποκρίθηκε με την προσφορά πολλών σπορ κιτ, από το επίπεδο 1 μέχρι το 3, δίνοντας αγωνιστικές ευκαιρίες στους κατόχους του Savanna^[3].

Από το 1972, έγινε διαθέσιμη και η έκδοση με αυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων. Επιπλέον, τον ίδιο χρόνο, το "Savanna Sport Wagon" προστέθηκε στη λίστα των διαθέσιμων μοντέλων. Τον Σεπτέμβριο 1972 έγινε διαθέσιμο το Savanna GT με τον ισχυρό συνδυασμό του περιστροφικού κινητήρα τύπου 12A και του κιβωτίου 5 ταχυτήτων. Σαν αποτέλεσμα, η σειρά Savanna προσέφερε πλέον μεγάλο πλήθος επιλογών, έχοντας 4 σεντάν, 6 κουπέ και 1 βάγκον. Το Sport Wagon, μεταξύ των άλλων, κατέκτησε τη φήμη ενός υψηλής απόδοσης αυτοκινήτου πολλαπλών χρήσεων. Το πολυτάλαντο βάγκον αποδείχθηκε ένας αξιόπιστος οδηγικός σύντροφος για ευχάριστες δραστηριότητες, αλλά επίσης και ένας σύντροφος για δουλειά. Η νέα γενιά εμφανίστηκε τον Ιούνιο 1973 και ενσωμάτωνε μέτρα βελτίωσης της ασφάλειας και της φιλικότητας προς το περιβάλλον. Ταυτόχρονα, περιελάμβανε την υιοθέτηση του AP αντιρρυπαντικού κινητήρα με σκοπό τη μείωση της ατμοσφαιρικής μόλυνσης. Έτσι, το Savanna έγινε το δεύτερο αυτοκίνητο Mazda, μετά το Luce, στο οποίο απονεμήθηκε το προνόμιο χαμηλότερης φορολόγησης για αυτοκίνητα χαμηλών ρύπων. Το 1975, συνεχίστηκαν τα αντιρρυπαντικά μέτρα, με την προσφορά της περιστροφικής μονάδας REAPS-5, η οποία μείωσε περισσότερο την εκπομπή ρύπων και βελτίωσε την οικονομία καυσίμων κατά 40%. Σαν αποτέλεσμα, το Savanna συνδύαζε εκπληκτική δυναμική αυτοκινήτου και ταυτόχρονα συμβατότητα με το περιβάλλον^[3].



Εικόνα 9: Savanna / Mazda RX-3⁹

Πίνακας 6: Τεχνικά χαρακτηριστικά του Savanna^[3]

Μήκος x Πλάτος x Ύψος	4065 x 1595 x 1375
Μεταξόνιο (mm)	2310
Μετατρόχιο (εμπρός / πίσω) (mm)	1300 / 1290
Βάρος (Kg)	870
Θέσεις	5
Τύπος κινητήρα	10A
Κυβισμός	982 cc
Σχέση συμπίεσης	9.4
Μέγιστη ισχύς (ps / rpm)	105 / 7000
Μέγιστη ροπή (Kg · m / rpm)	13.7 / 3500
Μέγιστη ταχύτητα (Km / h)	175
Κύκλος στροφής (m)	4.3
Κιβώτιο ταχυτήτων	4 ταχυτήτων / χειροκίνητο
Αναρτήσεις (εμπρός / πίσω)	strut / 4-link
Φρένα (εμπρός / πίσω)	δισκόφρενο / ταμπούρο
Ελαστικά	6.15-13-4PR

9. Luce Rotary Coupe / Mazda R130 Coupe

Στο περίπτερο της Mazda στην 15η Έκθεση Αυτοκινήτου του Τόκιο, υπήρχε ένα μοντέλο concept, με την κωδική ονομασία RX-87, που αποκαλύφθηκε τον Οκτώβριο του 1969 με τη μορφή ενός εμπροσθοκίνητου προσωπικού αυτοκινήτου πολυτελείας. Το Luce Rotary Coupe διαφοροποιήθηκε από τα προηγούμενα μοντέλα 3 ροτόρων με τον κινητήρα του τύπου 13A, ο οποίος είχε μόλις αναπτυχθεί και είχε δύο ρότορες των 655 cc^[3].

Ο τύπος 13A απέδιδε μέγιστη ισχύ 126 ps στις 6000 στροφές, δυναμικό περισσότερο από αρκετό για την νέα εποχή μετακινήσεων υψηλής ταχύτητας. Το Mazda Luce Rotary Coupe χάριζε ζηλευτή οδήγηση χάρη στην αθόρυβη μηχανή και το αεροδυναμικό αμάξωμα^[3].



Εικόνα 10: Luce Rotary Coupe / Mazda R130 Coupe¹⁰

Πίνακας 6: Τεχνικά χαρακτηριστικά του Luce Rotary Coupe^[3]

Μήκος x Πλάτος x Ύψος	4585 x 1635 x 1385
Μεταξόνιο (mm)	2580
Μετατρόχιο (εμπρός / πίσω) (mm)	1330 / 1325
Βάρος (Kg)	1185
Θέσεις	5
Τύπος κινητήρα	13A
Κυβισμός	1310 cc
Σχέση συμπίεσης	9.1
Μέγιστη ισχύς (ps / rpm)	126 / 6000
Μέγιστη ροπή (Kg · m / rpm)	17.5 / 3500
Μέγιστη ταχύτητα (Km / h)	190
Κύκλος στροφής (m)	5.3
Κιβώτιο ταχυτήτων	4 ταχυτήτων / χειροκίνητο
Αναρτήσεις (εμπρός / πίσω)	wishbone / semi-trailing arm
Φρένα (εμπρός / πίσω)	δισκόφρενο / ταμπούρο
Ελαστικά	165HR15

10. Luce Rotary / Mazda RX-4

Η νέα γενεά Luce εμφανίστηκε τον Οκτώβριο του 1972. Εφοδιασμένο με κινητήρα τύπου 12A, των δύο ροτόρων που ο κάθε ένας είχε κυβισμό 573 cc. Το νέο Mazda Luce προσέφερε τρεις παραλλαγές και συγκεκριμένα ένα hardtop, ένα σεντάν και ένα ειδικής κατασκευής. Με όρους στρατηγικής, το αυτοκίνητο θεωρείτο ως η ναυαρχίδα των επιβατικών μοντέλων περιστροφικού κινητήρα της εταιρείας, όσον αφορά στην κληρονομία και στην αναμενόμενη απόδοση του οχήματος. Παρέχοντας περιβαλλοντική συμβατότητα, το Luce Rotary έγινε το ίνδαλμα των αυτοκινήτων με περιστροφικό κινητήρα. Το Luce Rotary ήταν το πρώτο μοντέλο που συνδύαζε την ιδέα του πολυτελούς

και του σπορ, την τρυφερή εικόνα των περιστροφικών αυτοκινήτων Mazda. Το 1973, η άποψη της πολυτέλειας αυξήθηκε ακόμη περισσότερο με την προσθήκη πλαισίου με απομίμηση ξύλου στην πλευρά της καμπίνας, με την εισαγωγή του νέου Luce Wagon. Με τον επιτυχημένο διάδοχο του Savanna Sport Wagon, η Mazda ήταν ικανή να προσελκύσει ένα ευρύτερο πλήθος πελατών χάρις στην άνεση της καμπίνας, τον ισχυρό δυναμισμό και την πολλαπλή χρησιμότητα. Το Luce Wagon και η αδελφική έκδοση Grand Turismo εμφανίστηκαν ταυτόχρονα με περιστροφικό κινητήρα τύπου 13B με το λογότυπο AP, ο οποίος σήμαινε ότι ήταν μια μηχανή με λιγότερα καυσαέρια στην ατμόσφαιρα. Τα δύο μοντέλα έδειξαν καθαρά ότι ο περιστροφικός κινητήρας ήταν ο βέλτιστος των δύο κόσμων αναφορικά με τα θέματα περιβάλλοντος και με την παροχή οδηγικής ευχαρίστησης^[3].

Μετά από διάφορες μηχανικές μετατροπές και αλλαγές όψης, το Luce Rotary ωρίμασε ακόμη περισσότερο, ώστε να προσφέρει βελτιωμένη απόδοση, αξιοπιστία, οικονομία και φιλικότητα με το περιβάλλον, απόψεις που συνήθως ανταγωνίζονται η μία με την άλλη, αλλά που κάλλιστα συνυπήρχαν σε ένα όχημα. Όντας όχι μόνο σπορ αλλά και πολυτελής, το Luce Rotary απέδειξε την ευρύτητα εφαρμογής του περιστροφικού κινητήρα και ενίσχυσε την εικόνα και την εκτίμηση της εταιρείας^[3].



Εικόνα 11: Luce Rotary / Mazda RX-4¹¹

Πίνακας 7: Τεχνικά χαρακτηριστικά του Luce Rotary Sedan^[3]

Μήκος x Πλάτος x Ύψος	4240 x 1670 x 1410
Μεταξόνιο (mm)	2510
Μετατρόχιο (εμπρός / πίσω) (mm)	1380 / 1370
Βάρος (Kg)	1035
Θέσεις	5
Τύπος κινητήρα	12A
Κυβισμός	1146 cc
Σχέση συμπίεσης	9.1
Μέγιστη ισχύς (ps / rpm)	126 / 6000
Μέγιστη ροπή (Kg · m / rpm)	17.5 / 3500
Μέγιστη ταχύτητα (Km / h)	190
Κύκλος στροφής (m)	5.3
Κιβώτιο ταχυτήτων	4 ταχυτήτων / χειροκίνητο
Αναρτήσεις (εμπρός / πίσω)	wishbone / semi-trailing arm
Φρένα (εμπρός / πίσω)	δισκόφρενο / ταμπούρο
Ελαστικά	165HR15

11. Parkway Rotary 26

Τον Ιούλιο του 1974 βγήκε στην παραγωγή το πρώτο λεωφορείο με περιστροφικό κινητήρα. Εξοπλισμένο με την πιο ισχυρή περιστροφική μηχανή, ισχύος 135 ps, πρόσφερε μια ταχύτητα ταξιδιού 120 km/h, χαμηλού θορύβου και λίγων ταλαντώσεων. Ήταν διαθέσιμο σε δύο εκδόσεις: μια Deluxe 26 θέσεων, με προαιρετικό κλιματισμό, που έπαιρνε κίνηση από μια υπομηχανή και μια λουξ 13 επιβατών, με πλήρη εξοπλισμό πολυτελείας. Το μοναδικό αυτό μοντέλο απέδειξε ότι η περιστροφική μηχανή δεν ήταν μόνο για τα επιβατικά αυτόκίνητα^[2].



Εικόνα 12: Parkway Rotary 26¹²

Πίνακας 8: Τεχνικά χαρακτηριστικά του Parkway Rotary 26^[3]

Μήκος x Πλάτος x Ύψος	6195 x 1980 x 2295
Μεταξόνιο (mm)	3285
Μετατρόχιο (εμπρός / πίσω) (mm)	1525 / 1470
Βάρος (Kg)	2835
Θέσεις	26
Τύπος κινητήρα	13B
Κυβισμός	1308 cc
Σχέση συμπίεσης	9.4
Μέγιστη ισχύς (ps / rpm)	135 / 6500
Μέγιστη ροπή (Kg · m / rpm)	18.3 / 4000
Μέγιστη ταχύτητα (Km / h)	120
Κύκλος στροφής (m)	6.7
Κιβώτιο ταχυτήτων	4 ταχυτήτων / χειροκίνητο
Αναρτήσεις (εμπρός / πίσω)	rigid axle / rigid axle
Φρένα (εμπρός / πίσω)	δισκόφρενο / ταμπούρο
Ελαστικά	6.50-16-8PRLT

12. Cosmo AP / Mazda RX-5

Τον Οκτώβριο του 1975, η Mazda παρήγαγε το νέο "Cosmo AP", με την προσδοκία ότι το νέο μοντέλο θα πρωτοπορούσε στην κατηγορία των ειδικών πολυτελών αυτοκινήτων, ή με άλλα λόγια, στην κατηγορία του προσωπικού σπορ κουπέ. Η επανεμφάνιση στο προσκήνιο του θρυλικού ονόματος του Cosmo, που αρχικά χρησιμοποιήθηκε για το πρώτο σπορ κουπέ περιστροφικού κινητήρα, έδειξε για μια ακόμη φορά, την εμπιστοσύνη της Mazda στο προϊόν^[3].

Το Cosmo AP αναδείκνυε δύο τύπους περιστροφικού κινητήρα, τον 12A και τον 13B, και προσέφερε δέκα παραλλαγές αμαξώματος και μηχανής^[3].

Οι αναλογίες του χαμηλού ύψους και του πλάτους έδιναν έμφαση στο μακρύ εμπρόσθιο μέρος, με το αεροδυναμικό διακοσμητικό που ήταν ενσωματωμένο στον εμπρόσθιο προφυλακτήρα. Το Cosmo AP επεδείκνυε μια εικόνα ανεγνωρισμένου κύρους και έδινε την απόδοση που ανεμένετο από ένα υψηλής στάθμης και ξεχωριστής κατηγορίας αυτοκίνητο στην Ιαπωνική αγορά^[3].

Τα σπορ χαρακτηριστικά του τονίστηκαν έτι περισσότερο τον Ιούλιο του 1977, όταν η εταιρεία λανσάρισε το Cosmo L. Κομψό, ευκίνητο και άνετο, το Cosmo AP, ειδικά το κόκκινου χρώματος της τηλεοπτικής εμφάνισης, είχε τη μεγαλύτερη απήχηση στην εποχή του^[3].



Εικόνα 13: Cosmo AP / Mazda RX-5¹³

Πίνακας 9: Τεχνικά χαρακτηριστικά του Cosmo AP^[3]

Μήκος x Πλάτος x Ύψος	4545 x 1685 x 1325
Μεταξόνιο (mm)	2510
Μετατρόχιο (εμπρός / πίσω) (mm)	1380 / 1370
Βάρος (Kg)	1200
Θέσεις	5
Τύπος κινητήρα	12A
Κυβισμός	1146 cc
Σχέση συμπίεσης	9.4
Μέγιστη ισχύς (ps / rpm)	125 / 6500
Μέγιστη ροπή (Kg · m / rpm)	16.5 / 4000
Μέγιστη ταχύτητα (Km / h)	185
Κύκλος στροφής (m)	5
Κιβώτιο ταχυτήτων	5 ταχυτήτων χειροκίνητο / 3 ταχυτήτων αυτόματο
Αναρτήσεις (εμπρός / πίσω)	strut / 5-link
Φρένα (εμπρός / πίσω)	δισκόφρενο / ταμπούρο
Ελαστικά	185 / 70SR14

13. Roadpacer AP

Τον Μάρτιο του 1975 βγήκε στη γραμμή παραγωγής ένα “σεντάν” κανονικών διαστάσεων. Η GM - Holden της Αυστραλίας κατασκεύασε ορισμένα από τα μέρη του αμαξώματος και της μηχανής. Το AP Roadpacer πωλήθηκε κυρίως γιατί προσφερόταν με σοφέρ για τους ανώτερους υπαλλήλους επιχειρήσεων, αλλά ήταν επίσης και ελκυ-

στικό ως αριστοκρατικό προσωπικό αυτοκίνητο. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε τρία έτη παρήχθησαν πάνω από 800 μονάδες^[2].



Εικόνα 14: Roadpacer AP¹⁴

Πίνακας 10: Τεχνικά χαρακτηριστικά του Roadpacer AP^[3]

Μήκος x Πλάτος x Ύψος	4850 x 1885 x 1465
Μεταξόνιο (mm)	2830
Μετατρόχιο (εμπρός / πίσω) (mm)	1530 / 1530
Βάρος (Kg)	1575
Θέσεις	5
Τύπος κινητήρα	13B
Κυβισμός	1308 cc
Σχέση συμπίεσης	9.4
Μέγιστη ισχύς (ps / rpm)	135 / 6000
Μέγιστη ροπή (Kg · m / rpm)	19.0 / 4000
Μέγιστη ταχύτητα (Km / h)	165
Κύκλος στροφής (m)	5.7
Κιβώτιο ταχυτήτων	3 ταχυτήτων αυτόματο
Αναρτήσεις (εμπρός / πίσω)	wishbone / 4-link
Φρένα (εμπρός / πίσω)	δισκόφρενο / ταμπούρο
Ελαστικά	7.50-14-4PR

14. Luce Legato / Mazda 929L

Το Mazda Luce Legato εισήλθε σαν το κορυφαίο της σειράς τον Οκτώβριο του 1977^[3].

Οι διαθέσιμοι κινητήρες για το Luce Legato συμπεριελάμβαναν τον τύπο 13B με ισχύ 135 ps και τον τύπο 12A με 125 ps. Στην αγορά ήταν διαθέσιμο με 4πορτο hardtop άνευ κολώνας, ως επίσης και ως κανονικό σεντάν. Βασισμένο στη σχεδιαστική ιδέα της "Ποιότητας, Καλαισθησίας και Γοητείας", το Luce Legato διεκρίνετο από τη μοναδική

εμπρόσθια σχεδίαση, που εκφράζεται από τους αξέχαστους κάθετους διπλούς προβολείς^[3].

Για να ανταποκριθεί στις διαφορετικές απαιτήσεις των πελατών, η γκάμα του Legato αποτελείτο από μια εκτενή οικογένεια. Παραδείγματος χάριν, η πιο πολυτελής "περιορισμένη" έκδοση προσέφερε τρία είδη κιβωτίων, ένα 5τάχυτο χειροκίνητο και δύο αυτόματα, τα RE-matic, με τον λεβιέ στον κεντρικό άξονα ή στην κολώνα του τιμονιού. Σαν αποτέλεσμα της διαφορετικής στρατηγικής, το 4πορτο hardtop άνευ κολώνας υπήρχε σε τρία μοντέλα με δέκα τύπους, ενώ το σεντάν υπήρχε σε τέσσερις παραλλαγές και δέκα τύπους^[3].



Εικόνα 15: Luce Legato / Mazda 929L¹⁵

Πίνακας 11: Τεχνικά χαρακτηριστικά του Luce Legato^[3]

Μήκος x Πλάτος x Ύψος	4625 x 1690 x 1410
Μεταξόνιο (mm)	2610
Μετατρόχιο (εμπρός / πίσω) (mm)	1430 / 1400
Βάρος (Kg)	1230
Θέσεις	5
Τύπος κινητήρα	12A
Κυβισμός	1146 cc
Σχέση συμπίεσης	9.4
Μέγιστη ισχύς (ps / rpm)	125 / 6500
Μέγιστη ροπή (Kg · m / rpm)	16.5 / 4000
Μέγιστη ταχύτητα (Km / h)	-
Κύκλος στροφής (m)	5.7
Κιβώτιο ταχυτήτων	4-5 ταχυτήτων χειροκίνητο / 3 ταχυτήτων αυτόματο
Αναρτήσεις (εμπρός / πίσω)	strut / 5-link
Φρένα (εμπρός / πίσω)	δισκόφρενο / ταμπούρο
Ελαστικά	7.50-14-4PR

15. Savanna RX7 / Mazda RX7 (1^η ΓΕΝΙΑ)

Το εντυπωσιακό όνομα του Savanna ξαναζωντάνεψε το 1978. Η εντελώς νέα γενιά Savanna με τον κωδικό RX-7 αναπτύχθηκε με βάση την δεκαετή εμπειρία στον περιστροφικό κινητήρα. Κάνοντας την καλύτερη χρήση των πλεονεκτημάτων του κινητήρα, το Savanna RX-7 εντυπωσίασε με τον νέο τύπο κινητήρα 12A που τοποθετήθηκε στο πίσω μέρος του χώρου μηχανής^[3].

Ο κινητήρας, αποδίδοντας 130 ίππους, έδωσε στο αεροδυναμικό RX-7 ένα εκπληκτικό επίπεδο δυναμικής, σύμφωνα με το θέμα ανάπτυξης "το αποκορύφωμα της οδήγησης σπορ αυτοκινήτου". Η υπέροχη αεροδυναμική σιλουέτα τονίστηκε ακόμη περισσότερο από τα αποσυρόμενα μπροστινά φώτα και ταυτόχρονα έδωσε εντύπωση ταχύτητας στο σπορ κουπέ. Επιδεικνύοντας ένα άψογο σπορ αυτοκίνητο με εκπληκτική απόδοση, το Mazda Savanna RX-7 έγινε αντικείμενο μεγάλου ενθουσιασμού^[3].

Το RX-7 ανακηρύχθηκε νικητής σε διάφορες διοργανώσεις διαγωνισμών από περιοδικά παγκοσμίως. Στη Αμερική το RX-7 κέρδιζε επί 8 έτη στο πρωτάθλημα των Κατασκευαστών - 1980 έως 1988. Τα κατορθώματά του δε στους αγώνες ήταν μια ακόμα απόδειξη της ανωτερότητάς του. Το Νοέμβριο του 1980, έγιναν το αποκαλυπτήρια της δεύτερης γενιάς του RX-7, με μειωμένο βάρος και δισκόφρενα σε όλους τους τροχούς. Ακόμη, τον Μάρτιο του 1982, ο καταξιωμένος κινητήρας 12A εξελίχθηκε με τη νέα έκδοση RE6PI. Το 1983, σαν αποτέλεσμα συνεχούς ανάπτυξης, το RX-7 ξεπέρασε τα όρια απόδοσης ακόμη περισσότερο με την εισαγωγή μονάδας turbo, επιτυγχάνοντας ισχύ 165 ίππων^[3].



Εικόνα 16: Savanna RX7 / Mazda RX7 (1^η ΓΕΝΙΑ)¹⁶

Πίνακας 12: Τεχνικά χαρακτηριστικά του Savanna RX7^[3]

Μήκος x Πλάτος x Ύψος	4285 x 1675 x 1260
Μεταξόνιο (mm)	2420
Μετατρόχιο (εμπρός / πίσω) (mm)	1420 / 1400
Βάρος (Kg)	1005
Θέσεις	4
Τύπος κινητήρα	12A
Κυβισμός	1146 cc
Σχέση συμπίεσης	9.4
Μέγιστη ισχύς (ps / rpm)	130 / 7000
Μέγιστη ροπή (Kg · m / rpm)	16.5 / 4000
Μέγιστη ταχύτητα (Km / h)	-
Κύκλος στροφής (m)	4.8
Κιβώτιο ταχυτήτων	5 ταχυτήτων χειροκίνητο/ 3 ταχυτήτων αυτόματο
Αναρτήσεις (εμπρός / πίσω)	strut / 4-link
Φρένα (εμπρός / πίσω)	δισκόφρενο / ταμπούρο
Ελαστικά	185-70S-R13

16. Cosmo

Τον Οκτώβριο του 1981 βγήκε στην παραγωγή η 3^η γενιά Cosmo, ως προσωπικό αυτοκίνητο, με στόχο να καλύψει τις καθημερινές ανάγκες. Προσφέρθηκαν τρεις παραλλαγές αμαξωμάτων: 2πορτα και 4πορτα. Αρχικά εγκαταστάθηκαν ο 6PI περιστροφικός κινητήρας τύπου 12A, ο τύπος 13B με το ηλεκτρονικά ελεγχόμενο σύστημα ψεκασμού και ο τύπος 12A με το τούρμπο. Χάρη στην ανεξάρτητη

και ηλεκτρονικά ελεγχόμενη ανάρτηση, το Cosmo ήταν γρήγορο και μια “καθαρή” ευχαρίστηση για αυτόν που το οδηγούσε^[2].



Εικόνα 17: Cosmo¹⁷

17. Luce / Mazda 929

Η 3^η γενιά Luce βγήκε στη παραγωγή τον Οκτώβριο του 1981, ταυτόχρονα με το Cosmo. Η σειρά περιελάμβανε ένα 4πορτο αμάξωμα, το οποίο ήταν εξοπλισμένο με ένα παλινδρομικό κινητήρα 2 L και μια 12A περιστροφική μηχανή. Το Cosmo ήταν το πρώτο όχημα με περιστροφικό κινητήρα και με ανεξάρτητη ανάρτηση. Αργότερα, το Luce υποβλήθηκε σε ένα εκτεταμένο “λίφτινγκ” και τροποποιήθηκε στο οπίσθιο και εμπρόσθιο μέρος. Τα νέα κορυφαία μοντέλα της σειράς ήταν εξοπλισμένα με 12A κινητήρα τούρμπο ή με την 13B περιστροφική μηχανή, η οποία έφερε κομπρέσορα^[2].



Εικόνα 18: Luce / Mazda 929¹⁸

18. Luce

Τον Σεπτέμβριο του 1986 βγήκε στη γραμμή παραγωγής η 5^η γενιά Luce, η οποία είχε ως σκοπό να συνδυάσει την πολυτέλεια του “σεντάν” με τις “σπορ” επιδόσεις της περιστροφικής μηχανής. Με την ισχυρή 13B περιστροφική μηχανή του, απέδιδε μέγιστη δύναμη 180 ps, ενώ συνδυασμένο με την πρόσφατα αναπτυγμένη αυτόματη μετάδοση, πραγματοποιούσε ομαλότερη και γρηγορότερη επιτάχυνση. Τέλος, το ιδιαίτερα άκαμπτο αμάξωμά του, λόγω των δοκών οροφής και μετώπης, οδήγησε σε ένα υψηλό επίπεδο απόδοσης και άνεσης^[2].



Εικόνα 19: Luce¹⁹

19. Eunox Cosmo

Το 1968, που το Mazda Cosmo Sport έκανε την εμφάνισή του, έγινε αισθητή η εντύπωση και ο θαυμασμός. Τον Μάρτιο του 1990, 23 έτη μετά, το ολοκαίνουριο Eunox Cosmo πήρε σάρκα και οστά με τον νεοσχεδιασμένο κινητήρα τριών ροτόρων και με διπλούς υπερτροφοδότες. Κάθε ρότορας των 654 cc, απέδιδε μέγιστη ισχύ 280 ps και μέγιστη ροπή 41kg / m. Ο κινητήρας αυτός ήταν καταπληκτικά αθόρυβος και σχεδόν χωρίς κραδασμούς. Ήταν αποτέλεσμα του σχεδιασμού των 3 ροτόρων και ήταν συγκρίσιμος με τον εμβολοφόρο V12. Ο κινητήρας, ρυθμιζόμενος από διάφορους αισθητήρες και έναν κεντρικό μικροεπεξεργαστή, έδινε εντυπωσιακή ενέργεια με τη βοήθεια των διαδοχικών υπερτροφοδοτών. Επιπροσθέτως, υπήρχε ένα αρ-

χικό σύστημα περιστροφής, ώστε ο υπερτροφοδότης να μη δημιουργεί απότομες εναλλαγές όταν ανοίγει η δεύτερη τουρμπίνα. Ο μηχανισμός χρονικής αλληλουχίας πέτυχε να παρέχει σταθερή ροπή στρέψης και ταχύτατη απόκριση γκαζιού. Με ένα ολοκληρωμένο ταμπλό και ένα υψηλής στάθμης υπολογιστικό σύστημα, κρυμμένο στο εσωτερικό, έδινε τη δυνατότητα παρατήρησης σε οθόνη CRT δεδομένων δορυφορικής πλοήγησης (GPSS)^[3].

Ο κινητήρας, άκρως αποτελεσματικός, με τη γιγαντιαία ισχύ και ροπή στρέψης, ήταν με ακρίβεια ελεγχόμενος από ηλεκτρονική ευφυΐα, επιτυγχάνοντας λεπτή ρύθμιση εισόδων και εξόδων αέρα. Επιπλέον, το αυτόματο κιβώτιο που έδινε την υπέροχη δύναμη στους πίσω τροχούς, ελεγχόταν από έναν μικροεπεξεργαστή. Η ολοκλήρωση των συστημάτων των επί μέρους υπολογιστικών μονάδων έδινε τη σιγουριά ότι η τερατώδης ισχύς του Eunios Cosmo ήταν ασφαλής σ' αυτό το άνετο και αξιόπιστο υπερπολυτελές σπορ αμάξι. Το σύστημα ελέγχου του κλιματισμού, ελεγχόμενο επίσης από υπολογιστή, παρείχε λεπτές ρυθμίσεις, παρακολουθώντας τις πάνω και κάτω περιοχές, καθώς επίσης και τις δεξιές και αριστερές ζώνες. Το εσωτερικό του Eunios Cosmo διατηρείτο σε συνθήκες άνεσης για όλους τους επιβάτες, με τη δυνατότητα αλλαγής στρατηγικής ελέγχου στιγμιαία, παραδείγματος χάριν σε περίπτωση όπου εμφανίζεται δυνατός ήλιος μόνον από τη μια πλευρά του αυτοκινήτου. Το Eunios Cosmo δεν ήταν μόνο ένα μέσο για τη μετακίνηση από το ένα σημείο στο άλλο. Με την υπογραφή της εικοσιτριάχρονης εμπειρίας της Mazda και τον ενθουσιασμό για τον περιστροφικό κινητήρα, το Eunios Cosmo πρόσφερε κάτι περισσότερο (extra) που το διαφοροποίησε από τα συνηθισμένα μέσα μεταφοράς^[3].



Εικόνα 20: Eunos Cosmo²⁰

Πίνακας 13: Τεχνικά χαρακτηριστικά του Eunos Cosmo^[3]

Μήκος x Πλάτος x Ύψος	4815 x 1795 x 1305
Μεταξόνιο (mm)	2750
Μετατρόχιο (εμπρός / πίσω) (mm)	1520 / 1510
Βάρος (Kg)	1610
Θέσεις	4
Τύπος κινητήρα	20B-REW
Κυβισμός	1962 cc
Σχέση συμπίεσης	9
Μέγιστη ισχύς (ps / rpm)	280 / 6500
Μέγιστη ροπή (Kg · m / rpm)	41.0 / 3000
Μέγιστη ταχύτητα (Km / h)	-
Κύκλος στροφής (m)	5.6
Κιβώτιο ταχυτήτων	4 ταχυτήτων αυτόματο
Αναρτήσεις (εμπρός / πίσω)	wishbone / multi-link
Φρένα (εμπρός / πίσω)	δισκόφρενο / δισκόφρενο
Ελαστικά	215-60-R15 90H

20. Savanna RX-7 / Mazda RX-7 (2^η ΓΕΝΙΑ)

Η 2^η γενιά του Savanna RX-7 παρουσιάστηκε στην αγορά τον Σεπτέμβριο του 1985, ενώ οι πωλήσεις άρχισαν τον επόμενο μήνα. Ο αρχικός κινητήρας ήταν τύπου 13B με διπλούς “turbochargers” και “inter-cooler” για αυξημένη αποδοτικότητα. Αναβαθμίστηκε τον Μάρτιο του 1989 για να συμπέσει με το χρόνο των εξωτερικών βελτιώσεων. Ο επαναστατικός κινητήρας είχε ελαφρότερο σφόνδυλο και ρότορες για καλύτερη απόκριση και ταυτόχρονα, η αυξημένη πίεση, ελεγχόμενη ηλεκτρονικά, είχε σαν αποτέλεσμα μεγάλη ισχύ (205 ίππους) και ροπή 27,5 kg / m. Στοχεύοντας υψηλότερα επίπεδα, το νέο

Mazda RX-7 ήταν εξοπλισμένο με μοντέρνα ανάρτηση πολλαπλών συνδέσμων και μηχανισμό οδήγησης 4 WS (four-wheel steering), με κομψή φόρμα, που ανέδυε ένα μίγμα δύναμης και καλαισθησίας. Αναφορικά με το εσωτερικό του, ο κλιματισμός διατηρούσε άνεση υπό οποιεσδήποτε συνθήκες, ενώ το ηχητικό σύστημα υψηλής πιστότητας δημιουργούσε την ατμόσφαιρα μιας κινητής προσωπικής αίθουσας συναυλιών. Με αυτά τα υψηλής στάθμης λειτουργικά χαρακτηριστικά, το RX-7 διεύρυνε τη γκάμα των πελατών του, η οποία περιοριζόταν αρχικά στους νέους και στους πνευματώδεις^[3].

Η έκδοση της δεύτερης γενιάς ήταν μια πρόκληση γι' αυτούς που ήθελαν κάτι γνήσιο και ξεχωριστό, ανεξαρτήτως φύλου ή ηλικίας. Η περιορισμένη έκδοση "Enfini" είχε μια πιο σπορ ανάρτηση, ελαφρότερο σασί και μείον τα πίσω καθίσματα, για ένα πνευματώδες διθέσιο^[3].

Τον Αύγουστο του 1987, που η ιστορία του περιστροφικού κινητήρα της Εταιρείας μπήκε στην τρίτη δεκαετία, εισήλθε στην αγορά το Cabriolet που σύντομα έγινε συνώνυμο της ανεπανάληπτης επιτυχίας. Το διθέσιο Cabriolet παρείχε άνεση και ευχαρίστηση από την ανοικτή οροφή, χάρη στην ύπαρξη ενός αεροπετάσματος που εμπόδιζε την ανεπιθύμητη επιστροφή του αέρα από το πίσω μέρος. Επίσης, η ηλεκτρικά ενεργοποιούμενη κουκούλα είχε τρεις σχηματισμούς, για αυξημένη ευχέρεια. Το πλήρως δερμάτινο εσωτερικό, ταιριασμένο με το δυναμισμό του περιστροφικού κινητήρα, έδινε την εγγύηση μιας υπέροχης εμπειρίας σπορ και κομψής οδήγησης. Με τη γνήσια ευχαρίστηση από την οδήγηση, και την καταπληκτική άνεση, το Mazda Savanna RX-7 Cabriolet έγινε η εικόνα - σύμβολο της σειράς αυτής^[3].



Εικόνα 21: Savanna RX-7 / Mazda RX-7 (2^η ΓΕΝΙΑ)²¹

Πίνακας 14: Τεχνικά χαρακτηριστικά του Savanna RX-7 / Mazda RX-7 (2^η ΓΕΝΙΑ)^[3]

Μήκος x Πλάτος x Ύψος	4335 x 1690 x 1270
Μεταξόνιο (mm)	2430
Μετατρόχιο (εμπρός / πίσω) (mm)	1450 / 1440
Βάρος (Kg)	1300
Θέσεις	4
Τύπος κινητήρα	13B turbo
Κυβισμός	1308 cc
Σχέση συμπίεσης	9
Μέγιστη ισχύς (ps / rpm)	205 / 6500
Μέγιστη ροπή (Kg · m / rpm)	27.5 / 6500
Μέγιστη ταχύτητα (Km / h)	-
Κύκλος στροφής (m)	4.9
Κιβώτιο ταχυτήτων	5 ταχυτήτων χειροκίνητο/4 ταχυτήτων αυτόματο
Αναρτήσεις (εμπρός / πίσω)	strut / multi-link
Φρένα (εμπρός / πίσω)	δισκόφρενο / δισκόφρενο
Ελαστικά	205-60-R16 89H

21. Mazda RX-7 Anfini (3^η ΓΕΝΙΑ)

Έξη χρόνια μετά το λανσάρισμα της 2^{ης} γενιάς, το νέο Anfini RX-7 έκανε ένα τεράστιο άλμα μπροστά, τον Οκτώβριο του 1991^[3].

Το μοντέλο τρίτης γενιάς σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε με τρεις ιδέες:

α. στυλ με νεωτερικότητα και αισθητική ελκυστικότητα

- β. το ιδανικό ενδιάμεσο μεταξύ ανθρώπου - μηχανής που ενισχύει την οδηγική ευχαρίστηση και
- γ. δυναμική απόδοση που χαρακτηρίζει το σπορ αυτοκίνητο της δεκαετίας του 1990^[3].

Το Anfini της νέας γενιάς είχε κινητήρα τύπου 13B με δύο ρότορες και ενισχυμένο από νέους “turbochargers”. Το φυσικά εκπληκτικό σασί υποστηρίχθηκε επιπλέον από ένα γεωμετρικό δυναμικό σύστημα ελέγχου των τεσσάρων τροχών που διατηρούσε ιδανική αίσθηση τιμονιού. Ο λόγος βάρους / ισχύς 4.90 kg / ps (τύπος S με 5τάχυτο κιβώτιο ταχυτήτων) ήταν αποτέλεσμα εκτεταμένων μέτρων περιορισμού του βάρους. Η ιδανική κατανομή του βάρους 50 : 50 έγινε πραγματικότητα με την θρυλική διάταξη στο μέσον. Όλες αυτές οι ενέργειες πρόσθεσαν πραγματικό δυναμισμό, την κύρια παράδοση της ράτσας του RX-7, προκαλώντας δυνατά όλους τους λάτρεις του σπορ αυτοκινήτου. Αμέσως μετά την εμφάνισή του στην αγορά, το Anfini RX-7 επευφημήθηκε πάρα πολύ από τα ΜΜΕ και τους πελάτες στην Ιαπωνία και σε όλο τον κόσμο. Ήταν ακριβώς τότε, που ένα πρώτης κατηγορίας "πραγματικό σπορ αυτοκίνητο" γεννήθηκε στον κόσμο^[3].



Εικόνα 22: Mazda RX-7²²

Πίνακας 15: Τεχνικά χαρακτηριστικά του Mazda Anfini RX-7^[3]

Μήκος x Πλάτος x Ύψος	4295 x 1760 x 1230
Μεταξόνιο (mm)	2425
Μετατρόχιο (εμπρός / πίσω) (mm)	1460 / 1460
Βάρος (Kg)	1260
Θέσεις	4
Τύπος κινητήρα	13B-REW
Κυβισμός	1308 cc
Σχέση συμπίεσης	9
Μέγιστη ισχύς (ps / rpm)	255 / 6500
Μέγιστη ροπή (Kg · m / rpm)	30.0 / 5000
Μέγιστη ταχύτητα (Km / h)	-
Κύκλος στροφής (m)	5.1
Κιβώτιο ταχυτήτων	5 ταχυτήτων χειροκίνητο
Αναρτήσεις (εμπρός / πίσω)	Double wishbone / Double wishbone
Φρένα (εμπρός / πίσω)	δισκόφρενο / δισκόφρενο
Ελαστικά	225-50Z-R16

22. Mazda RX-8

Τον Απρίλιο του 2003 βγήκε στην παραγωγή το RX-8. Ήταν εξοπλισμένο με την περιστροφική μηχανή νέας γενιάς RENESIS, η οποία μεγιστοποίησε τα οφέλη της μηχανής, όντας συμπαγέστερη, ελαφρύτερη και υψηλότερης απόδοσης από τους προκατόχους της. Πρόσφερε, επίσης, περισσότερους χώρους καμπίνας, παρέχοντας έτσι τη δυνατότητα φιλοξενίας με άνεση, μέχρι και 4 ενηλίκων ατόμων^[2].



Εικόνα 23: Mazda RX-8²³

23. Mazda RX-8 Hydrogen RE

Το τροφοδοτούμενο με υδρογόνο RX-8 Hydrogen RE άρχισε να κυκλοφορεί στους δρόμους της Ιαπωνίας, για να πάρει έγκριση από τα υπουργεία Περιβάλλοντος και Μεταφορών, τον Οκτώβριο του 2004. Με μηδενικές εκπομπές CO₂, η περιστροφική μηχανή υδρογόνου παρέχει τη δυνατότητα εξαιρετικής περιβαλλοντικής προστασίας, ενώ διατηρεί την ιδιότητα της μηχανής εσωτερικής καύσης. Για να επιτρέψει στα RX-8 Hydrogen RE να οδηγούνται σε περιοχές που δεν υπάρχουν ακόμα σταθμοί ανεφοδιασμού υδρογόνου, στη μηχανή του χρησιμοποιείται ένα σύστημα διπλού καυσίμου, το οποίο ελέγχεται από έναν διακόπτη. Το αυτοκίνητο μένει ανέπαφο όσον αφορά το χώρο των επιβατών και τον εξοπλισμό άνεσης. Το RX-8 Hydrogen RE μισθώνεται από τις επιχειρήσεις και τις τοπικές κυβερνήσεις και έτσι κερδίζει μια ευνοϊκή φήμη, κεντρίζοντας την έρευνα και την ανάπτυξη προς την πραγματοποίηση μιας ενεργειακής κοινωνίας υδρογόνου^[2].



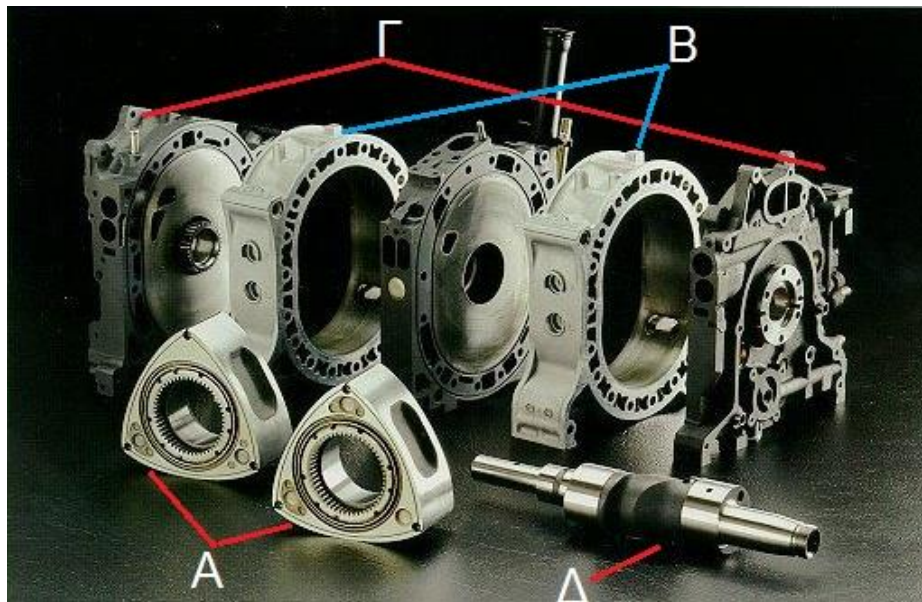
Εικόνα 24: Mazda RX-8 Hydrogen RE²⁴

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 Μέρη κινητήρα wankel

Ο περιστροφικός κινητήρας wankel αποτελείται από τα παρακάτω εξαρτήματα:

- ✓ Ρότορας
- ✓ Στάτορας
- ✓ Κέλυφος
- ✓ Άξονας



Σχήμα 1: Μέρη κινητήρα wankel²⁵

A: Ρότορας B: Στάτορας Γ: Κέλυφος Δ: Άξονας

Στη συνέχεια του κεφαλαίου θα αναλυθεί το κάθε εξάρτημα αναλυτικά ως προς τα κατασκευαστικά του χαρακτηριστικά, καθώς και ως προς τη λειτουργία του.

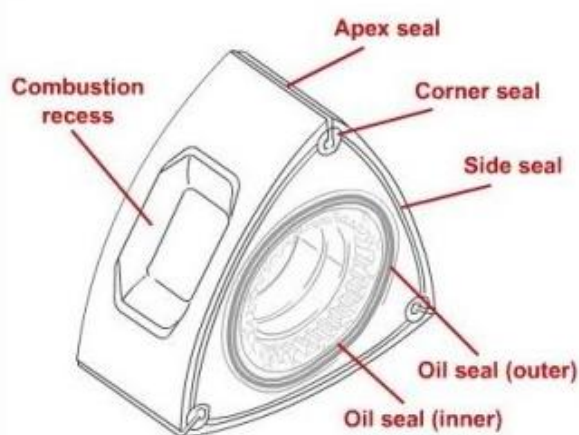
2.1.1 Ρότορας

Αποτελείται από τρεις κυρτές επιφάνειες. Η κάθε επιφάνεια διαθέτει ένα θύλακα ο οποίος αυξάνει τη χωρητικότητα του κινητήρα, επιτρέποντας

στο μίγμα να καταλάβει περισσότερο χώρο και να αναμιγνύεται καλύτερα. Κάθε ρότορας φέρει μεταλλικά ελάσματα στις 3 κορυφές, τα οποία, καθώς γυρίζει ο ρότορας, στεγανοποιούν τα τοιχώματα και δημιουργούν το θάλαμο καύσης. Μετά από μερικές χιλιάδες χιλιόμετρα τα ελάσματα αυτά είτε φθείρονται είτε σπάνε. Αν φθαρούν υπάρχει δυνατότητα αντικατάστασής τους, ενώ στην περίπτωση όπου σπάσουν, καταστρέφουν την εσωτερική επιφάνεια του στάτορα, με αποτέλεσμα να έχουμε απώλεια συμπίεσης και να χρειάζεται αντικατάσταση ολόκληρου του στάτορα^[5,6].

Η λειτουργία του ρότορα αντιστοιχεί στο έμβολο και στο διωστήρα μιας παλινδρομικής μηχανής, με τη διαφορά ότι στην περιστρεφόμενη μηχανή υπάρχει άμεση διαβίβαση της πίεσης του εκτονωμένου αερίου καύσης στον άξονα παραγωγής, ως ροπή. Επίσης, επιτελεί την εργασία των βαλβίδων εισαγωγής - εξαγωγής. Ανοίγει αυτόματα και καθώς περιστρέφεται κλείνει τις θυρίδες εισαγωγής - εξαγωγής. Σε κάθε πλευρά φέρει δύο στεγανοποιητικά γωνιών στις κορυφές, τα πλαϊνά στεγανοποιητικά και τα στεγανοποιητικά ελαίου, ενώ η οδοντωτή στεφάνη και οι τριβείς ολίσθησης ενσωματώνονται στο κέντρο του^[7].

Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζεται η δομή και τα εξαρτήματα του ρότορα:



Σχήμα 2: Δομή και εξαρτήματα του ρότορα²⁶

Κατά τη φάση κατασκευής του ρότορα και του εσωτερικού κελύφους υπάρχει μια ανοχή της τάξης των 0.5 mm, η οποία είναι επιθυμητή από την άποψη απόδοσης του κινητήρα. Λαμβάνεται υπόψη η εκτροπή του άξονα παραγωγής, οι θερμικές παραμορφώσεις, η διαδικασία του ρονταρίσματος και οι ανοχές του κατασκευαστή^[7].

Κάθε ρότορας στην περιφέρειά του αποτελείται από τρεις πλευρές, οι οποίες ονομάζονται πλευρές του ρότορα και κατασκευάζονται από μηχανές πολλαπλών λειτουργιών ή από τόννους αντιγραφής^[7].

Τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελείται ο ρότορας είναι:

α) Κοιλότητα ρότορα.

Σε κάθε πλευρά του ρότορα υπάρχει μια κοιλότητα η οποία ονομάζεται κοιλότητα του ρότορα. Ο όγκος της καθορίζει τον λόγο συμπίεσης της μηχανής. Επιπλέον, η διαμόρφωση και η θέση της κοιλότητας αυτής έχουν μεγάλη επίδραση στα χαρακτηριστικά καύσης της μηχανής. Επομένως, έχει επιλέγει μια βέλτιστη κοιλότητα στο ρότορα ώστε να καλύπτονται οι ιδιαίτερες απαιτήσεις για την βέλτιστη απόδοση της μηχανής, τη χαμηλή κατανάλωση καυσίμου, την τελεία απαγωγή των καυσαερίων από το θάλαμο καύσης της μηχανής, κ.λπ.^[7]

Η κοιλότητα του ρότορα μπορεί να διαμορφωθεί στη μηχανή από μια μηχανή πολλαπλών δυνατοτήτων ή από τόννους αντιγραφής. Η όλη κατασκευή, συνήθως, γίνεται με χύτευση, με αποτέλεσμα η κατεργασία από μηχανήματα να γίνεται σε πολύ μικρό βαθμό^[7].

β) Βάση ρότορα

Στο πλαϊνό μέρος του ρότορα υπάρχει μια προβολή η οποία ονομάζεται βάση του ρότορα και καθορίζει τη θέση της επαφής μεταξύ του ρότορα και του πλαϊνού κελύφους του κινητήρα για την καλύτερη και ευνοϊκότερη λίπανση. Γενικά, αυτή η βάση βρίσκεται στην εσωτερική

πλευρά του παρεμβύσματος ελαίου όπου υπάρχει ικανοποιητική παρουσία λιπαντικού αλλά και η αναπτυσσόμενη ταχύτητα ολίσθησης με το πλαϊνό κέλυφος του κινητήρα είναι μικρή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μικραίνει και η αναπτυσσόμενη μεταξύ των δυο αυτών επιφανειών τριβή^[7].

Η προβολή αυτή κυμαίνεται μεταξύ 0.1 ~ 0.15 mm. Μικρότερη προβολή θα προκαλούσε επαφή και άλλων μερών στο πλαϊνό κέλυφος, ενώ μεγαλύτερη θα αύξανε την περιοχή του δευτερεύοντος στεγανοποιητικού που εκτίθεται άμεσα στο καυσαέριο, προκαλώντας έτσι διαρροή καυσαερίου και άνοδο της θερμοκρασίας των ελατηρίων^[7].

Η απόσταση μεταξύ της βάσης του ρότορα και του πλαϊνού κελύφους κυμαίνεται μεταξύ 0.1 ~ 0.2 mm. Με τον τρόπο αυτό αποτρέπεται το να κολλήσουν μεταξύ τους τα δύο μέρη αλλά και λόγω της κλίσης και της αξονικής μετακίνησης του ρότορα, διατηρείται ένα ελάχιστο επίπεδο θορύβου^[7].

Οι απαιτήσεις για το υλικό κατασκευής του ρότορα είναι:

- α. η αντοχή του υλικού στις υψηλές θερμοκρασίες
- β. ο μικρός συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας
- γ. η υψηλή αντοχή στην φθορά και
- δ. η καλύτερη δυνατή λειτουργικότητα των εξαρτημάτων

Το υλικό κατασκευής του ρότορα είναι ο κονδυλώδης χυτοσίδηρος από γραφίτη. Ωστόσο, το υλικό αυτό έχει μεγάλη πυκνότητα, με αποτέλεσμα ο ρότορας να έχει και μεγάλο βάρος. Το επιθυμητό είναι ο ρότορας να έχει το μικρότερο δυνατό βάρος, ώστε να μειωθεί το φορτίο στους τριβείς ολίσθησής του και έτσι να επιτευχθεί μεγαλύτερη ταχύτητα περιστροφής της μηχανής. Γι' αυτό το λόγο, μελετάται η κατασκευή ενός ρότορα από

ένα πιο ελαφρύ υλικό, όπως είναι τα κράματα αργιλίου, κ.ά.^[7]

Για τα ελάσματα στεγανοποίησης κορυφών (apex seals) του ρότορα, η επιλογή των υλικών έχει εξελιχθεί, βάσει της εμπειρίας που αποκτήθηκε, από κράματα άνθρακα σε χάλυβα, ferritic και άλλα υλικά^[8].

2.1.2 Στάτορας

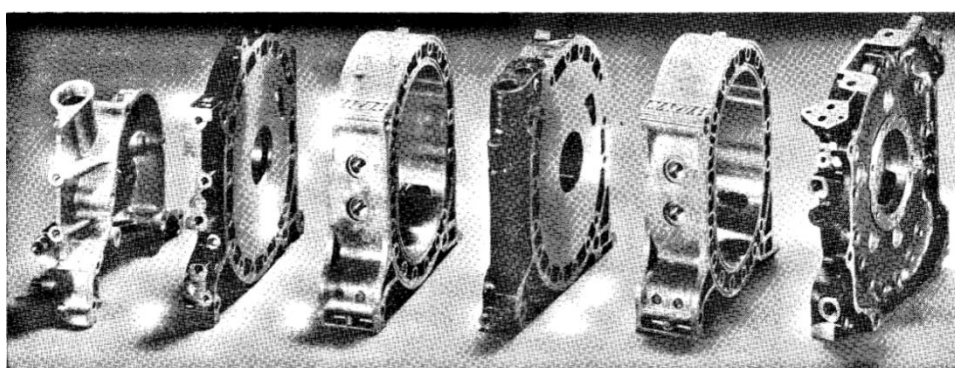
Ο στάτορας του κινητήρα έχει περίπου οβάλ σχήμα, έτσι ώστε να βρίσκεται συνεχώς σε επαφή με τον ρότορα. Η διαμόρφωση του στάτορα είναι τέτοια ώστε να χωρίζεται σε τέσσερις περιοχές, μια για κάθε φάση της λειτουργίας. Στον στάτορα είναι επίσης τοποθετημένες και οι θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής του κινητήρα. Σε αντίθεση με τους κλασικούς τετράχρονους κινητήρες, στον περιστροφικό wankel δεν συναντάμε βαλβίδες στην εισαγωγή και την εξαγωγή. Έτσι η θυρίδα εισαγωγής είναι συνδεδεμένη απ' ευθείας στην πολλαπλή εισαγωγής, ενώ η θυρίδα εξαγωγής στην πολλαπλή εξαγωγής. Τέλος, στον στάτορα φιλοξενούνται τα μπουζί (σπινθηριστές) αλλά και οι αυλοί ψύξης του κινητήρα με το ψυκτικό υγρό^[2].



Σχήμα 3: Δομή του στάτορα²⁷

2.1.3 Κέλυφος

Το κέλυφος έχει σχεδόν ωοειδές σχήμα. Ο θάλαμος καύσης περιβάλλεται από αγωγούς μέσα απ' τους οποίους περνάει το ψυκτικό που βοηθάει στη διατήρηση των επιθυμητών θερμοκρασιών του κινητήρα. Το σχήμα του θαλάμου καύσης είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε οι τρεις άκρες του δίσκου να βρίσκονται πάντα σε επαφή με τον τοίχο του θαλάμου. Κάθε τμήμα της στέγης είναι σχεδιασμένο για κάθε ένα μέρος της διαδικασίας καύσης^[6].



Σχήμα 4: Εξωτερικό και ενδιάμεσο κέλυφος κινητήρα wankel²⁸

Καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας του κινητήρα wankel, ο θάλαμος καύσης κινείται και μεταβάλλει τον όγκο του. Ο χώρος στο μέρος της εισαγωγής ψύχεται λόγω του εισερχομένου αέρα, ενώ αντίθετα η περιοχή εξαγωγής των καυσαερίων είναι συνεχώς εκτεθειμένη σε υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις από το καυσαέριο. Επομένως, το κέλυφος εκτίθεται σε διαφορετικές θερμοκρασίες και πιέσεις σε διάφορες περιοχές και σε όλη την επιφάνειά του^[7].

Η απαιτούμενη ανεκτή θερμική διαστολή επιτυγχάνεται με το νερό να ψύχει σε κατεύθυνση ακτινικής ή αξονικής ροής και με το ζεστό νερό του θερμού τόξου να θερμαίνει το κρύο τόξο. Έτσι, η μέγιστη θερμοκρασία του κινητήρα μειώνεται στους 129 °C, με μέγιστη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των τμημάτων του στους 18 °C, με τη χρήση σωλήνων θερμότη-

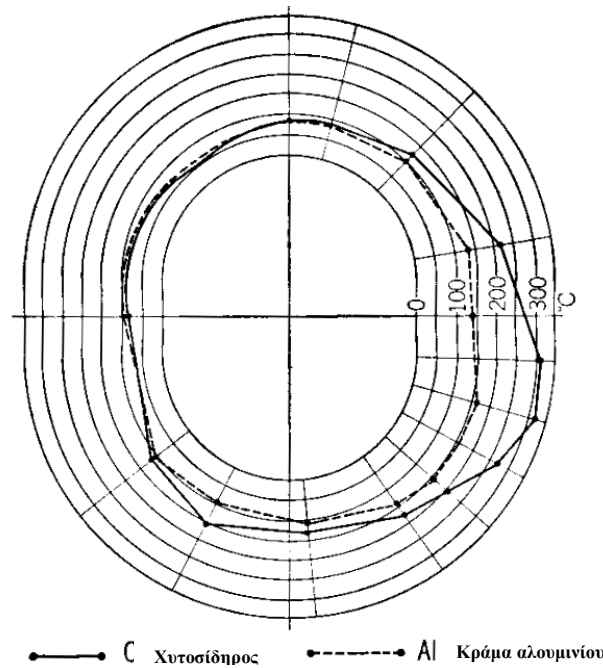
τας γύρω από το εξωτερικό κέλυφος και του ενδιάμεσου καπακιού (side plate) ως μέσα ψύξης^[9].

Για τη σωστή αντοχή του κελύφους της περιστροφικής μηχανής θα πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη το υλικό κατασκευής, η δομή και η επεξεργασία επιφανείας του. Το κέλυφος θα πρέπει να είναι διαμορφωμένο έτσι ώστε:

- ✓ να αποτελεί μια στιβαρή και συμπαγή κατασκευή, η οποία θα αντέχει στις δυνάμεις που δρουν επάνω του
- ✓ να ελαχιστοποιείται η διαφορά θερμοκρασίας καθώς επίσης και να εξισορροπούνται οι θερμικές τάσεις που προκαλούνται λόγω της μη ομαλής κατανομής θερμοκρασίας. Επίσης, να εξασφαλίζεται ικανοποιητικός βαθμός θερμικής αποσυμφόρησης στην περιοχή των σπινθηριστών οι οποίοι εκτίθενται στην υψηλότερη θερμοκρασία
- ✓ να ελαχιστοποιείται η παραμόρφωση της εσωτερικής επιφάνειας του κελύφους του ρότορα, αποτρέποντας τη διαρροή καυσαερίου στα στεγανοποιητικά των κορυφών, η οποία θα δημιουργούσε μείωση της απόδοσης^[7].

Το υλικό κατασκευής του κελύφους των στροφέων θα πρέπει να διαθέτει υψηλή αντοχή, μικρό συντελεστή διαστολής και μεγάλη θερμική αγωγιμότητα, καθώς καταπονείται σε μεγαλύτερα θερμικά φορτία απ' ότι πλαιϊνά κελύφη^[7].

Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει την κατανομή θερμοκρασιών ενός κελύφους από χυτοσίδηρο και ενός κελύφους από κράμα αλουμινίου:



Σχήμα 5: Διάγραμμα κατανομής θερμοκρασιών κελύφων χυτοσιδήρου και κράματος αλουμινίου²⁸

Παρατηρούμε ότι το κέλυφος από χυτοσίδηρο ανεβάζει θερμοκρασία περίπου 150 °C υψηλότερη από αυτή του κελύφους του κράματος αλουμινίου και υπερβαίνει την οριακή θερμοκρασία διατήρησης του λιπαντικού φιλμ. Το κέλυφος από κράμα αλουμινίου παρουσιάζει καλύτερη θερμική κατανομή και μικρότερη θερμική παραμόρφωση και η εσωτερική του επιφάνεια, πάνω στην οποία ολισθαίνει το στεγανοποιητικό των κορυφών του στροφέα, επιχρωμιώνεται με στόχο την αύξηση της αντοχής του στην τριβή^[7].

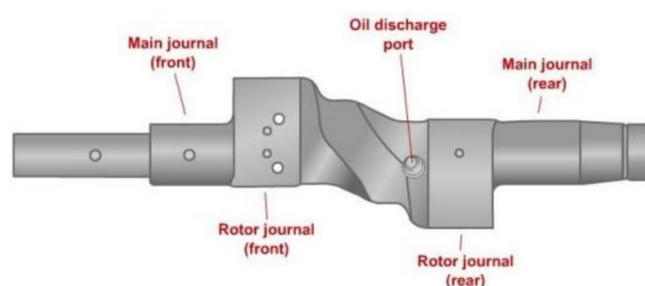
Ορισμένα από τα κράματα που χρησιμοποιούνται στο κέλυφος του wankel είναι τα A-132, Inconel 625 και 356 με T6 σκληρότητα. Αρκετά υλικά έχουν χρησιμοποιηθεί για την επίστρωση της επιφάνειας του κελύφους, με το Nikasil να είναι ένα από αυτά^[8].

2.1.4 Άξονας

Ο άξονας του περιστροφικού κινητήρα μοιάζει στη φιλοσοφία λειτουργίας του με τον στροφαλοφόρο των παλινδρομικών κινητήρων και στην

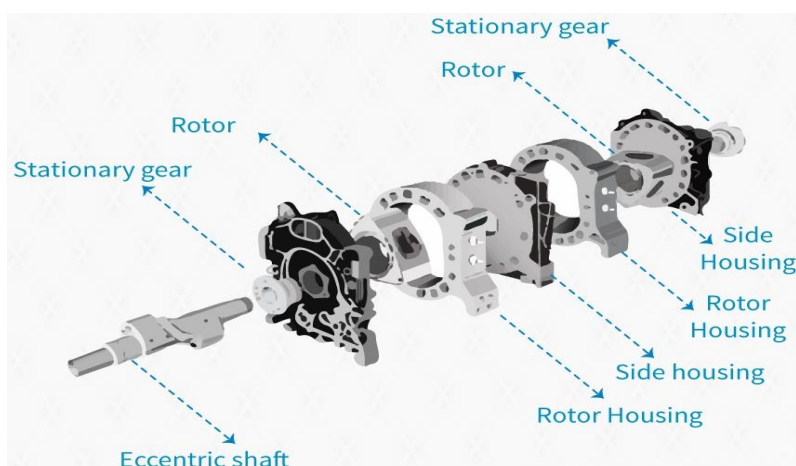
εμφάνισή του με τους εκκεντροφόρους. Διαθέτει λοβούς τοποθετημένους έκκεντρα ως προς το κέντρο περιστροφής του άξονα και κάθε ρότορας συνδέεται με αυτόν μέσω του οδοντωτού τροχού και της οδοντωτής στεφάνης. Η λειτουργία των λοβών του μοιάζει αρκετά με αυτή των διωστήρων των συμβατικών κινητήρων, επειδή μεταφέρουν τη δύναμη των ρότορων στον άξονα με τη μορφή ροπής στρέψης^[6].

Ως υλικά κατασκευής του άξονα, προτιμώνται τα κράματα χάλυβα με μικρή παραμόρφωση φορτίου, ενώ έχει προταθεί και η χρήση του χάλυβα μαρτεν-γήρανσης (Maraging)^[8].



Σχήμα 6: Δομή του άξονά²⁶

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ο τρόπος συναρμολόγησης των εξαρτημάτων του κινητήρα wankel:



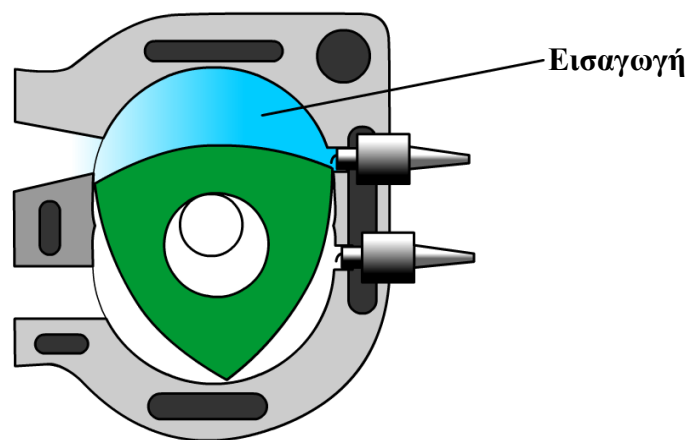
Σχήμα 7: Δομή του κινητήρα wankel²⁶

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 Φάσεις λειτουργίας κινητήρα wankel

3.1.1 Εισαγωγή

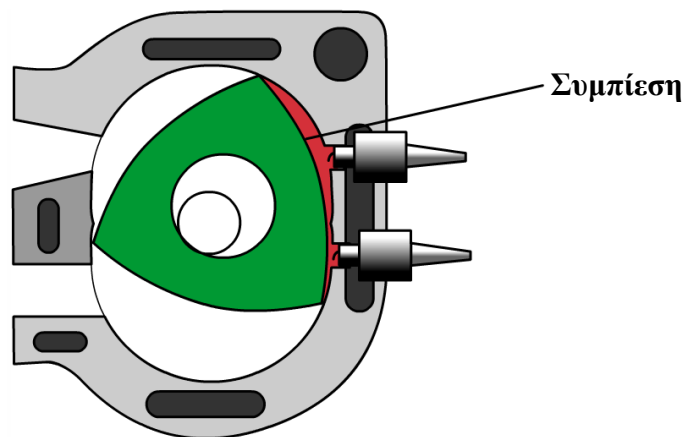
Μόλις η αιχμή του στροφέα περάσει την θυρίδα εισαγωγής, το μίγμα βενζίνης / αέρα μπαίνει στον επόμενο θάλαμο, που η χωρητικότητά του μεγαλώνει λόγω της έκκεντρης τροχιάς του στροφέα^[10].



Σχήμα 8: Φάση εισαγωγής μίγματος σε κινητήρα wankel²⁹

3.1.2 Συμπύεση

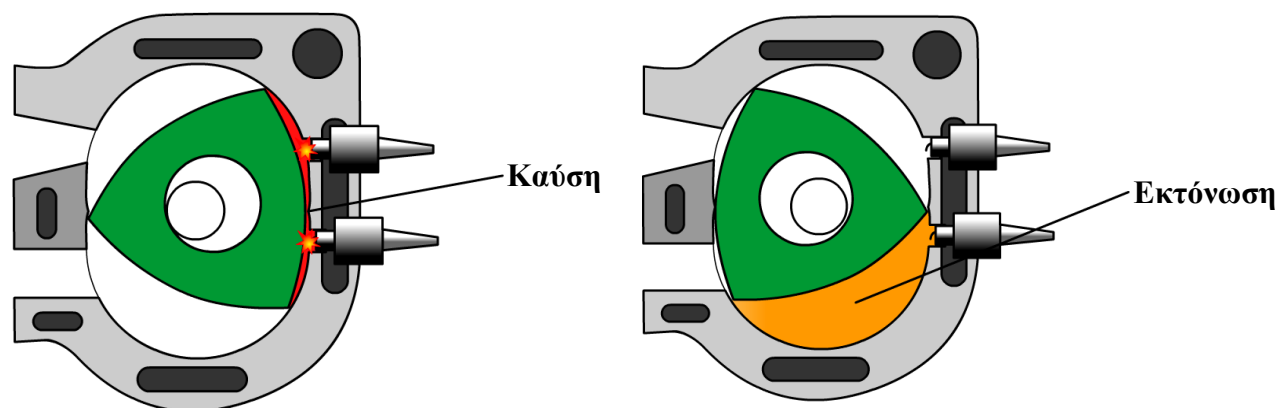
Καθώς ο στροφέας συνεχίζει την περιστροφή του, η χωρητικότητα του θαλάμου που περιέχει το μίγμα μικραίνει και το τελευταίο συμπιέζεται^[10].



Σχήμα 9: Φάση συμπύεσης μίγματος σε κινητήρα wankel²⁹

3.1.3 Εκτόνωση

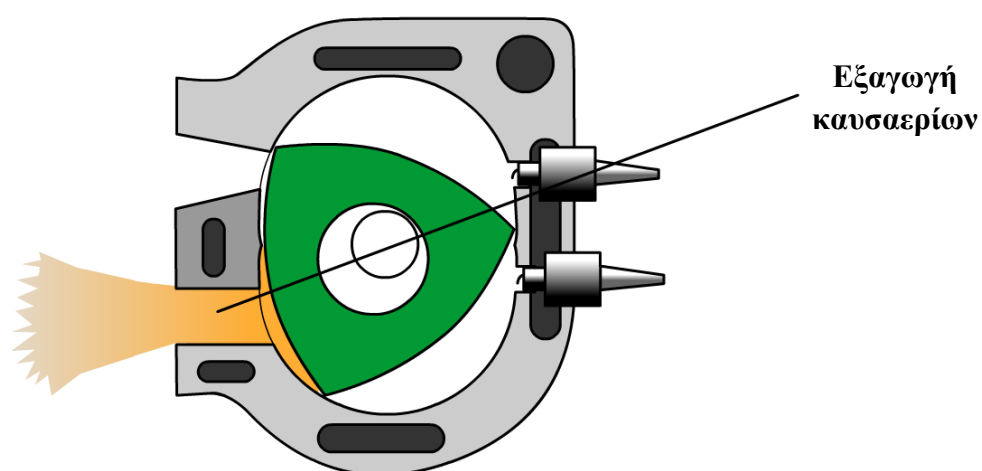
Η ανάφλεξη προκαλεί την καύση και τη διαστολή του μίγματος, που δίνει ενέργεια στον στροφέα για τον ωφέλιμο «χρόνο» του, καθώς η χωρητικότητα του θαλάμου αρχίζει να μεγαλώνει^[10].



Σχήμα 10: Φάση καύσης - εκτόνωσης μίγματος σε κινητήρα wankel²⁹

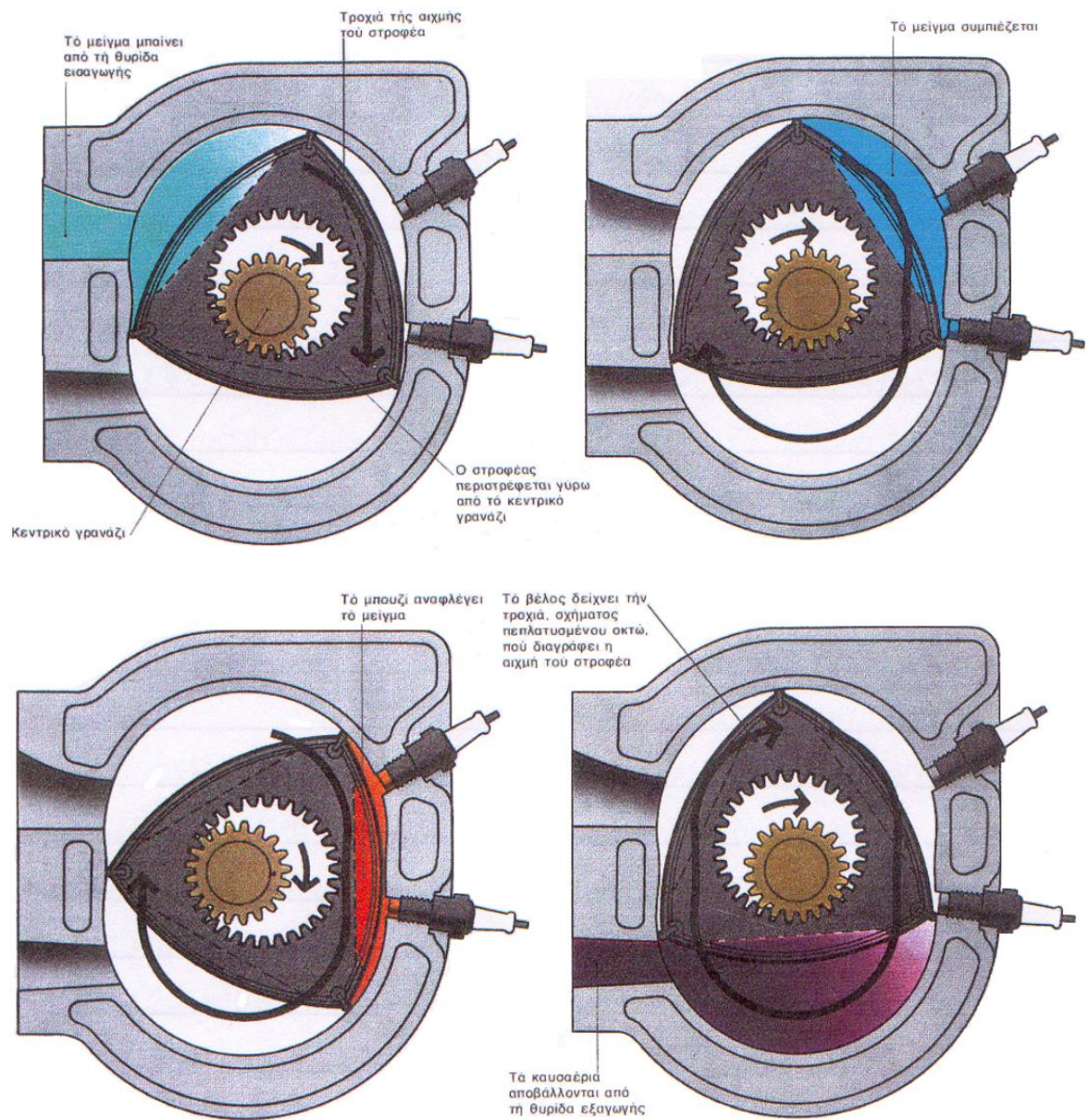
3.1.4 Εξαγωγή

Η πρώτη αιχμή του θαλάμου περνά τη θυρίδα εξαγωγής, αποκαλύπτοντάς την για αποβολή των καυσαερίων. Αυτός ο κύκλος λειτουργίας γίνεται με αλληλοδιαδοχή και ταυτόχρονα και στους τρεις θαλάμους των πλευρών του στροφέα^[10].



Σχήμα 11: Φάση εξαγωγής σε κινητήρα wankel²⁹

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται ένας πλήρης κύκλος λειτουργίας ενός περιστροφικού κινητήρα:



Σχήμα 12: Συνοπτική απεικόνιση λειτουργίας ενός κινητήρα wankel³⁰

3.2 Σύγκριση wankel με παλινδρομικό κινητήρα



Οι βασικές διαφορές που παρουσιάζουν αυτοί οι δύο κινητήρες είναι οι εξής:

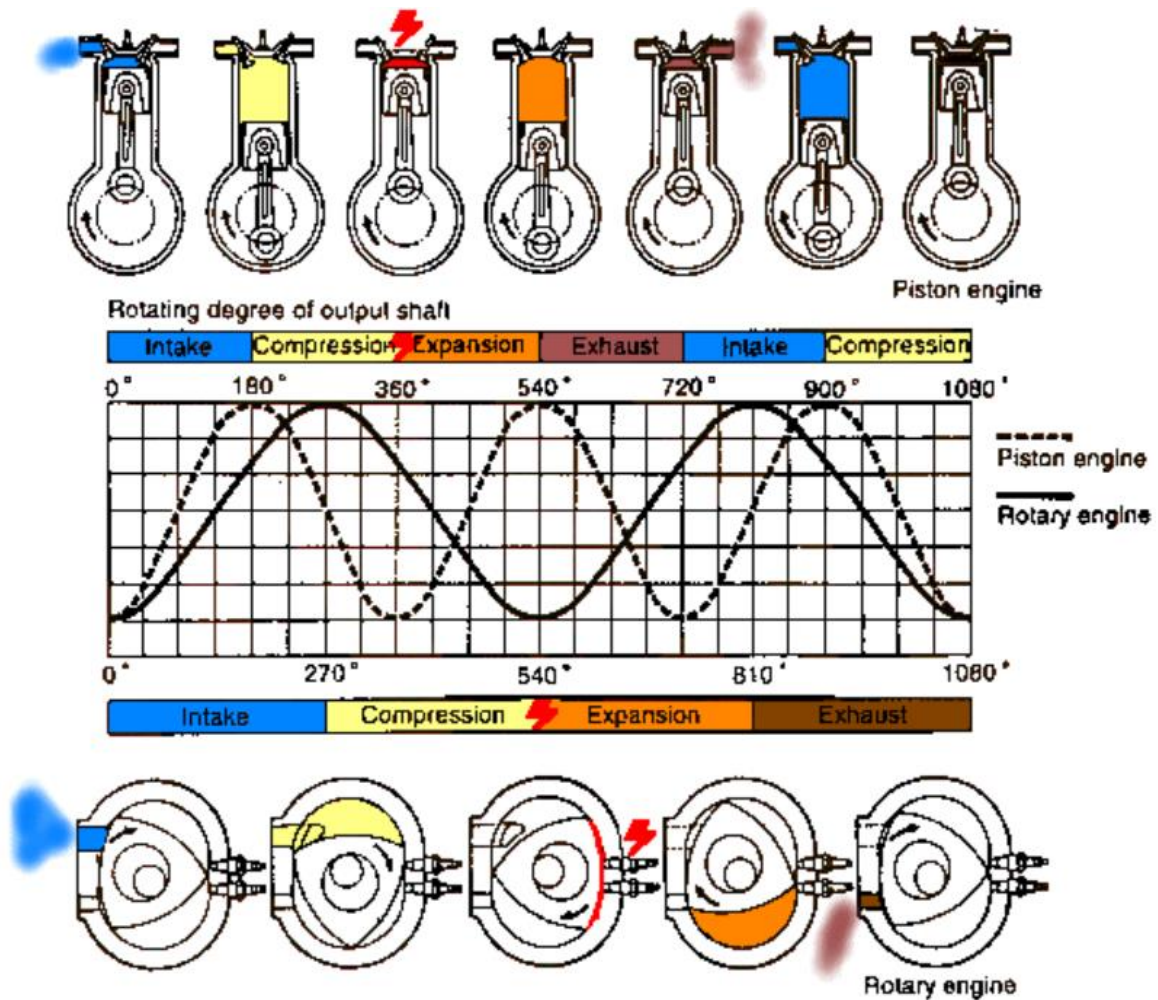
- Στον περιστροφικό κινητήρα έχουμε ρότορα, ενώ στον παλινδρομικό έχουμε έμβολο.
- Το σχήμα του ρότορα είναι τριγωνικό με τρεις ακμές, ενώ στον παλινδρομικό το σχήμα του εμβόλου είναι κυκλικό.
- Τα ελατήρια στον περιστροφικό κινητήρα βρίσκονται στις ακμές του ρότορα ενώ στον παλινδρομικό βρίσκονται περιμετρικά του εμβόλου.
- Στον περιστροφικό κινητήρα έχουμε θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής, ενώ στον παλινδρομικό έχουμε βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής αντίστοιχα^[10].

Λόγω αυτών των διαφορών υπάρχουν διαφορές και στις φάσεις λειτουργίας της κάθε μηχανής, οι οποίες συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3: Σύγκριση φάσεων λειτουργίας μεταξύ παλινδρομικού και κινητήρα wankel^[10,11]

ΦΑΣΕΙΣ	ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ	ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ
1 ^η φάση ΕΙΣΑΓΩΓΗ	Μόλις η αιχμή του στροφέα περάσει τη θυρίδα εισαγωγής, το μίγμα βενζίνης / αέρα μπαίνει στο επόμενο θάλαμο.	Με ανοιχτή τη βαλβίδα εισόδου το έμβολο κατέρχεται προς το κάτω νεκρό σημείο (Κ.Ν.Σ.).
2 ^η φάση ΣΥΜΠΙΕΣΗ	Ο στροφέας συνεχίζει την περιστροφή του, μικραίνει η χωρητικότητα του θαλάμου και το μίγμα συμπιέζεται.	Το μίγμα συμπιέζεται καθώς το έμβολο ανέρχεται κατά τον χρόνο συμπίεσης με κλειστές βαλβίδες. Στο τέλος του χρόνου αυτού, το μίγμα αναφλέγεται με τη βοήθεια ηλεκτρικού σπινθήρα.
3 ^η φάση ΚΑΥΣΗ	Η ανάφλεξη προκαλεί την καύση και τη διαστολή του μίγματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την παροχή της απαιτούμενης ενέργειας στον στροφέα για	Κατά τον χρόνο ισχύος οι βαλβίδες παραμένουν κλειστές, ενώ η πίεση από την καύση πιέζει την κεφαλή του εμβόλου.

	τον ωφέλιμο «χρόνο» του.	
4 ^η φάση ΕΞΑΓΩΓΗ	Η πρώτη αιχμή του θαλάμου περνά τη θυρίδα εξαγωγής, αποκαλύπτοντάς την για αποβολή των καυσαερίων.	Το ανερχόμενο έμβολο αναγκάζει τα προϊόντα της καύσης να εξέλθουν από την ανοιχτή βαλβίδα εξόδου.

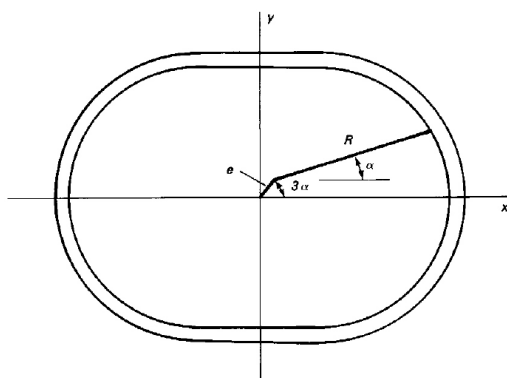


Σχήμα 13: Συνοπτική απεικόνιση διαφορών ανάμεσα στις φάσεις των δύο κινητήρων³¹

4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 Γεωμετρία του κινητήρα wankel^[12]

Η εσωτερική επιφάνεια του στάτορα έχει μια μαθηματική μορφή γνωστή ως επιτροχοειδής.



Σχήμα 14: Ονοματολογία για επιτροχοειδή παραμετρική εξίσωση³²

Ο στάτορας ενός περιστροφικού κινητήρα με έναν ρότορα μπορεί να επεξηγηθεί ως δύο παράλληλα επίπεδα σε τομή από έναν ελλειψοειδή κύλινδρο. Από το σχήμα 14, η μαθηματική μορφή της επιτροχοειδούς δίνεται από τις σχέσεις:

$$x = e \cos 3a + R \cos a \text{ (m)} \quad [\text{σχέση } 1\alpha]$$

$$\text{και } y = e \sin 3a + R \sin a \text{ (m)} \quad [\text{σχέση } 1\beta]$$

όπου e = εκκεντρικότητα και R = ακτίνα του ρότορα.

Για τις διάφορες τιμές της εκκεντρικότητας και της ακτίνας του ρότορα, οι παραπάνω σχέσεις δίνουν τις συντεταγμένες x και y ορίζοντας το σχήμα της επιτροχοειδούς καμπύλης, όταν το a μεταβάλλεται από 0° έως 360° .

Με παρόμοιο τρόπο υπολογίζονται και οι θέσεις των τριών ακμών του ρότορα:

$$x = e \cos(3a) + R \cos(a + 2n\pi/3) \text{ (m)} \quad [\text{σχέση } 2\alpha]$$

$$\text{και } y = e \sin(3a) + R \sin(a + 2n\pi) \text{ (m) [σχέση 2β]}$$

όπου $n = 0$ ή 1 ή 2 , οι τρεις τιμές που χαρακτηρίζουν τις θέσεις των τριών ακμών του ρότορα, οι οποίες έχουν διαφορά 120° .

Επειδή το R αναπαριστά την απόσταση από το κέντρο του ρότορα έως το τοίχωμα του στάτορα, η κίνηση του κέντρου του ρότορα μπορεί να υπολογισθεί από τις σχέσεις 2 θέτοντας $R = 0$. Από αυτές τις σχέσεις και το σχήμα, προκύπτει ότι η καμπύλη περιστροφής του κέντρου του ρότορα είναι ένας κύκλος με ακτίνα e .

Οι σχέσεις 1 και 2 μπορούν να αδιαστατοποιηθούν διαιρώντας με το R .

Αυτό αποδίδει μία γεωμετρική παράμετρο $\left(\frac{e}{R}\right)$, γνωστή και ως **σχέση εκκεντρικότητας** ή **βαθμός εκκεντρικότητας**. Η παράμετρος αυτή είναι κρίσιμη για την επιτυχή λειτουργία του περιστροφικού κινητήρα.

Η τροχιά του κέντρου του έκκεντρου η οποία διαμορφώνεται σταθερά επάνω στον άξονα της μηχανής απέχει από αυτόν απόσταση e . Ο ρότορας ολισθαίνει επάνω στο έκκεντρο. Το κέντρο βάρους του ρότορα και του εκκέντρου συμπίπτουν. Οι δυνάμεις των αερίων που ασκούνται στον ρότορα μεταφέρονται στο έκκεντρο για να παράγουν την αναγκαία ροπή στρέψης στον άξονα της μηχανής. Πιο αναλυτικά, η γραμμή e περιστρέφεται με τον άξονα και το έκκεντρο με μια γωνία $3a$, ενώ η γραμμή R καθορίζεται από το ρότορα και περιστρέφεται μαζί του με γωνία a σε σχέση με το κέντρο του έκκεντρου. Έτσι, η κίνηση ολόκληρου του κινητήρα σχετίζεται με την κίνηση αυτών των δύο γραμμών. Δηλαδή, ο ρότορας περιστρέφεται με το ένα τρίτο της ταχύτητας του άξονα. Για το λόγο αυτό, τρεις περιστροφές του άξονα είναι μία του ρότορα.

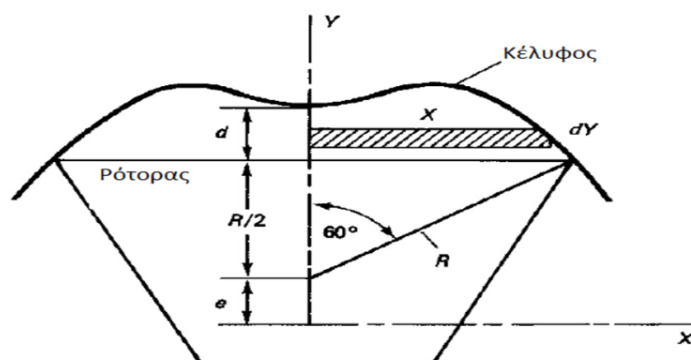
4.2 Εύρεση κυβισμού σε κινητήρα wankel^[12]

Ένα από τα βασικότερα χαρακτηριστικά ενός κινητήρα, ανεξάρτητα του τύπου του ή του χρησιμοποιούμενου καυσίμου για την παραγωγή έργου, είναι ο κυβισμός του. Το χαρακτηριστικό αυτό αποτελεί την ταυτότητα του κάθε κινητήρα, καθώς με τον τρόπο αυτό δηλώνεται τόσο ο όγκος κυλινδρισμού του όσο και γίνεται η κατάταξή του στις διάφορες κατηγορίες κινητήρων που υπάρχουν.

Υπάρχει διαφορά στην εύρεση του κυβισμού μεταξύ του κινητήρα wankel και των παλινδρομικών κινητήρων, η οποία οφείλεται στη διαφορετική κατασκευή, στη διαφορετική κίνηση που εκτελεί για την παραγωγή έργου και στα χρησιμοποιούμενα εξαρτήματα.

Στην συνέχεια θα προσπαθήσουμε να αναδείξουμε τους μαθηματικούς τύπους που χρησιμοποιούνται για την εύρεση του κυβισμού ενός περιστροφικού κινητήρα wankel.

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε τον ρότορα στη θέση στην οποία το μέτωπό του ορίζει τον ελάχιστο όγκο. Η παράμετρος d είναι η διαφορά μεταξύ της μικρής διαμέτρου του στάτορα ($R - e$) και της απόστασης της πλευράς του ρότορα έως το κυρτό σημείο της επιτροχοειδούς επιφάνειας ($e + R \cos 60 = e + R/2$).



Σχήμα 15: Ελάχιστος όγκος σε έναν επίπεδο ρότορα³²

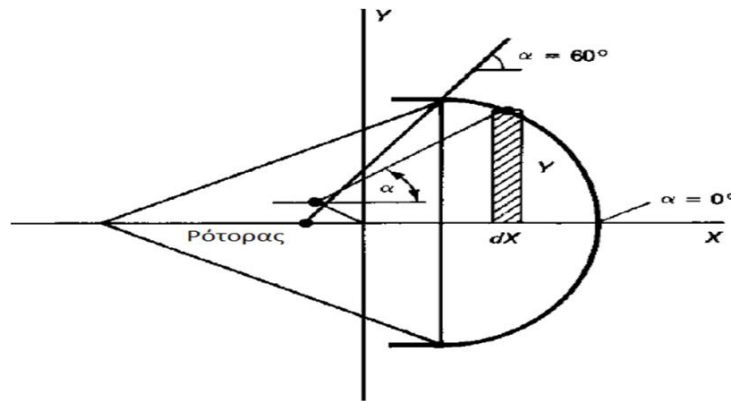
$$d = (R - e) - \left(e + \frac{R}{2} \right) = \frac{R}{2} - 2e \text{ (m)} \quad [\text{σχέση 3}]$$

Θέτοντας $d = 0$ δημιουργείται μια ανώτερη οριακή τιμή για τη σχέση εκκεντρικότητας: $\left(\frac{e}{R} \right)_{op.} = 1/4$

Από τις σχέσεις 1, όταν ισχύει $\frac{e}{R} = 0$, η επιτροχειδής επιφάνεια μετατρέπεται σε κύκλο. Σε μια τέτοια περίπτωση ο ρότορας θα περιστρεφόταν χωρίς εκκεντρικότητα και δεν θα παρήγαγε συμπίεση ή ροπή στρέψης. Μπορούμε, λοιπόν, να συμπεράνουμε ότι οι καταλληλότερες τιμές για τη σχέση εκκεντρικότητας $\left(\frac{e}{R} \right)$ κυμαίνονται μεταξύ 0 και 0,25.

Ακολούθως, θα εξεταστούν κάποιοι άλλοι θεμελιώδεις παράμετροι του περιστροφικού κινητήρα.

Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε τον μέγιστο όγκο του μίγματος.



Σχήμα 16: Μέγιστος όγκος σε έναν επίπεδο ρότορα³²

Για ένα δοσμένο πλάτος ρότορα w , ο μέγιστος όγκος μπορεί να προσδιοριστεί υπολογίζοντας το χώρο μεταξύ του στάτορα και του μετώπου του ρότορα.

Χρησιμοποιώντας τη σχέση 1, η διαφορική περιοχή $2y dx$ μπορεί να γραφεί και ως:

$$dA_{\max} = 2ydx = 2(e \sin 3a + R \sin a)d(e \cos 3a + R \cos a) \quad (m^2) \quad [\text{σχέση 4}]$$

Διαιρώντας με R^2 και ολοκληρώνοντας το δεξιό κομμάτι, παίρνουμε μια εξίσωση για την αδιάστατη περιοχή με όρους που περιλαμβάνουν το βαθμό εκκεντρικότητας και την γωνία a :

$$\frac{A_{\max}}{R^2} = -2 \int_0^{60^\circ} \left[\left(\frac{e}{R} \right) \sin 3a + \sin a \right] \left[3 \left(\frac{e}{R} \right) \sin 3a + \sin a \right] da \quad (dl) \quad [\text{σχέση 5}]$$

Προκειμένου να κυμαίνεται η διαφορική περιοχή στο μέγιστο εγκλωβισμένο όγκο του σχήματος 16, η γωνία a πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 0° και 60° . Έτσι, ολοκληρώνοντας την εξίσωση 3 με αυτά τα όρια της γωνίας a , έχουμε:

$$\frac{A_{\max}}{R^2} = \pi \left[\left(\frac{e}{R} \right)^2 + \frac{1}{3} \right] - \frac{3^{1/2}}{4 \left[1 - 6 \left(\frac{e}{R} \right) \right]} \quad (dl) \quad [\text{σχέση 6}]$$

Κατά παρόμοιο τρόπο χρησιμοποιώντας το σχήμα 15 και την διαφορά όγκου που φαίνεται σε αυτό, η ελάχιστη αδιάστατη περιοχή γράφεται ως:

$$\frac{A_{\min}}{R^2} = \pi \left[\left(\frac{e}{R} \right)^2 + \frac{1}{3} \right] - \frac{3^{1/2}}{4 \left[1 - 6 \left(\frac{e}{R} \right) \right]} \quad (dl) \quad [\text{σχέση 7}]$$

Αυτοί οι μέγιστοι και ελάχιστοι όγκοι είναι ανάλογοι των όγκων που εγκλωβίζονται ανάμεσα στο έμβολο και τον κύλινδρο σε άνω νεκρό σημείο (Α.Ν.Σ.) και κάτω νεκρό σημείο (Κ.Ν.Σ.) στους τετράχρονους παλινδρομικούς εμβολοφόρους κινητήρες. Σε τέτοιου είδους κινητήρες η διαφορά όγκων του ΑΝΣ και του ΚΝΣ είναι ο όγκος εμβολισμού ή

κυβισμός και η αναλογία τους η σχέση συμπίεσης. Γίνεται, λοιπόν, κατανοητό ότι μια ποσοτική αναλογία μπορεί να δώσει τον κυβισμό και το βαθμό συμπίεσης για τον περιστροφικό κινητήρα.

Τέλος, ο υπολογισμός του κυβισμού V ενός ρότορα πλάτους w για την μια πλευρά της μετωπικής του επιφάνειας, γίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$V = 3 \cdot 3^{1/2} w R^2 \left(\frac{e}{R} \right) (m^3) \quad [\text{σχέση 8}]$$

Διαπιστώνουμε ότι η εύρεση του κυβισμού ενός κινητήρα wankel είναι πιο δύσκολη σε σχέση με τον παλινδρομικό κινητήρα, λόγω της διαφορετικής γεωμετρίας που έχει ο πρώτος για την παραγωγή έργου.

4.3 Εύρεση βαθμού συμπίεσης σε κινητήρα wankel^[12]

Η σχέση συμπίεσης ή βαθμός συμπίεσης των κινητήρων, αποτελεί ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά τους, καθώς προσδιορίζει την απόδοσή τους και την ποιότητα καυσίμου που μπορούν να χρησιμοποιήσουν.

Σε ένα εμβολοφόρο κινητήρα η σχέση συμπίεσης είναι ο λόγος του όγκου που καταλαμβάνει το μίγμα του καυσίμου όταν το έμβολο βρίσκεται στο Κ.Ν.Σ., δια του όγκου στο οποίο συμπιέζεται το ίδιο μίγμα, όταν το έμβολο έρχεται στο Α.Ν.Σ.

Ο βαθμός συμπίεσης ε προκύπτει με διαίρεση κατά μέλη των εξισώσεων 6 και 7:

$$\varepsilon = \frac{\frac{A_{\max}}{R^2}}{\frac{A_{\min}}{R^2}} = \frac{\pi \left[\left(\frac{e}{R} \right)^2 + \frac{1}{3} \right] - \frac{3^{1/2}}{4 \left[1 - 6 \left(\frac{e}{R} \right) \right]}}{\pi \left[\left(\frac{e}{R} \right)^2 + \frac{1}{3} \right] - \frac{3^{1/2}}{4 \left[1 - 6 \left(\frac{e}{R} \right) \right]}} \quad [\text{σχέση 9}]$$

4.4 Προανάφλεξη καυσίμου^[12]

Κατά τη λειτουργία σε υψηλά φορτία και στροφές ένα μεγάλο ποσοστό θερμότητας συγκεντρώνεται στον ενεργό θάλαμο καύσης. Τα τμήματα του θαλάμου που δεν ψύχονται συμβάλλουν και αυτά στην αύξηση της θερμοκρασίας, με συνέπεια το μίγμα να αναφλέγεται πριν από τον χρόνο έναυσης. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **προανάφλεξη**.

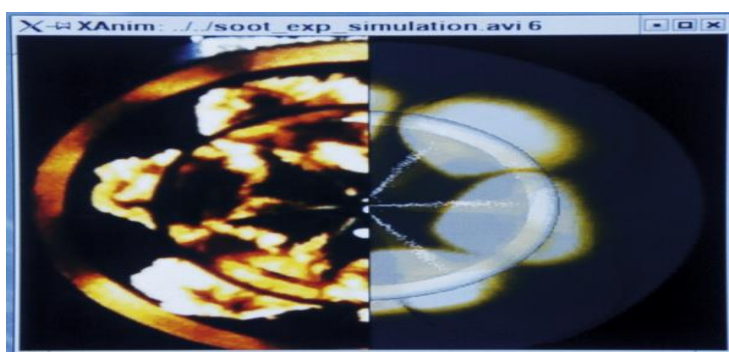
Στην περιστροφική μηχανή η μόνη πηγή μεγάλης θερμότητας που μπορεί να προκαλέσει προανάφλεξη στο καύσιμο μίγμα είναι η θέση γύρω από τον σπινθηριστή. Με την προανάφλεξη προκαλείται απότομη αύξηση της πίεσης με αποτέλεσμα τη χαλάρωση του ελατηρίου κορυφής, τη διαρροή ενός μεγάλου μέρους του αερίου αλλά και τη δραματική μείωση της ισχύος. Κατά την προανάφλεξη η μεγάλη θερμοκρασία που αναπτύσσεται θερμαίνει απότομα τον σπινθηριστή καταστρέφοντας το μονωτικό του υλικό. Τα σπασμένα κομμάτια από το μονωτικό υλικό μπορεί να εισέλθουν στον ενεργό θάλαμο καύσης και να καταστρέψουν το ελατήριο κορυφής. Γι' αυτό το λόγο, η προανάφλεξη δεν είναι επιθυμητή σε καμία περίπτωση.

Ο σπινθηριστής στις περιστροφικές μηχανές είναι εκτεθειμένος σε υψηλές θερμοκρασίες για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα απ' ότι στις παλινδρομικές μηχανές. Για την αποτροπή του φαινομένου της

προανάφλεξης, χρησιμοποιείται συνήθως ένας τύπος σπινθηριστή εξαιρετικά υψηλής θερμικής αντοχής.

4.5 Κρουστική καύση^[12]

Για λειτουργία της μηχανής σε χαμηλό αριθμό στροφών, αλλά με μεγάλο φορτίο, το καύσιμο μίγμα στο πίσω μέρος του θαλάμου καύσης συμπιέζεται και αυταναφλέγεται (εξαιτίας της κίνησης του στροφέα) πριν δοθεί η έναυση του μίγματος από τον σπινθηριστή προκαλώντας έναν έντονο μεταλλικό ήχο. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **κρουστική καύση**. Η περιστροφική μηχανή παρουσιάζει μειονεκτήματα έναντι της κρουστικής καύσης, αφού η απόσταση διάδοσης της φλόγας είναι μεγαλύτερη εξαιτίας του σχεδόν επίπεδου θαλάμου καύσης. Τα πλεονεκτήματα της περιστροφικής μηχανής όσον αφορά την κρουστική καύση είναι η ψύξη του καύσιμου μίγματος, αλλά και ο μεγάλος λόγος της επιφάνειας του στροφέα προς τον θάλαμο καύσης. Στην εικόνα 24 φαίνεται η θέση του στροφέα και η γωνία που σχηματίζει με τον άξονα μετάδοσης κίνησης της μηχανής (50°), καθώς και τη θέση του αισθητήρα κρουστικής καύσης. Η κρουστική καύση προκαλείται στο φάσμα μεταξύ των 45° και 50° και είναι ανεξάρτητη από το χρονισμό των σπινθηριστών.



Εικόνα 25: Απεικόνιση κρουστικής καύσης³³

5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

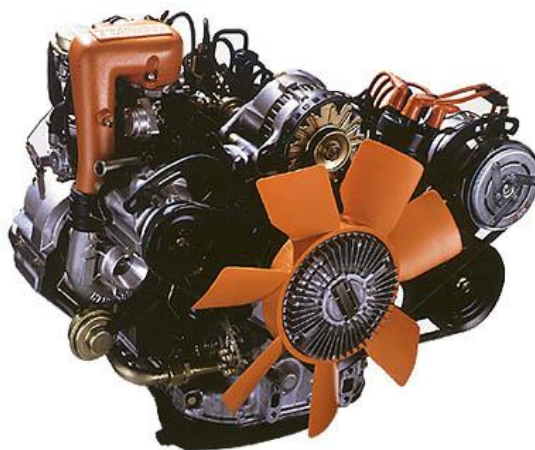
5.1 Τύποι περιστροφικών κινητήρων^[13]

Από το 1954, όπου δημιουργήθηκε ο πρώτος περιστροφικός κινητήρας wankel, έως και σήμερα έχουν κατασκευαστεί αρκετοί τύποι κινητήρων με σημαντικές βελτιώσεις σε σχέση με τον πρώτο κινητήρα, για μέγιστες επιδόσεις και μεγάλη διάρκεια ζωής. Στη συνέχεια του κεφαλαίου θα αναλύσουμε ξεχωριστά τους διαφόρους τύπους κινητήρων και θα εστιάσουμε στην αξιοπιστία τους.

Οι ποιο διαδεδομένοι τύποι κινητήρων wankel που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι οι εξής:

5.1.1 Τύπος 12A^[13]

Παρουσιάστηκε το 1970 στο μοντέλο RX-2. Το πάχος του ρότορα είχε αυξηθεί κατά 10 mm σε σχέση με τον 10A (από τα 60 στα 70 mm) με αποτέλεσμα η συνολική χωρητικότητα του κινητήρα ν' ανέβει στα 1,2 L (2x573cc). Ήταν διαθέσιμος σε ατμοσφαιρική μορφή με καρμπιρατέρ, ενώ υπήρξε και έκδοση με ψεκασμό και υπερτροφοδότη καυσαερίων, που εξόπλιζε τα ιαπωνικά RX-7 πρώτης γενιάς και τα Cosmo.



Εικόνα 26: Κινητήρας wankel τύπου 12A³⁴

5.1.2 Τύπος 13B^[13]

Ο κινητήρας αυτός πρωτοπαρουσιάστηκε το 1973 στο Sedan RX-4 (στην ιαπωνική αγορά Luce), ενώ αργότερα εμφανίστηκε και στην ελληνική αγορά. Το πάχος του κάθε ρότορα αυξήθηκε στα 80 mm και η χωρητικότητα του κινητήρα έφτασε στα 1,3 L (2x654cc). Αποτελεί με διαφορά τον πιο δημοφιλή περιστροφικό κινητήρα, αφού έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλά μοντέλα αυτοκινήτων, σε μικρά πούλμαν (το Parkway Rotary 26 του 1974) ακόμη και σε φορτηγάκια pick-up για την αγορά των ΗΠΑ. Μια ενδεικτική λίστα των μοντέλων που έχουν χρησιμοποιήσει αυτόν τον τύπο κινητήρα είναι τα:

- ✓ RX-4
- ✓ RX5
- ✓ 2^η και 3^η γενιά του RX-7
- ✓ JC Cosmo
- ✓ 929

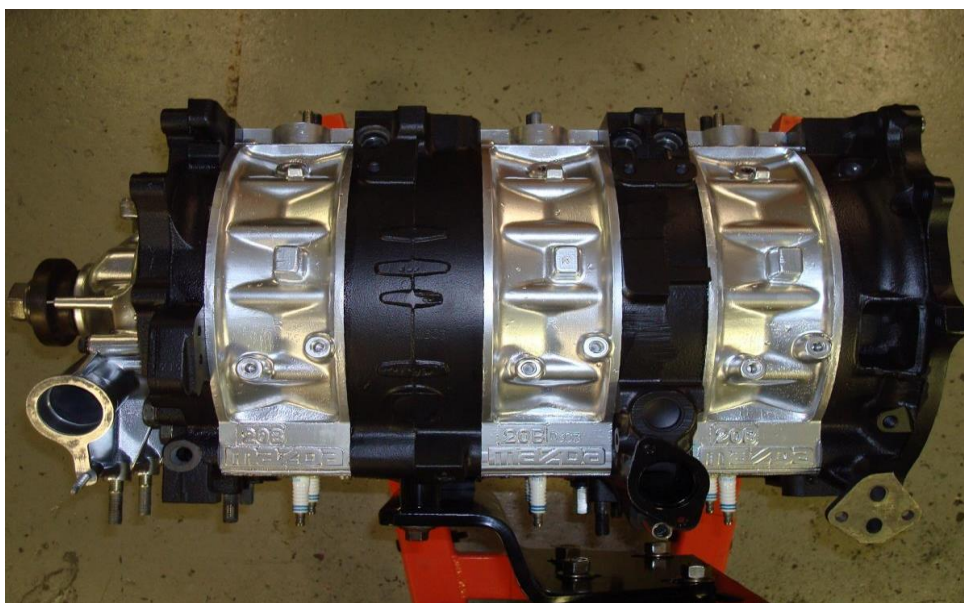
Αρχικά ο 13B ήταν ατμοσφαιρικός με καρμπυρατέρ, αργότερα όμως απέκτησε ψεκασμό και ένα (στη 2^η γενιά του RX-7) ή δύο turbo (στην 3^η). Ήταν ο πρώτος περιστροφικός κινητήρας με τρεις θυρίδες εισαγωγής ανά ρότορα, σε κάποιες εκδόσεις του.



Εικόνα 27: Κινητήρας wankel τύπου 13B³⁵

5.1.3 Τύπος 20B^[13]

Ο σπάνιος αυτός κινητήρας χρησιμοποιήθηκε μόνο στο μεγάλο coupe Eunos Cosmo του 1990, το οποίο προοριζόταν για την ιαπωνική αγορά. Χρησιμοποιεί τρεις ρότορες, ίδιους με του 13B, με αποτέλεσμα η συνολική του χωρητικότητα να είναι 2 L (3x654cc). Ήταν γνωστός για τη δύναμη, την ομαλή λειτουργία του, που μπορούσε να συγκριθεί ακόμη και με ένα V12, αλλά και την κατασκευαστική του πολυπλοκότητα.

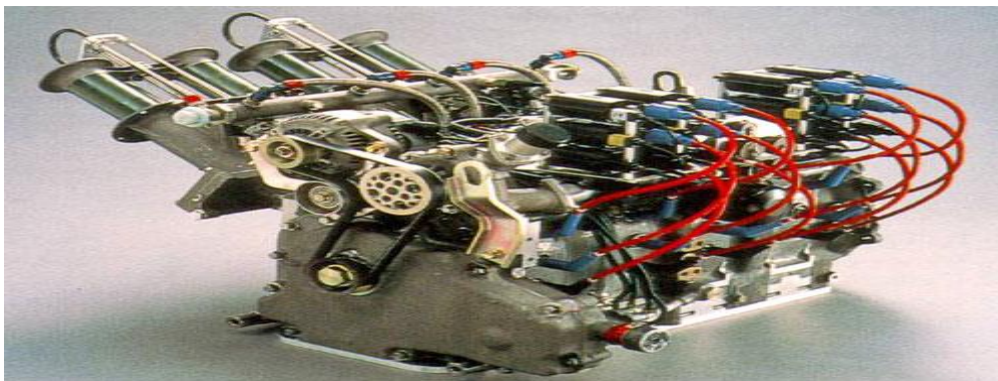


Εικόνα 28: Κινητήρας wankel τύπου 20B³⁶

5.1.4 Τύπος R26B^[13]

Δεν χρησιμοποιήθηκε σε κανένα μοντέλο παραγωγής, αλλά του αξίζει ιδιαίτερη προσοχή, καθώς είναι ο κινητήρας του Mazda 787B που το 1991, 3 χρόνια μετά το θάνατο του Felix Wankel, τερμάτισε πρώτο στις 24 Ώρες του Mans, κατατροπώνοντας αντιπάλους όπως η Mercedes και η Jaguar. Το μοτέρ του είχε τέσσερις ρότορες, ίδιους με του 13B, συνολική χωρητικότητα 2,6 L (4x654cc) και απέδιδε περίπου 700 Ps. Μετά το τέλος του αγώνα, ο κινητήρας του αυτοκινήτου λύθηκε παρουσία δημοσιογράφων, ώστε να διαπιστώσουν ίδιοι όμμασι ότι το εξοντωτικό

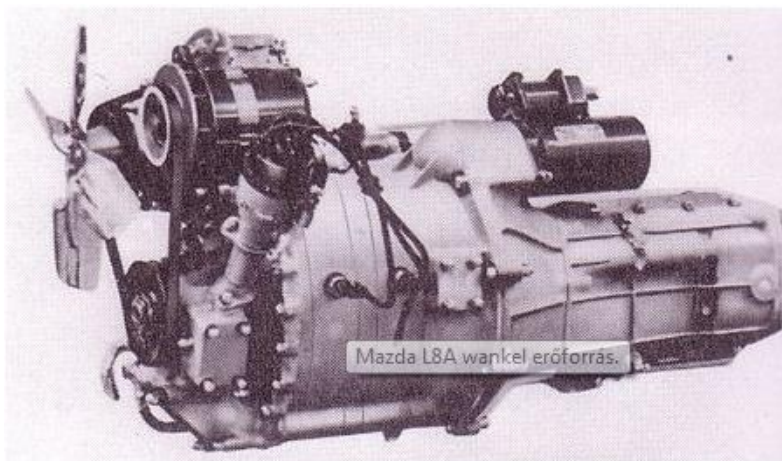
εικοσιτετράωρο δεν του είχε προκαλέσει μεγάλες φθορές. Πράγματι η φθορά στα “μαχαίρια” - που υποφέρουν περισσότερο σε κάθε περιστροφικό κινητήρα - δεν ξεπερνούσε το 1/3 με 1/2 της μέγιστης επιτρεπτής τιμής. Ένα στέλεχος της Mazda είχε δηλώσει τότε ότι “...είναι κρίμα που ο Felix Wankel δεν είναι κοντά μας για να το δει”. Αξίζει να σημειωθεί, τέλος, ότι καμία άλλη ιαπωνική ομάδα δεν έχει κατακτήσει μέχρι σήμερα τη νίκη στον θρυλικό αγώνα αντοχής του Mans.



Εικόνα 29: Κινητήρας wankel τύπου R26B³⁷

5.1.5 Τύπος L8A^[13]

Το πρώτο Mazda Cosmo χρησιμοποίησε ένα κινητήρα συνολικής χωρητικότητας 798 cc με δύο στροφεία. Ο κινητήρας και το αυτοκίνητο εμφανίζονται στο σαλόνι αυτοκινήτου του 1963 στο Tokyo Motor Show. Με χυτοσίδηρο στη στεγανοποίηση μείωσε τους κραδασμούς απ’ την αλλαγή της συχνότητας κι έτσι το χτύπημα (νυχιές). Χρησιμοποιούσε ξηρό κάρτερ λίπανσης. Ο δρομέας ήταν από την σειρά 40α με διάμετρο 98 mm, αλλά το βάθος είχε μειωθεί σε 56 mm.



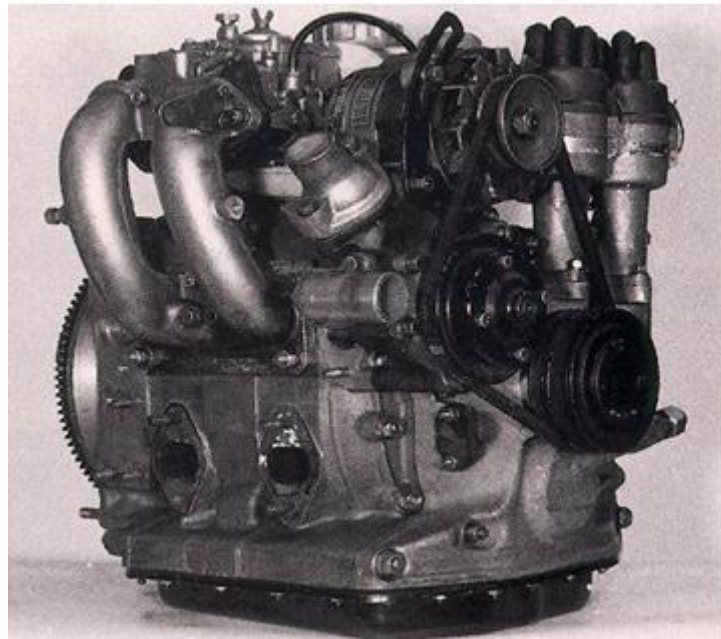
Εικόνα 30: Κινητήρας wankel τύπου L8A³⁸

5.1.6 Τύπος 10A^[13]

Η σειρά 10A ήταν ο πρώτος κινητήρας παραγωγής wankel που εμφανίζεται το 1965, με δύο στροφεία 491 cc, με συνολικά 982 cc. Ο εν λόγω κινητήρας εμφανίζεται στον κορμό μ' ένα στροφείο διαστάσεων 60 mm με 59 mm βάθος. Το στροφείο κατασκευάστηκε από αλουμίνιο με κάλυψη χρωμίου, ενώ το αλουμίνιο είχε ψεκαστεί με λιωμένο χάλυβα για αντοχή. Χυτοσίδηρος χρησιμοποιήθηκε για τους στροφείς και στους άξονες με κράμα χρωμίου - μολυβδαινίου - χάλυβα. Η προσθήκη του αργιλίου / άνθρακα στην κορυφή των σφραγίδων απευθύνεται στο πρόβλημα του χτυπήματος.

Η 10A είχε τροποποιηθεί σημαντικά για την ευρείας κλίμακας παραγωγή στην RIOO / Familia Rotary. Πολλές αλλαγές έγιναν σε μια προσπάθεια να μειωθεί το κόστος παραγωγής. Αυτές περιελάμβαναν τη χρήση του χυτοσιδήρου στις στεγαστικές πλευρές και λιγότερο ακριβά “molded” (αντί της άμμου - cast) για τα καλύμματα αλουμινίου, χάλυβα και χρωμίου, για τον εκκεντρικό άξονα. Η ρύθμιση εισαγωγής παρέμεινε ίδια, αλλά τα καυσαέρια δεν ήταν πλέον γύρω από το περίβλημα. Η απόδοση του ακαθόριστης παραγωγής κινητήρα ήταν ισχύος 100 hp (75

kW) σε 7000 rpm. Το βάρος του κινητήρα λόγω των λίγο καλύτερων υλικών αυξήθηκε από 102 Kg έως 122 Kg.

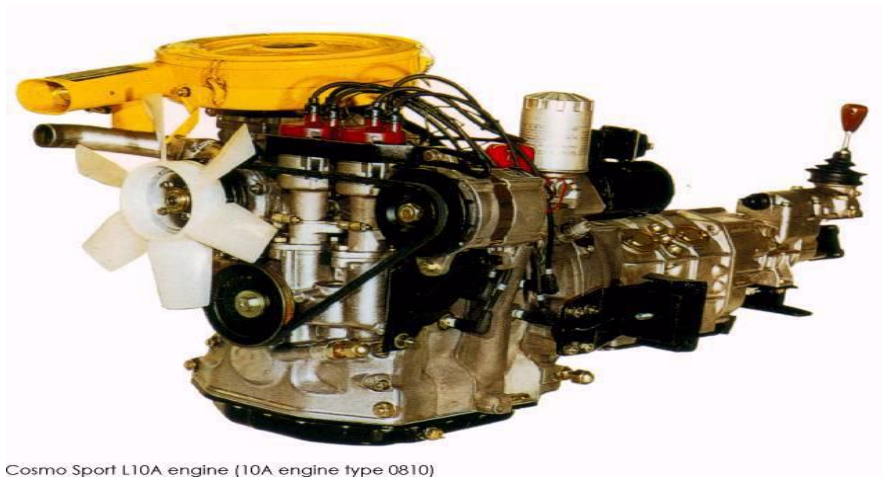


Εικόνα 31: Κινητήρας wankel τύπου 10A³⁹

5.1.7 Τύπος 0810^[13]

Ο πρώτος κινητήρας 0810, χρησιμοποιήθηκε για τα αυτοκίνητα της σειράς Cosmo απ' το Μάιο του 1965 έως τα μέσα Ιουλίου του 1968. Αυτά τα αυτοκίνητα, με επαναστατικό κινητήρα, συχνά ονομάζονται και L10A μοντέλα. Είχαν απόδοση 110 hp (82 kW) σε 7000 rpm και 130 Nm σε 3500 rpm, αλλά και οι δύο αριθμοί ήταν μάλλον αισιόδοξοι. Το δίδυμο που εμφανίζεται είχε δυο εισαγωγές ανά δρομέα, καθεμία από τις οποίες τροφοδοτείται από τέσσερα καρμπυρατέρ βαρέλια. Για την οικονομία καυσίμου χρησιμοποιήθηκε μια μόνο εισαγωγή ανά στροφέιο από χαμηλά και μία μόνο περιφερειακή θύρα καυσαερίων θερμού αέρα μέσω της πιο κρύας πλευράς του κινητήρα, με αποτέλεσμα το ψυκτικό να εισρέει αξονικά κι όχι ακτινικά, όπως είχε χρησιμοποιηθεί απ' την NSU στο θρυλικό TT. Αυτός ο τύπος κινητήρα τροποποιήθηκε για τ' αγωνιστικά Cosmos που χρησιμοποιούνταν στον αγώνα της πίστας του

Nürburgring. Οι κινητήρες αυτοί είχαν μια ρυθμιστική πεταλούδα για χρήση σε υψηλές ή χαμηλές στροφές λειτουργίας του κινητήρα, τηρουμένων πάντα των αναλογιών των αγώνων.



Cosmo Sport L10A engine (10A engine type 0810)

Εικόνα 32: Κινητήρας wankel τύπου 0810⁴⁰

5.1.8 Τύπος 0813^[13]

Ο βελτιωμένος κινητήρας 0813, σε σύγκριση με τον 0810, εμφανίστηκε τον Ιούλιο του 1968 στη σειρά II / L10B Cosmo. Η κατασκευή του ήταν παρόμοια με το 0810, αλλά οι εισαγωγές και τα καρμπυρατέρ αναθεωρήθηκαν για να παράγει 130 hp (96 kW) σε 7000 rpm και 140 Nm σε 5000 rpm.

5.1.9 Τύπος 13A^[13]

Το 13A αποτελεί το τελευταίο μέλος της οικογένειας 10A στα Mazda RX-3. Εξοπλίστηκε με τον περιστροφικό κινητήρα τύπου 0866 που σχεδιάστηκε ειδικά για τους εμπρόσθιους τροχούς. Είχε δύο στροφείς 655 cc, για συνολικά 1310 cc. Αυτή ήταν η μοναδική παραγωγή Mazda Wankel με στροφείο με διαφορετικές διαστάσεις. Η διάμετρος ήταν 120 mm και η άμβλυνσή της ανερχόταν σε 17.5 mm, αλλά το βάθος παρέμεινε το ίδιο με το 0813 σε 60 mm. Μια άλλη σημαντική διαφορά

απ' τους προηγούμενους κινητήρες ήταν το ολοκληρωμένο υδρόψυκτο ψυγείο ελαίου. Στα στροφεία η στέγαση τώρα ήταν επικαλυμμένη με μια νέα διαδικασία με νέα μέθοδο επίχρισης (TCP) όπου εμφανίζεται και ισχύς 105 hp (78 kW) σε 7.000 rpm και 135 Nm στις 3.500 rpm.



Εικόνα 33: Κινητήρας wankel τύπου 13A⁴¹

5.1.10 Τύπος BE - REW^[13]

Ίσως η δημοφιλέστερη σειρά RX-7 με twin-turbo κινητήρα με δύο ρότορες χωρητικότητας 654cc, εξελιγμένο σύστημα ψεκασμού (EGI – HS) και σχέση συμπίεσης στο 9.0:1. Αυτά έχουν ως αποτέλεσμα 241 καταλυτικούς ίππους στις 6500 rpm και μέγιστη ροπή στρέψης 296 Nm στις 5000 rpm. Όπως ήταν φυσικό έγινε διάσημη για την υψηλή απόδοση και το χαμηλό της βάρος. Το δίδυμο Hitachi HT-12 turbos λειτουργούν διαδοχικά, με την ώθηση που παρέχουν πρωτοβάθμια μέχρι τις 4500 rpm. Ενώ ο σχεδιασμός του RX-7 III παραμένει ακόμα και σήμερα αξεπέραστος. Η συμπεριφορά του στο δρόμο έμοιαζε πολύ με αγωνιστικού αυτοκινήτου και απαιτούσε πισωκίνητη εμπειρία. Παρόλα αυτά όμως προβλήματα αξιοπιστίας έκαναν πάλι την εμφάνισή τους σε

μεγαλύτερο αριθμό απ' ότι στο παρελθόν, λόγω της μεγάλης εμπορικής επιτυχίας κι απήχησης που είχε το RX-7 III.



Εικόνα 34: Κινητήρας wankel τύπου BE – REW⁴²

5.1.11 Τύπος 13J^[13]

Το M-13J ήταν το πρώτο Mazda με αγωνιστικό τετραρότορο κινητήρα που χρησιμοποιούνταν το 1988 και το 1989 το 767 (MM-13J με δύο απότομες επαγωγές σωλήνα) στα πρότυπα του Le Mans. Ο 13J κινητήρας ήταν ελλειπής από άποψη σχεδιασμού και αντικαταστάθηκε απ' τον 26B.



Εικόνα 35: Κινητήρας wankel τύπου 13J⁴²

5.2 Επεξήγηση λειτουργίας του κινητήρα κατά το φάσμα στροφών^[13]

Σε αυτή την ενότητα του κεφαλαίου, θα αναλύσουμε τις λειτουργίες που εκτελεί ένας κινητήρας wankel, σε όλο το φάσμα των στροφών.

➤ Λειτουργία περιοχής < 3250 rpm

Μέχρι τις 3250 rpm η ροή του αέρα γίνεται μόνο μέσω των πρωτογενών αυλών (Primary Ports). Με τον τρόπο αυτό επιταχύνεται ο αέρας έτσι ώστε να αναμιχθεί όσο το δυνατόν καλύτερα με το καύσιμο. Προς αυτή την κατεύθυνση κινείται και η ύπαρξη δυο βοηθητικών παροχετεύσεων αέρα κάτω από τα μπεκ ψεκασμού καυσίμου. Ο αέρας εισαγωγής βγαίνει από τις παροχετεύσεις με πολύ μεγάλη ταχύτητα και συγκρούεται με τη δέσμη του καυσίμου, με αποτέλεσμα τον λεπτότερο διαμερισμό του μίγματος, κάτι που βοηθά στην καλύτερη καύση του.

➤ Λειτουργία περιοχής 3250 - 5500 rpm

Στις 3250 rpm τα κλαπέτα στους δευτερογενείς (Secondary) αυλούς εισαγωγής ανοίγουν και ο τότε ο wankel χρησιμοποιεί δύο αυλούς και δύο θυρίδες εισαγωγής ανά ρότορα. Αυξάνεται έτσι η ποσότητα του αέρα προς τον κινητήρα και επιτυγχάνεται καλύτερη απόδοση. Μέχρι τις 5500 rpm ο τρόπος λειτουργίας των εκδόσεων High Power και Standard Power είναι πανομοιότυπος.

➤ Λειτουργία περιοχής 5500 - 6250 rpm

Στις 5500 rpm ανοίγει μέσω βαλβίδας το δεύτερο άνοιγμα στη χοάνη της εισαγωγής ώστε να μειωθούν ακόμη περισσότερο οι αντιστάσεις του

εισερχόμενου αέρα. Το συγκεκριμένο σύστημα υπάρχει μόνο στον κινητήρα High Power (στον κινητήρα Standard Power η χοάνη εισαγωγής διαθέτει ένα μόνο άνοιγμα, λίγο φαρδύτερο από του High Power) και έχει την ονομασία Variable Fresh Air Duct (VFAD), από τη Mazda.

➤ **Λειτουργία περιοχής 6250 - 7250 rpm**

Στις 6250 rpm ανοίγουν τα κλαπέτα των βοηθητικών αυλών (Auxiliary Ports) - υπάρχουν μόνο στον κινητήρα High Power - και τότε ο αέρας χρησιμοποιεί τρεις θυρίδες ανά ρότορα για την εισαγωγή. Για την κίνηση των κλαπέτων φροντίζει ένας ηλεκτροκινητήρας με μηχανισμό κρεμαγιέρας. Για να αποφεύγονται οι επικαθήσεις άνθρακα, τα κλαπέτα ανοίγουν και κλείνουν μια φορά κάθε φορά που ξεκινά ο κινητήρας.

➤ **Λειτουργία περιοχής > 7.250 rpm**

Μετά τις 7.250 rpm ανοίγει ένα επιπλέον κλαπέτο που ενώνει τους αυλούς εισαγωγής των δύο ροτόρων. Αυτό γίνεται για να εκμεταλλευτεί ο κινητήρας το φαινόμενο των κυμάτων πίεσης που προκαλούνται από το απότομο κλείσιμο των θυρίδων εισαγωγής. Τα κύματα αυτά αυξάνουν στιγμιαία την πίεση του εισερχόμενου αέρα και έτσι μεγαλώνει ο βαθμός πλήρωσης των θαλάμων καύσης, σαν “ατμοσφαιρική υπερτροφοδότηση”. Το κλαπέτο αυτό ονομάζεται Variable Dynamic Effect Intake Valve (VDEIV).

5.3 Σύστημα εισαγωγής μίγματος σε περιστροφικό κινητήρα^[13]

Οι μηχανικοί της Mazda, στην προσπάθειά τους να αντιμετωπίσουν το μειωμένο στροβιλισμό του μίγματος, που προκαλεί η απουσία βαλβίδων στον κινητήρα wankel (χαρακτηριστικό με πολύ αρνητικές συνέπειες στην απόδοση, κυρίως στις χαμηλές rpm), εξέλιξαν ένα έργο τέχνης. Ανάλογα με τις στροφές του κινητήρα αλλάζει η διαδρομή του αέρα εισαγωγής από το περιβάλλον μέχρι το θάλαμο καύσης, με σκοπό τη βελτιστοποίηση των ροϊκών του χαρακτηριστικών.

Η κυριότερη διαφορά μεταξύ των εκδόσεων High Power και Standard Power εντοπίζεται στο σύστημα εισαγωγής. Ο Renesis High Power έχει τρεις θυρίδες εισαγωγής ανά ρότορα (οι οποίες συνδέονται με ισάριθμους αυλούς εισαγωγής) έναντι των δύο του Standard Power. Με λογική παρόμοια με αυτή που ακολουθείται στα μπεκ ψεκασμού, οι δύο θυρίδες ονομάζονται Primary και Secondary Ports και η επιπλέον τρίτη θυρίδα του κινητήρα High Power ονομάζεται Auxiliary Port. Οι αυλοί εισαγωγής που συνδέονται με τις θυρίδες Secondary και Auxiliary μπορούν να κλείσουν μέσω κλαπέτων, ενώ οι αυλοί των Primary Ports μένουν πάντοτε ανοικτοί.

Μια δεύτερη διαφορά εντοπίζεται στη χοάνη της εισαγωγής πριν από το φίλτρο. Ο κινητήρας High Power διαθέτει ένα επιπλέον άνοιγμα που ανοιγο-κλείνει μέσω βαλβίδας.

5.4 Οικονομία καυσίμου στους περιστροφικούς κινητήρες

Το σχήμα του θαλάμου καύσης του wankel είναι πιο ανθεκτικό στην λειτουργία προανάφλεξης σε ένα χαμηλότερο αριθμό οκτανίων βενζίνης, σε σύγκριση με έναν εμβολοφόρο κινητήρα. Το σχήμα του

θαλάμου καύσης μπορεί επίσης να οδηγήσει σε σχετικά ατελή καύση του μίγματος αέρα - καυσίμου. Αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα ένα μεγάλο ποσό άκαυστων υδρογονανθράκων να απελευθερωθούν από την εξάτμιση. Η εξάτμιση, ωστόσο, έχει σχετικά χαμηλές εκπομπές οξειδίων αζώτου (NO_x), καθώς οι θερμοκρασίες καύσης είναι χαμηλότερες απ' ό τι σε άλλες μηχανές, αλλά και λόγω κάποιας επανακυκλοφορίας αερίου σε παλαιότερες μηχανές. Ο Sir Harry Ricardo, τη δεκαετία του 1920, έδειξε ότι για κάθε αύξηση κατά 1% στην αναλογία καυσαερίων του εισερχόμενου μίγματος, υπάρχει μια μείωση 45 F στη θερμοκρασία φλόγας. Αυτό επέτρεψε στη Mazda να συναντήσει τις απαιτήσεις των Ηνωμένων Πολιτειών για καθαρό αέρα, το 1973, με έναν απλό και φθηνό «θερμικό αντιδραστήρα», ο οποίος είναι ένας διευρυμένος θάλαμος στην πολλαπλή εξαγωγή. Μειώνοντας την αναλογία αέρα - καυσίμου οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες στην εξάτμιση θα αναφλέγονταν στον θερμικό αντιδραστήρα. Τα αυτοκίνητα με εμβολοφόρες μηχανές απαιτούσαν ακριβούς καταλυτικούς μετατροπείς για να αντιμετωπίσουν τόσο τους άκαυστους υδρογονάνθρακες, όσο και τις εκπομπές NO_x . Αυτή η ανέξοδη λύση βελτίωσε την κατανάλωση καυσίμου, που ήταν ένα αδύναμο στοιχείο του κινητήρα wankel, την ίδια στιγμή που η πετρελαϊκή κρίση του 1973 αύξησε την τιμή της βενζίνης. Η Toyota ανακάλυψε ότι η τροφοδότηση με αέρα στην εξαγωγή βελτίωσε την οικονομία καυσίμου και τις εκπομπές ρύπων. Τα καλύτερα αποτελέσματα ελήφθησαν με τη χρήση οπών στις πλευρικές πλάκες, οι οποίες δεν είχαν αισθητή επιρροή στην εξαγωγή. Η χρήση καταλυτών τριών σταδίων, με αέρα να παρέχεται στην μέση όπως στους δίχρονους εμβολοφόρους κινητήρες, αποδείχτηκε επίσης καλή. Η Mazda βελτίωσε κατά 40% την αποδοτικότητα των καυσίμων του συστήματος του θερμικού αντιδραστήρα, από τη στιγμή κυκλοφορίας του Mazda RX-7, το 1978. Ωστόσο, τελικά κατέληξε στο σύστημα του καταλυτικού

μετατροπέα. Σύμφωνα με την έρευνα των Curtiss & Wright, ο παράγοντας που ελέγχει την ποσότητα άκαυστου υδρογονάνθρακα στην εξαγωγή είναι η θερμοκρασία της επιφάνειας του ρότορα, με υψηλότερες θερμοκρασίες να παράγουν λιγότερους υδρογονάνθρακες. Η ίδια έρευνα έδειξε, επίσης, ότι ο ρότορας μπορεί να διευρυνθεί διατηρώντας το υπόλοιπο της αρχιτεκτονικής του κινητήρα αμετάβλητο, μειώνοντας έτσι τις απώλειες τριβής και αυξάνοντας τη μετατόπιση και την απόδοση ισχύος. Ο περιοριστικός παράγοντας αυτής της διεύρυνσης είναι οι μηχανικές εκτιμήσεις και ιδιαίτερα η παραμόρφωση του άξονα, σε υψηλές ταχύτητες περιστροφής. Η απόσβεση είναι η κυρίαρχη πηγή υδρογονανθράκων σε υψηλές ταχύτητες και η διαρροή σε χαμηλές. Οι κινητήρες wankel είναι σε θέση να λειτουργήσουν σε υψηλές ταχύτητες. Ωστόσο, φάνηκε ότι ένα πρώιμο άνοιγμα του αυλού εισαγωγής, καθώς και μια μεγαλύτερη εκκεντρότητα στροφείου, μπορεί να αυξήσει τη ροπή στις χαμηλές στροφές. Το σχήμα και η τοποθέτηση της εσοχής στο δρομέα, το οποίο αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος του θαλάμου καύσης, επηρεάζει τις εκπομπές και την οικονομία καυσίμου. Τα αποτελέσματα από την άποψη της οικονομίας καυσίμου και εκπομπών καυσαερίων ποικίλλουν ανάλογα με το σχήμα της εσοχής καύσης, η οποία καθορίζεται από την τοποθέτηση του μπουζί ανά θάλαμο καύσης^[8].

5.5 Προβλήματα περιστροφικών κινητήρων

Το πρόβλημα αυτών των κινητήρων είναι άμεσα συναρτημένο με τον τρόπο λειτουργίας τους και δεν είναι άλλο από τη διαρροή άκαυστου μίγματος στην ατμόσφαιρα, μέσω της θυρίδας εξαγωγής. Στο δίχρονο παλινδρομικό, αυτό συμβαίνει οικειοθελώς, ακριβώς επειδή δεν υπάρχει άλλος τρόπος για να εξωθηθούν τα καυσαέρια του κυλίνδρου προς την ατμόσφαιρα, στο μικρό εκείνο χρονικό διάστημα που η θυρίδα εξαγωγής

είναι ταυτόχρονα ανοικτή με τη θυρίδα εισαγωγής. Στον wankel, αντίθετα, αυτό συμβαίνει παρά τη θέλησή μας και η αιτία είναι το σχήμα του θαλάμου καύσης του το οποίο, όσο και να προσπαθήσουμε, δεν θα μπορέσει να αλλάξει σημαντικά, σε σχέση με το σημερινό. Δυστυχώς, η σφηνοειδής μορφή του στην περιοχή των κορυφών (apex seals) του ρότορα είναι τέτοια ώστε να μη φτάνει ποτέ εκεί το μέτωπο της καύσης. Κι αντί για την καύση, εκείνο που φτάνει, κάμποσες μοίρες αργότερα, είναι μια ορθάνοικτη θυρίδα εξαγωγής, ακριβώς στο σημείο που «πρέπει», ώστε να εγκαταλείψουν οι υδρογονάνθρακες τον κινητήρα^[7].

Και στους δύο όμως κινητήρες, τον παλινδρομικό και τον περιστροφικό, πέρα από τις διαρροές άκαυστων υδρογονανθράκων, κοινό σημείο είναι η συνεχής παρουσία καυσαερίων στο εσωτερικό των θαλάμων τους εξαιτίας της ανικανότητάς τους να τα «σαρώσουν» αποτελεσματικά. Σε ό,τι, πάντως, αφορά στους άκαυστους υδρογονάνθρακες, από περιβαλλοντικής πλευράς ουσιαστικό πρόβλημα δεν υπάρχει αφού γι' αυτό φροντίζει ο καταλύτης. Στις συγκεκριμένες μάλιστα περιπτώσεις, ο καταλύτης μπορεί να διαθέτει μιαν εξαιρετικά απλουστευμένη μορφή, καθώς οι κινητήρες αυτού του είδους δεν παράγουν οξειδία του αζώτου (NO_x). Ένας από τους λόγους που δεν παράγονται τέτοια οξειδία είναι το ότι μίγμα της καύσης τους περιέχει μεγάλο ποσοστό καυσαερίων από τον προηγούμενο κύκλο. Το μόνο πρόβλημα που υπάρχει, είναι άμεσα συναρτημένο με την τρέχουσα τιμή του πετρελαίου. Κι αυτό, επειδή όπου υπάρχουν άκαυστοι υδρογονάνθρακες στα αέρια της εξαγωγής, αυτό μεταφράζεται σε βενζίνη που ενώθηκε χημικά με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας σε χώρο εκτός του θαλάμου καύσης^[7].

5.6 Θόρυβοι κατά τη λειτουργία του περιστροφικού κινητήρα^[7]

Τα πολύ χαμηλά επίπεδα θορύβου στην περιστροφική μηχανή σε σύγκριση με την παλινδρομική μηχανή είναι ένα από τα σημαντικά χαρακτηριστικά, αλλά, ταυτόχρονα, και ένα από τα βασικά της πλεονεκτήματα.

Ο θόρυβος που παράγεται από τις μηχανές εσωτερικής καύσης διαίρειται ανάλογα με την πηγή σε:

- ✓ θόρυβος κατά την καύση,
- ✓ μηχανικός θόρυβος,
- ✓ θόρυβος στα συστήματα εισαγωγής και εξαγωγής και
- ✓ θόρυβος που οφείλονται σε διάφορα άλλα μέρη της μηχανής.

Ο θόρυβος καύσης προκαλείται από τις διακυμάνσεις πίεσης μέσα στο θάλαμο καύσης. Η περιστροφική μηχανή παρουσιάζει πιο αργή αλλαγή πιέσεων από την παλινδρομική μηχανή, με συνέπεια την παραγωγή χαμηλότερου θορύβου κατά την καύση. Για την περιστροφική μηχανή υπάρχουν πλεονεκτήματα στο θόρυβο καύσης λόγω της υψηλής ακαμψίας του εξωτερικού κελύφους του. Η περιοχή επιφάνειας όπου ο θόρυβος μπορεί να μεταδοθεί εξωτερικά είναι μικρή, ενώ στις υδρόψυκτες μηχανές υπάρχει ένα επιπλέον στρώμα γύρω από αυτές που σχηματίζει το ψυκτικό ρευστό, κάνοντας έτσι αδύνατη την εκπομπή οποιουδήποτε ήχου. Επειδή η περιστροφική μηχανή δεν απαιτεί κανέναν μηχανισμό βαλβίδων εισαγωγής - εξαγωγής, ο μηχανικός θόρυβος είναι πολύ χαμηλός.

Στην παλινδρομική μηχανή, ο μηχανισμός του εμβόλου είναι μια σημαντική πηγή θορύβου, ενώ στην περιστροφική μηχανή, δεν υπάρχει

σχεδόν καμία αλλαγή στο φορτίο ώθησης στο στροφέα. Έτσι, δεν παράγεται κανένας θόρυβος από αέρια.

Οι κύριοι μηχανικοί θόρυβοι της περιστροφικής μηχανής είναι:

- ✓ ο θόρυβος του οδοντωτού μηχανισμού χρονισμού του στροφέα,
- ✓ ο θόρυβος από την ολίσθηση του πλαϊνού και του ελατήριου κορυφής και
- ✓ ο θόρυβος της καδένας και των οδοντωτών τροχών που κινούν τους μηχανισμούς λίπανσης, ανάφλεξης, κ.λπ.

Πάντως, το μέγεθος αυτών των θορύβων που διαδίδονται εξωτερικά είναι πολύ μικρότερο από τον θόρυβο του βοηθητικού μηχανισμού που εγκαθίσταται έξω από τη μηχανή.

Ο θόρυβος στο σύστημα εισαγωγής - εξαγωγής προκαλείται από τους παλμούς και την αναταραχή στις ροές του μίγματος εισαγωγής και του καυσαερίου κατά την εξαγωγή. Όσον αφορά το θόρυβο εισαγωγής, η περιστροφική μηχανή με το σύστημα θυρίδων εισαγωγής δεν έχει καμία ευδιάκριτη διαφορά από την παλινδρομική μηχανή. Ο θόρυβος κατά την εξαγωγή αυξάνεται σε πολύ υψηλά επίπεδα κατά τη στιγμή που ανοίγει η θυρίδα εξαγωγής. Στην περιστροφική μηχανή με το σύστημα των θυρίδων εξαγωγής στο κέλυφος του στροφέα παράγεται υψηλής συχνότητας ήχος κατά την εξαγωγή και οφείλεται στο γρήγορο άνοιγμα του θυρίδας. Σε μερικές περιστροφικές μηχανές υπάρχει θυρίδα εξαγωγής σε κυψελωτή μορφή για να μειωθεί ο ήχος εξαγωγής στην θυρίδα.

5.7 Το πρόβλημα της υψηλής κατανάλωσης και η λύση από τη Mazda^[14]

Για τη Mazda, η αιτία της υψηλής κατανάλωσης των περιστροφικών αυτοκινήτων της (μέχρι και το τελευταίο RX-7 με τον υπερτροφοδοτού-

μενο κινητήρα 13B REW), ήταν δεδομένη. Για όλα έφταιγε η θέση της θυρίδας εξαγωγής.

Μέχρι τώρα ήταν δεδομένο ότι σε κάποια στιγμή του κύκλου θα ήταν ταυτόχρονα ανοικτές - και «συγκοινωνούσες» - οι θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής, καθώς η θυρίδα εξαγωγής βρισκόταν στην περιφέρεια του στάτορα. Το αποτέλεσμα αυτού του «γεωμετρικού πειθαναγκασμού» ήταν, να υπάρχει μία χρονική στιγμή, λίγο πριν το πέρας του χρόνου εξαγωγής, όπου το ένα μισό της θυρίδας βρισκόταν από τη μία πλευρά του ελατηρίου κορυφής (apex seal) του ρότορα και το άλλο μισό από την άλλη. Η άλλη όμως αυτή πλευρά, βρισκόταν σε τέτοια θέση ώστε να επικοινωνεί, μέσω του «κοιλώματος» του θαλάμου καύσης, με το χώρο όπου είχε ήδη ξεκινήσει η φάση της εισαγωγής. Και εδώ πλέον, δεν μιλάμε μόνο για την περίπτωση να περάσουν καυσαέρια προς την πλευρά της εισαγωγής, αλλά να περάσει και φρέσκο μίγμα, προς την αντίθετη κατεύθυνση, ειδικά μάλιστα όταν υπάρχει υπερτροφοδότηση και οι στροφές στις οποίες γυρίζει ο κινητήρας είναι «ευνοϊκές» για να παρουσιαστεί το φαινόμενο. Σε γενικές πάντως γραμμές, το ποιο από τα δύο αέρια (μίγμα ή καυσαέριο) θα κινηθεί - και προς ποια κατεύθυνση - στο εσωτερικό του 13B, αυτό είναι κάτι που εξαρτάται από τη διαφορά πιέσεων που επικρατεί, τη συγκεκριμένη στιγμή, στους αντίστοιχους χώρους. Έτσι, αν ο κινητήρας λειτουργεί στο ρελαντί, με την πεταλούδα του γκαζιού τελείως κλειστή, τότε έχουμε από τη μία πλευρά την πίεση των καυσαερίων, από την άλλη την υποπίεση από την κλειστή πεταλούδα και στη μέση μία πολύ λεπτή δίοδο. Σε όλα αυτά, πρέπει να προστεθεί και το γεγονός ότι ο κινητήρας wankel περιστρέφεται αργά στο ρελαντί (γύρω στις 700 rpm). Καταλήγουμε, λοιπόν, στο ότι δεν υπάρχει «αυθόρμητη» εισροή καυσαερίων στο θάλαμο καύσης. Οι μηχανικοί των περιστροφικών κινητήρων αποκαλούν την κατάσταση αυτή ως «εσωτερι-

κή ανακύκλωση καυσαερίων» (Internal EGR), ένα φαινόμενο το οποίο, στις ψηλές στροφές συντελεί στην μείωση του ποσοστού άκαυστων υδρογονανθράκων στην εξάτμιση (εξαιτίας της επανάκαυσής τους μέσα στον κινητήρα) ενώ, όπως είπαμε, περιορίζει και τις εκπομπές NO_x. Στις χαμηλές στροφές όμως και στα «μικρά (έως μηδενικά)» πατήματα του γκαζιού, υπάρχει μεγάλο πρόβλημα. Όταν το καύσιμο μίγμα είναι «μολυσμένο» από έστω και μικρή ποσότητα καυσαερίων - και συγκεκριμένα διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) - και ο κινητήρας λειτουργεί υπό συνθήκες σχεδόν μηδενικού φορτίου, τότε η δυσκολία - και «τυχειότητα» - μετακίνησης του μετώπου της φλόγας μέσα από τους μονωτικούς θύλακες του CO₂, προκαλεί «αστάθεια» καύσης. Και μάλιστα τόσο μεγαλύτερη, όσο υψηλότερο είναι το ποσοστό CO₂ στο φρέσκο μίγμα.

Ένα πολύ πιο πλούσιο μίγμα, εξαιτίας του οποίου θα αυξηθεί, κατ' αρχήν, η ταχύτητα μετάδοσης της καύσης. Χαρακτηριστική είναι μία «εσωτερική» μελέτη της ίδιας της Mazda η οποία βγήκε στην επιφάνεια πριν από 7 περίπου χρόνια, όταν είχαν ολοκληρωθεί τα πειράματα για τη μετατροπή του 13B (με την περιφερειακή θυρίδα εξαγωγής) στο Renesis, με τη θυρίδα σε πλευρική θέση. Στη μελέτη αυτή, που υπογράφουν οι R. Shimizu, H. Okimoto, S. Tashima και S. Fuse, επισημαίνεται ότι, όσο το ποσοστό του CO₂ στο φρέσκο μίγμα του ρελαντί δεν ξεπερνά το 2,2 %, οι διακυμάνσεις πίεσης στο θάλαμο καύσης (ως δείκτες αποτελεσματικότητας της ίδιας της καύσης) δεν ξεπερνούν το 1,8 % από κύκλο σε κύκλο. Από τη στιγμή, όμως, που το CO₂ ξεπερνά το 2,5 %, αρχίζουν οι έντονες διακυμάνσεις οι οποίες μπορούν να φτάσουν και να περάσουν ακόμα και το 7 %, πολύ προτού η περιεκτικότητα σε CO₂ φτάσει το 3 %.

Με την υπάρχουσα τεχνολογία, η μόνη εφικτή λύση για να εξομαλυνθεί το ρελαντί του κινητήρα κάτω από αυτές τις συνθήκες, είναι ο έντονος εμπλουτισμός του μίγματος. Χαρακτηριστική ήταν η πειραματική επαλή-

θευση (από την ίδια ομάδα) ότι ο κινητήρας 13B REW του RX-7 καταναλώνει, στο ρελαντί, 1,6 L/h, κάθε φορά που η συγκέντρωση CO₂ στο μίγμα του θαλάμου καύσης του ξεπερνούσε το 3%. Και, όπως διαπιστώθηκε στη συνέχεια, ο ίδιος κινητήρας θα έκαίγε μόνο 1,2 L αν η συγκέντρωση CO₂ μπορούσε να κρατηθεί κάτω από το 2,5% (γεγονός που θα του επέτρεπε του να λειτουργήσει απολύτως ομαλά, αλλά με πολύ πτωχότερο μίγμα) κάπου εκεί, προφανώς, πάρθηκε η απόφαση των μηχανικών της Mazda: «Όταν θα μας αφήσουν να ξανασχεδιάσουμε κινητήρα wankel, αυτός θα πρέπει να διατηρεί “στεγανοποιημένη” τη δίοδο ανάμεσα στις θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής. Και όταν θα καταφέρουμε να μειώσουμε το ποσοστό διοξειδίου μέσα στο θάλαμο καύσης, θα καταφέρουμε να κάνουμε τον κινητήρα μας να δουλέψει ακόμα και με πτωχά μίγματα, από το ρελαντί μέχρι το κόκκινο!». Όπως αποδείχθηκε στη συνέχεια, δεν χρειάστηκε να «ξανασχεδιάσουν» κινητήρα. Αρκούσε μια τροποποίηση του ήδη υπάρχοντος για να έχουν λαμπρά αποτελέσματα. Ο στόχος της Mazda, να καταφέρει να χρησιμοποιήσει πτωχά μίγματα στο ρελαντί, έχει επιτευχθεί στο Renesis του RX-8. Και είναι μάλιστα τα μίγματα τόσο πτωχά, ώστε να καταφέρουν να μειώσουν κατά 40 % την κατανάλωση βενζίνης του RX-8 στο ρελαντί, σε σύγκριση με αυτή του RX-7. Η απάντηση που έδωσαν σε όλα αυτά, οι ερευνητές της Mazda, ήταν απλή. Μεταφορά της θυρίδας εξαγωγής στο πλάι του κινητήρα. Με τον τρόπο αυτό, οι τεχνικοί της Mazda κατάφεραν, όχι μόνο να επιτύχουν χρονισμό θυρίδας εξαγωγής τέτοιο που να αποκλείει την οποιαδήποτε χρονική «σύμπτωση» του ανοίγματός της με αυτό της εισαγωγής (Zero Overlap), αλλά πήγαν και ένα βήμα παραπέρα. Τώρα πια, είχαν τη δυνατότητα να αυξήσουν όσο ήθελαν την επιφάνεια της θυρίδας, μειώνοντας έτσι, δραστικά, τις ροϊκές αντιστάσεις του συστήματος εξαγωγής. Και καθώς είχαν «ξεφύγει» από το περιοριστικά πλαίσια της περιφέρειας του ρότορα, μπόρεσαν να διπλασιάσουν τις θυρίδες εξαγωγής, τοποθετώντας

από μία σε κάθε πλευρικό κέλυφος του ρότορα. Με τον τρόπο αυτό, κατάφεραν να ελέγξουν το ποσοστό εσωτερικής ανακύκλωσης καυσαερίων στο επίπεδο που αυτοί είχαν ορίσει. Με άλλα λόγια, κατάφεραν να διασφαλίσουν, κατ' αρχήν, ότι δεν θα αντιμετώπιζαν προβλήματα δυσλειτουργίας όταν θα τροφοδοτούσαν τον κινητήρα με πτωχά μίγματα όχι μόνο στο ρελαντί αλλά και σε όλη την κλίμακα στροφών και φορτίων. Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να επισημανθεί ότι οι παλινδρομικοί κινητήρες υψηλής απόδοσης, παρά τη θεωρητική δυνατότητά τους να λειτουργήσουν με πτωχά μίγματα στις χαμηλές στροφές, εντούτοις απαιτούν οπωσδήποτε έναν ουσιαστικό εμπλουτισμό του μίγματός τους όταν λειτουργούν κάτω από συνθήκες υψηλού φορτίου. Και αυτό, για προφανείς λόγους αυτοπροστασίας τους από τα «πυράκια». Τέτοια πρόβλημα, οι wankel δεν αντιμετωπίζουν, ακόμα κι αν λειτουργούν με υπερτροφοδότη. Δεν αρκεί όμως να έχεις «ελεγχόμενα καυσαέρια» στο χώρο καύσης ενός wankel για να καταφέρεις να τον κάνεις να λειτουργήσει με πτωχά μίγματα. Πρέπει να επιτύχεις και την όσο γίνεται ισχυρότερη «ομογενοποίησή» τους ώστε να διασφαλίσεις την ομαλή μετατόπιση του μετώπου της φλόγας μετά την έναυση. Για το λόγο αυτό, η Mazda δεν χρησιμοποίησε ούτε ένα ούτε δύο μπεκ για τον ψεκασμό της βενζίνης, αλλά τρία για κάθε ρότορα. Το τρίτο, μάλιστα βρίσκεται στο ακρότατο σημείο του αυλού εισαγωγής, ψεκάζοντας τη βενζίνη απευθείας μέσα στο θάλαμο. Το ερώτημα, τώρα είναι πώς μπορεί να προλάβει να ομογενοποιηθεί αυτό το μίγμα, δεδομένης της μικρής διαδρομής του από το ακροφύσιο μέχρι την επιφάνεια του ρότορα. Την απάντηση δίνει ένα μικροσκοπικό ακροφύσιο αέρα το οποίο «παρεμβαίνει» στη δέσμη ψεκασμού του τρίτου μπεκ και τη «σκεδάζει» προς την επιθυμητή κατεύθυνση, μετά την είσοδό της στο θάλαμο. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται πλήρης λεπτοδιαμερισμός του νέφους της βενζίνης αλλά, ταυτόχρονα, και ένας στρατηγικός «εντοπισμός» αυτού του νέφους, σε μία προκαθορισμένη περιοχή

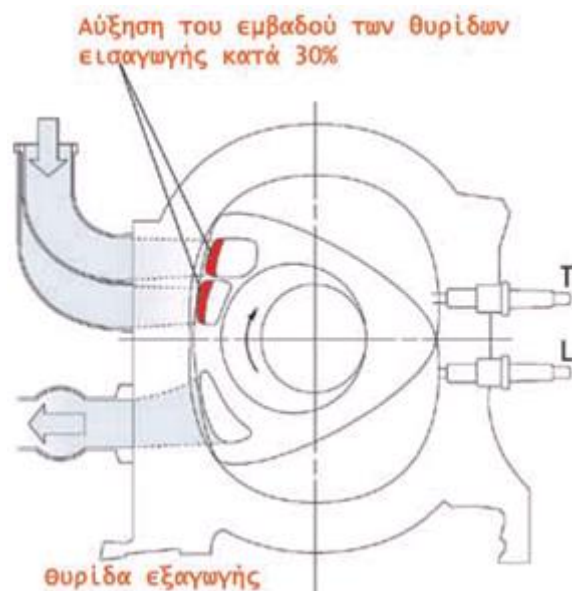
του θαλάμου καύσης. Τα αποτελέσματα είναι παρόμοια με αυτά της «στρωματοποιημένης» καύσης καθώς, αυτό το τοπικά εμπλουτισμένο νέφος είναι που θα διασφαλίσει την αρχική εμφάνιση μετώπου φλόγας μετά την έναυση, ανεξαρτήτως του πόσο πτωχό είναι το υπόλοιπο μίγμα. Την παροχή πεπιεσμένου αέρα στο συγκεκριμένο ακροφύσιο έχει αναλάβει ένα ηλεκτρικό μινι-κομπρεσέρ του οποίου ένας δεύτερος ρόλος είναι να τροφοδοτεί, κατά την εκκίνηση του κινητήρα, ένα αντίστοιχο ακροφύσιο αέρα, τοποθετημένο στη αρχή του αυλού εξαγωγής, αμέσως μετά την αντίστοιχη θυρίδα. Ο ρόλος αυτού του δευτέρου ακροφυσίου, σε συνδιασμό με ένα «εξωτερικό» μπεκ βενζίνης, είναι να παριστάνει το φλόγιστρο για την προθέρμανση του καταλύτη.

6 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6.1 Ο κινητήρας RENESIS της Mazda^[14]

Θα μπορούσαμε να πούμε ότι ο κινητήρας Renesis, που χρησιμοποιείται στο RX-8, αποτελεί μια πραγματική επανάσταση στο χώρο των κινητήρων wankel, καθώς οι τεχνολογικές λύσεις που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή του λύνουν τα παραδοσιακά προβλήματα των wankel (αυξημένη κατανάλωση και αυξημένη φθορά ελατηρίων). Έτσι, αυξάνεται εντυπωσιακά η απόδοσή του. Είναι χαρακτηριστικό, ότι ο σημερινός κινητήρας αποδίδει χωρίς τούρμπο την ίδια ισχύ με τον υπερτροφοδοτούμενο wankel του RX-7 και μάλιστα με σημαντικά μικρότερη κατανάλωση. Οι βραβεύσεις του νέου κινητήρα Renesis, άλλωστε, με τους τίτλους του "διεθνούς κινητήρα της χρονιάς 2003" και "κινητήρα της χρονιάς 2004 (2.5 – 3 L)", αποδεικνύουν ότι η τεχνολογία του προκάλεσε μεγάλη αίσθηση στους ειδικούς.

Μεγάλο ρόλο στη βελτίωση αυτή έπαιξε η μεταφορά των θυρίδων εξαγωγής, από τα «κάθεται» τοιχώματα του περιβλήματος (μέσα στο οποίο κινείται ο ρότορας) στα «πλευρικά». Αυτό αποκλείει την «επικοινωνία» (με ταυτόχρονο «άνοιγμα») μεταξύ των θυρίδων εισαγωγής κι εξαγωγής και τη μεταφορά άκαυστου μίγματος κατευθείαν στην εξαγωγή, όπως επίσης και το αντίστροφο (που συνέβαινε σε χαμηλούς ρυθμούς περιστροφής), δηλαδή την ανάμιξη μεγάλων ποσοτήτων καυσαερίων με το φρέσκο μίγμα σε επίπεδα πέρα



Σχήμα 17: Αύξηση του εμβαδού των θυρίδων σε κινητήρα wankel⁴³

από τα επιθυμητά. Να σημειώσουμε εδώ, ότι η ανάμιξη αυτή είναι σε ορισμένες περιπτώσεις επιθυμητή - ως ένα βαθμό - για τη μείωση των παραγόμενων ρύπων.

Η μεταφορά αυτή (των θυρίδων εξαγωγής) έδωσε τη δυνατότητα στους μηχανικούς της Mazda ν' αυξήσουν τη συνολική τους επιφάνεια, τοποθετώντας δύο αντί για μία (από μία σε κάθε πλευρά του περιβλήματος) και μειώνοντας έτσι σημαντικά τις ροϊκές αντιστάσεις της εξαγωγής. Τόσο η ανακύκλωση μέρους των καυσαερίων, όσο και η συνολική λειτουργία του κινητήρα ελέγχονται τώρα πολύ καλύτερα.

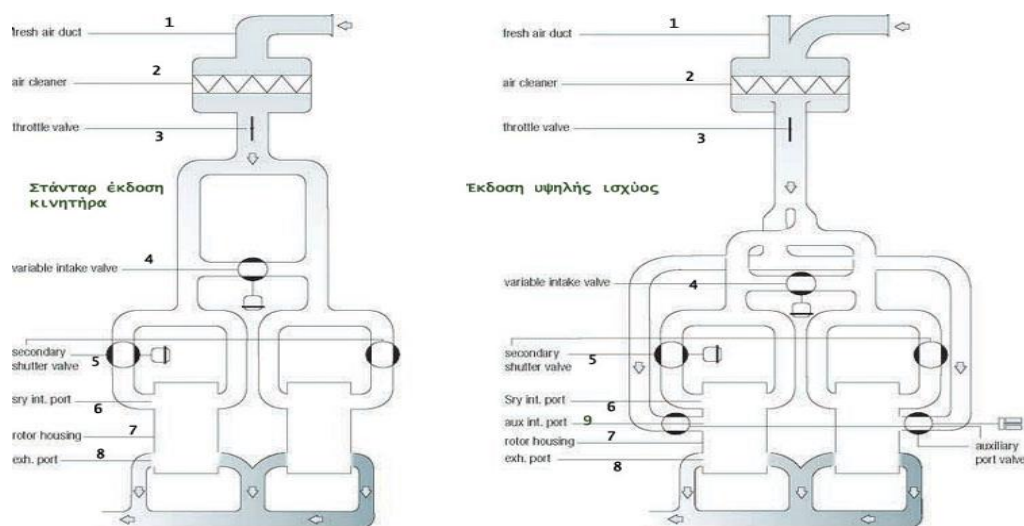
Στην έκδοση υψηλής ισχύος του κινητήρα (με τους 240 ίππους) υπάρχουν τρεις θυρίδες εισαγωγής, με διαφορετικό χρονισμό ανοίγματος, ώστε να εξασφαλίζεται η αποτελεσματικότερη πλήρωση του θαλάμου καύσης (βελτίωση κατά 30% σε σχέση με τον κινητήρα της προηγούμενης γενιάς).

Επίσης, για τη βελτίωση της ομογενοποίησης του καυσίμου μίγματος και τον καλύτερο έλεγχο της καύσης χρησιμοποιούνται συνολικά τρία ακροφύσια (μπεκ) ψεκασμού για καθένα από τους δύο ρότορες του κινητήρα, το ένα από τα οποία ψεκάζει καύσιμο κατευθείαν μέσα στο θάλαμο καύσης. Ένα μικρό ακροφύσιο αέρα επηρεάζει τη δέσμη καυσίμου που ψεκάζει το τρίτο ακροφύσιο καυσίμου, στρέφοντάς την προς την επιθυμητή κατεύθυνση, ώστε να βελτιωθεί η ανάμιξη με τον αέρα και να βρεθεί το μίγμα στην «κατάλληλη» περιοχή του θαλάμου καύσης.

Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο του νέου περιστροφικού κινητήρα της Mazda είναι το σύστημα μεταβλητής εισαγωγής, που εξασφαλίζει την απόδοση υψηλής ροπής σε όλη την κλίμακα των στροφών παράλληλα με την αύξηση της μέγιστης ισχύος στις υψηλές στροφές. Ένα προσεκτικά μελετημένο «δίκτυο» αυλών εισαγωγής στην έκδοση υψηλής ισχύος, με

μια σειρά βαλβίδων που ελέγχουν τη ροή του αέρα, εξασφαλίζει την παροχή καυσίμου μίγματος μόνο σε όσες θυρίδες εισαγωγής είναι απαραίτητο, ανά πάσα στιγμή, ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας.

Η κύρια θυρίδα εισαγωγής είναι ανοικτή συνεχώς, ενώ όσο ανεβαίνουν οι στροφές ανοίγουν διαδοχικά οι βαλβίδες που «απελευθερώνουν» τη ροή του αέρα προς τις υπόλοιπες θυρίδες εισαγωγής. Επί πλέον μια ειδική κεντρική βαλβίδα ανοίγει στις 7250 στροφές περίπου και μειώνει το μήκος της ροής μέχρι την πολλαπλή εισαγωγή, δημιουργώντας ένα είδος υπερτροφοδοσίας με συντονισμό ανάμεσα στις εισαγωγές των δύο ροτόρων και αυξάνοντας έτσι τη ροπή και την ισχύ του κινητήρα στις υψηλές στροφές.



Στάνταρ έκδοση κινητήρα

1. Εισαγωγή φρέσκου αέρα
2. Φίλτρο αέρα
3. "Πεταλούδα" γκαζιού
4. Βαλβίδα μεταβλητής εισαγωγής
5. Βαλβίδα δευτερεύουσας θυρίδας εισαγωγής
6. Δευτερεύουσα θυρίδα εισαγωγής
7. Περίβλημα ρότορα
8. Θυρίδα εξαγωγή

Έκδοση υψηλής ισχύος

1. Εισαγωγή φρέσκου αέρα (VFAD)
2. Φίλτρο αέρα
3. "Πεταλούδα" γκαζιού
4. Βαλβίδα μεταβλητής εισαγωγής (VDI)
5. Βαλβίδα δευτερεύουσας θυρίδας εισαγωγής (SSV)
6. Δευτερεύουσα θυρίδα εισαγωγής
7. Περίβλημα ρότορα
8. Θυρίδα εξαγωγής
9. Βοηθητική θυρίδα εισαγωγής

Σχήμα 18: Εκδόσεις του κινητήρα RENESIS⁴⁴

6.2 Κρύα εκκίνηση κινητήρα RENESIS^[13]

Η κρύα εκκίνηση αποτελεί το βασικό στοιχείο για όλες τις φθορές που μπορούν να προκληθούν σε ένα κινητήρα. Γενικά, η δημιουργία αρκετών φθορών σε διάφορα εξαρτήματα του κινητήρα, οφείλονται στο ότι ο κινητήρας δεν έχει την κατάλληλη θερμοκρασία λειτουργίας.

Στη συνέχεια θα αναφέρουμε μερικές βασικές λειτουργίες που γίνονται κατά την κρύα εκκίνηση σε ένα κινητήρα Renesis.

Ειδικά για την περίπτωση κρύας εκκίνησης ο Renesis χρησιμοποιεί μια δευτερεύουσα ηλεκτρική αντλία που λειτουργεί για 60 δευτερόλεπτα και αυξάνει την παροχή αέρα στην εισαγωγή. Έτσι, ο καταλύτης έρχεται γρηγορότερα σε θερμοκρασία λειτουργίας, ενώ διευκολύνεται η οξείδωση του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) σε διοξείδιο (CO₂), αλλά και η καύση των άκαυστων υδρογονανθράκων. Κατά την κρύα εκκίνηση το “αβάνς” της ανάφλεξης και το σύστημα ψεκασμού ρυθμίζονται ανάλογα από τον εγκέφαλο του κινητήρα.

6.3 Σύστημα ψεκασμού σε κινητήρα RENESIS^[13]

Ο Renesis High Power έχει 6 μπεκ ψεκασμού καυσίμου, τρία για κάθε ρότορα. Τα μπεκ ονομάζονται Primary, Secondary, και Primary 2. Τα Primary είναι τα κυρίως μπεκ του κινητήρα και λειτουργούν υπό όλες τις συνθήκες. Στην περίπτωση όπου οι στροφές του κινητήρα ξεπερνούν τις 3750 rpm και το φορτίο του είναι αυξημένο, ενεργοποιούνται και τα Secondary, τα οποία προσφέρουν επιπλέον βενζίνη. Αν ο κινητήρας βρεθεί σε συνθήκες μέγιστου φορτίου, ενεργοποιούνται και τα Primary 2 μπεκ για να προσφέρουν τη μέγιστη παροχή καυσίμου. Ο Renesis Standard Power διαθέτει μόνο τα Primary και Secondary μπεκ.

6.4 Σύγκριση κινητήρων RENESIS και 13B-REW^[13]

- Σε σύγκριση με τον 13B-REW ο RENESIS είναι ατμοσφαιρικός, με σχέση συμπίεσης 10:1 αντί 8,5:1, και ελαφρύτερος σχεδόν κατά 36 Kg.
- Οι ρότορές του είναι κατά 14% ελαφρύτεροι και ο κεντρικός άξονας έχει ενισχυθεί.
- Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δυο κινητήρων είναι παρόμοια, με εξαίρεση τη θέση των θυρίδων εξαγωγής. Στον RENESIS οι θυρίδες εξαγωγής έχουν μεταφερθεί στις πλευρικές επιφάνειες του στάτορα, ενώ στον 13B-REW βρίσκονταν στην περιφέρεια του κελύφους. Με αυτό τον τρόπο κάθε ρότορας έχει πλέον δύο θυρίδες εξαγωγής.
- Η νέα διάταξη των θυρίδων έχει πολλά πλεονεκτήματα:
- Εκμηδενίστηκε η επικάλυψη (overlap) μεταξύ εισαγωγής και εξαγωγής, το οποίο άφηνε άκαυστο μίγμα να διαφύγει προς την εξαγωγή και επιβάρυνε με καυσαέρια το καύσιμο μίγμα. Έτσι μειώθηκαν οι εκπομπές ρύπων και η κατανάλωση σε σχέση με τα προηγούμενα περιστροφικά μοτέρ της Mazda.
- Επέτρεψε στους σχεδιαστές να αυξήσουν το συνολικό μέγεθος των θυρίδων τόσο στην εισαγωγή (κατά 30%) όσο και στην εξαγωγή (σχεδόν κατά 100%, αφού πλέον χρησιμοποιούνται δυο θυρίδες εξαγωγής ανά ρότορα). Οι θυρίδες εισαγωγής έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε ν' ανοίγουν νωρίτερα, ενώ με τη χρήση εγκοπών στο ρότορα καθυστερεί το κλείσιμο των θυρίδων εξαγωγής κατά 15° περίπου προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερος θερμοδυναμικός βαθμός απόδοσης. Επιπλέον, με τις πλευρικά τοποθετημένες θυρίδες εξαγωγής τα “μαχαίρια” είναι συνεχώς σε επαφή με το τοίχωμα του








κελύφους, εξασφαλίζοντας καλύτερη λίπανση και μειωμένη κατανάλωση λαδιού.

- Το σύστημα λίπανσης του RENESIS έχει αναβαθμιστεί προκειμένου να ανταποκριθεί στις νέες απαιτήσεις, με αποτέλεσμα, εκτός των άλλων, η κατανάλωση λαδιού να έχει μειωθεί κατά 50%. Τώρα, χρησιμοποιούνται δύο μπεκ ανά ρότορα για τον ψεκασμό λαδιού πάνω στα “μαχαίρια”, και έχουν καταργηθεί τα μπεκ ψεκασμού λαδιού στους αυλούς εισαγωγής, που είχε ο κινητήρας 13B-REW. Η παροχή λαδιού της αντλίας ρυθμίζεται μέσω ενός βηματικού κινητήρα ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας του μοτέρ. Κάθε 12^η φορά που ο κινητήρας παίρνει μπροστά, ο βηματικός κινητήρας διενεργεί αυτοέλεγχο μεταβάλλοντας την παροχή της αντλίας από το ελάχιστο στο μέγιστο. Σε περίπτωση βλάβης η αντλία μένει στο ελάχιστο της παροχής της και οι στροφές του κινητήρα δεν μπορούν να ξεπεράσουν τις 3000 στροφές.

7 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7






7.1 Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα κινητήρα wankel


ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

-  Πολύ μικρότερο μέγεθος, που συνεπάγεται μικρότερο χώρο κάτω από το καπό και καλύτερη τοποθέτηση του κινητήρα, με αποτέλεσμα την καλύτερη κατανομή βάρους.
-  Πολύ λιγότερες τριβές, μειωμένες απώλειες ισχύος, μικρότερο βάρος και κυρίως μικρότερη αδράνεια των κινούμενων μερών του κινητήρα, η οποία του εξασφαλίζει κορυφαία ευστροφία.
-  Εξάλειψη των κραδασμών, ώστε να μην απαιτούνται αντικραδασμικοί άξονες.
-  Η απουσία βαλβίδων οδηγεί σε καλύτερη αναπνοή, άρα και σε καλύτερη απόδοση στις μεσαίες και υψηλές στροφές.
-  Ομαλή λειτουργία γιατί όλα τα κινούμενα μέρη στον περιστροφικό κινητήρα κινούνται συνεχώς προς μία και μοναδική διεύθυνση και δεν αλλάζουν απότομα διεύθυνση κίνησης.
-  Οι περιστροφικοί κινητήρες, κάνοντας χρήση αντίβαρων επιτυγχάνουν απόλυτη αντιστάθμιση των έκκεντρων κινούμενων μαζών, μηδενίζοντας όλων των ειδών τους κραδασμούς. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, την ομαλότατη και αθόρυβη λειτουργία των κινητήρων χωρίς ίχνος παλινδρομήσεων και κραδασμών.
-  Ο ρότορας είναι φτιαγμένος από σίδηρο (Fe) ενώ ο στάτορας είναι από αργίλιο (Al). Έχει εξεταστεί, επίσης, ότι ανεξάρτητα από το πόσο

ζεστή είναι η μηχανή, ο ρότορας δεν πρόκειται να φρακάρει ποτέ στον στάτορα.

ΜΕΙΟΝΤΕΚΤΗΜΑΤΑ

-  Ο μακρύς και στενός θάλαμος καύσης μειώνει το θερμοδυναμικό βαθμό απόδοσης του κινητήρα, με συνέπεια την αύξηση της κατανάλωσης.
-  Η απουσία βαλβίδων σημαίνει μικρή ταχύτητα του αέρα στις χαμηλές στροφές, με αποτέλεσμα την χαμηλή ροπή.
-  Η κατανάλωση δεν αντιστοιχεί στην ονομαστική χωρητικότητα του κινητήρα (1,3 L) αλλά περισσότερο σε κατανάλωση παλινδρομικού κινητήρα (2,5 L).
-  Λόγω της αρχής λειτουργίας του wankel, απαιτείται ψεκασμός λαδιού στο εσωτερικό των θαλάμων για λίπανση των ροτόρων και των ελασμάτων κορυφής (apex seals). Αυτό φυσικά οδηγεί σε κατανάλωση λαδιού, επομένως απαιτείται η παρακολούθηση της στάθμης του λιπαντικού από τον οδηγό.
-  Ρυπογόνος λειτουργία λόγω της ταχύτατης περιστροφής του ρότορα και απουσίας βαλβίδων στις θυρίδες, δεν επιτυγχάνεται τέλεια διαχείριση του μίγματος. Έτσι δεν πραγματοποιείται τέλεια καύση, με αποτέλεσμα τη δημιουργία αρκετών ρυπογόνων ουσιών. Ωστόσο στα τελευταία εξελιγμένα μοντέλα του περιστροφικού κινητήρα, τα περισσότερα προβλήματα έχουν αντιμετωπιστεί με τη βοήθεια καταλυτών.

 Μεγάλο κόστος κατασκευής. Παρά το γεγονός ότι ο αριθμός των κινουμένων μερών του κινητήρα είναι μικρός, το κόστος κατασκευής παραμένει υψηλό, λόγω των ελάχιστων κινητήρων του τύπου που κατασκευάζονται συνολικά, σε σχέση με τους κλασσικούς παλινδρομικούς εμβολοφόρους κινητήρες.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Γενικά, ο περιστροφικός κινητήρας είναι πιο αποδοτικός απ' τον παλινδρομικό και στην τελευταία του μορφή Renesis έχει αποκτήσει αυτό που έλειπε από τα παλαιότερα μοντέλα της Mazda. Όμως, η υψηλή κατανάλωση καυσίμου του κινητήρα wankel έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγής ρυπογόνων ουσιών που είναι καταστροφικοί για το περιβάλλον. Τελικά καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι ο περιστροφικός κινητήρας λόγω της ιδιαίτερα υψηλής κατανάλωσης καυσίμου που παρουσιάζει είναι πολύ δύσκολο να γίνει καλύτερος κινητήρας από τον παλινδρομικό.

Το μέλλον του περιστροφικού κινητήρα και η περαιτέρω εξέλιξή του είναι στα χέρια της Mazda κι αυτό γιατί καμία άλλη εταιρεία παραγωγής αυτοκινήτων, προς το παρόν τουλάχιστον, δεν έχει στα σχέδιά της κάποιο μοντέλο με αυτού του είδους κινητήρα.

Πηγές – Βιβλιογραφία

1. Wikipedia (n.d.). Κινητήρας Βάνκελ. Ανακτήθηκε από:
https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%B9%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B1%CF%82_%CE%92%CE%A%CE%BD%CE%BA%CE%B5%CE%BB
2. Μπούρας, Ι. (2009). *Περιστροφικοί Κινητήρες Wankel*. Πτυχιακή εργασία, Σ.Τ.Ε.Φ., Τμήμα μηχανολογίας.
3. http://www.mazda.gr/rotary_history/re_graffiti/cosmo_sport.htm
4. <http://only-carz.com/nsu-wankel/mods/39806/default.htm>
5. Παπαδόπουλος, Σ. (2014). *Σχεδιασμός και λειτουργία του κινητήρα wankel*. Πτυχιακή εργασία, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Μηχανολογίας, Τ.Ε.Ι. Λάρισας.
6. Κουτσούκης, Β. & Μπαντέλης, Χ. (2010). *Κινητήρας wankel χθες και σήμερα*. Πτυχιακή εργασία, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Μηχανολογίας, Τομέας Ενέργειας και Περιβάλλοντος, Τ.Ε.Ι. Καβάλας.
7. Yamamoto, K. (1981). *Rotary Engine*. Tokyo: Toyo Kogyo Co., Ltd. Ανακτήθηκε από:
<http://foxed.ca/rx7manual/manuals/REbyKenichiYamamoto-1981.pdf>
8. Wikipedia (n.d.). Wankel engine. Ανακτήθηκε από:
https://en.wikipedia.org/wiki/Wankel_engine
9. Wu, W., Lin, Y. & Chow, L. (2014). A Heat Pipe Assisted Air-Cooled Rotary Engine for Improved Durability, Power and Efficiency. SAE Technical Paper 2014-01-2160.
10. <http://docplayer.gr/6467334-Leitoyrgia-kinitiron-esoterikis->

kaysis.html

11. Αγερίδης, Γ., Καραμπίλας, Π. & Ρώσσης, Κ. (2001). Μηχανές Εσωτερικής Καύσης Ι (Τεύχος Α'). Αθήνα: ΟΕΔΒ.
12. Weston, K., C. (1992). Energy conversion. The wankel rotary engine (Chapter 7). Australia: PWS Publishers. Ανακτήθηκε από:
<http://www.personal.utulsa.edu/~kenneth-weston/chapter7.pdf>
13. Γιαννόπουλος, Δ. (2016). Προσωπική συνέντευξη
14. ΜΟΤΟΤΕΧ S.A. (2003). Τεχνική ανάλυση Mazda RX-8: Η επιτομή του wankel. *R&D*, 2. Ανακτήθηκε από:
http://www.mazda.gr/firstnews/rd_032003_renesis.htm

Πηγές εικόνων – σχημάτων

1. <http://www.britannica.com/biography/Felix-Wankel>
2. <https://www.youtube.com/watch?v=GAogVLJVT04>
3. http://www.carstyling.ru/resources/classic/1967_77_NSU_Ro_80_01.jpg
4. http://only-carz.com/data_images/models/mercedes-benz-c111/mercedes-benz-c111-03.jpg
5. <http://www.motor3punto0.com/wp-content/uploads/2013/11/GS-Birotor-13.jpg>
6. http://pictures.topspeed.com/IMG/crop/200705/1967-mazda-cosmo-sport-1_600x0w.jpg
7. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mazda_Familia_Rotary_Coupe.jpg
8. http://s1.cdn.autoevolution.com/images/gallery/MAZDARX-2-3446_1.jpg

9. <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1c/Mazda-rx3-1st-generation01.jpg>
10. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9b/Mazda-LUCE-rotary_-coupe01.JPG
11. <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/03/Mazda-LUCE-2nd-generation01.JPG>
12. <https://gr8autotech.files.wordpress.com/2013/06/parkway-rotary-26.jpg>
13. http://carmalaysia.fishtank.my/getmedia/c5f80ff2-b305-443e-8e53-8382d1f3ad4e/800px-MAZDA_COSMO_AP-800x450.jpg.as
14. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/16/MHV_Mazda_Roadpacer_AP_1979_01.jpg/1024px-MHV_Mazda_Roadpacer_AP_1979_01.jpg
15. http://farm7.static.flickr.com/6166/6174638985_cf8f902066.jpg
16. <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/50/Mazda-rx7-1st-generation01.jpg>
17. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/df/Mazda_HB_Cosmo_001.JPG
18. http://2000gt.net/Mazda/Luce_1981.jpg
19. http://www.lastochka.by/components/cars/images/cars/mazda_luci_v_group-sedan_002.jpg
20. <http://www.automobile-catalog.com/photo/1990/1653680/97748.html>
21. <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/50/Mazda-rx7-1st-generation01.jpg>
22. <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a6/Mazda-rx7-3rd-generation01.jpg>
23. <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/0/0e/RX8-MS.jpg>
24. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ee/Mazda_RX-8_hydrogen_--_2011_DC.jpg

25. https://gr.pinterest.com/pin/526358275169417222/?from_navigate=true
26. <http://www.rx8antiforum.gr/t763-topic>
27. <http://www.coatingsplatingsjamaica.us/rotary-engine-coating.html>
28. Yamamoto, K. (1981). Rotary Engine. Tokyo: Toyo Kogyo Co., Ltd.
Ανακτήθηκε από:
<http://foxed.ca/rx7manual/manuals/REbyKenichiYamamoto-1981.pdf>
29. [http://users.otenet.gr/~makarisi/images/rotary-engine-animation\[1\].swf](http://users.otenet.gr/~makarisi/images/rotary-engine-animation[1].swf)
30. <http://docplayer.gr/6467334-Leitoyrgia-kinitiron-esoterikis-kaysis.html>
31. http://cp_www.tripod.com/rotary/pg29.htm
32. Weston, K., C. (1992). Energy conversion. The wankel rotary engine (Chapter 7). Australia: PWS Publishers. Ανακτήθηκε από:
<http://www.personal.utulsa.edu/~kenneth-weston/chapter7.pdf>
33. <http://www.caroto.gr/2009/03/18/%CF%80%CE%B5%CE%B9%CF%81%CE%AC%CE%BA%CE%B9%CE%B1/>
34. http://www.mazdarotary.net/images/tech_pics/12aturno.jpg
35. http://www.mazdarotary.net/images/tech_pics/13bturbo.jpg
36. http://www.banzai-racing.com/20B/Engine/rebuild/20B_rebuild_top.jpg
37. http://www.spannerhead.com/wp-content/uploads/2012/10/Mazda_R26B_1.jpg
38. http://www.mazda-auto.hu/userfiles/mazda_l8a_wankel_auto_expansion.jpg
39. http://cp_www.tripod.com/rotary/images/pg16_14b.jpg

40. http://cp_www.tripod.com/rotary/images/pg16_04b.jpg
41. <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/564x/ae/97/27/ae9727f6948f5afac6d059c78c1a84f9.jpg>
42. Κουτσούκης, Β. & Μπαντέλης, Χ. (2010). *Κινητήρας wankel χθες και σήμερα*. Πτυχιακή εργασία, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Μηχανολογίας, Τομέας Ενέργειας και Περιβάλλοντος, Τ.Ε.Ι. Καβάλας. Ανακτήθηκε από:
<http://digilib.teiemt.gr/jspui/bitstream/123456789/6902/1/STEF1912010.pdf>
43. http://www.mazda.gr/firstnews/rd_032003_renesis.htm
44. <http://www.caroto.gr/2009/02/11/%CE%B2%CE%AC%CE%BD%CE%BA%CE%B5%CE%BB-wankel/>