

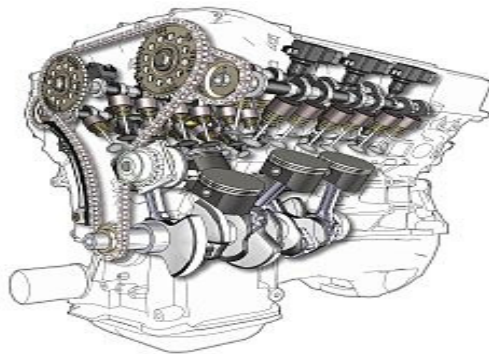
ΑΕΝ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΣΥΓΓΡΑΦΗ  
ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟΥ  
ΕΡΩΤΟΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ  
ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ  
ΕΠΙΛΟΓΗΣ  
ΣΤΑ ΠΡΟΩΘΗΤΙΚΑ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ Μ.Ε.Κ ,  
JET, ΕΛΙΚΑ

---

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΧΗΝΑΡΗΣ

15/2/2017



# ΠΕΡΙΛΗΨΗ

---

Η παρούσα εργασία έχει σκοπό την μελέτη των κινητήρων εσωτερικής καύσης, των κινητήρων αεριοστρόβιλων και των έλικων καθώς και την εξέλιξη τους στο πέρασμα των χρόνων μέχρι και σήμερα. Επίσης στόχος της εργασίας είναι η δημιουργία ενός εγχειριδίου ερωτωαπαντήσεων που θα μπορέσουν να βοηθήσουν τον αναγνώστη να κατανοήσει και να εξασκηθεί πάνω στα συγκεκριμένα ζητούμενα που έχουν να κάνουν με τον τρόπο πρόωσης ενός πλοίου.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις μηχανές εσωτερικής καύσης και στον τρόπο λειτουργίας τους αλλά και στις βελτιώσεις που έχουν υποστεί με το πέρασμα των χρόνων με τη βοήθεια ιστορικής ανασκόπησης. Στο τέλος του κεφαλαίου παρατίθενται ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής και οι σωστές απαντήσεις για να μπορέσει να ελέγξει ο αναγνώστης αν κατάλαβε σε τι αναφερόταν το κεφάλαιο που μελέτησε.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις μηχανές αεριοστοβιλισμού και στον τρόπο λειτουργίας τους αλλά και στις βελτιώσεις που έχουν υποστεί με το πέρασμα των χρόνων με τη βοήθεια ιστορικής ανασκόπησης. Στο τέλος του κεφαλαίου παρατίθενται ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής και οι σωστές απαντήσεις για να μπορέσει να ελέγξει ο αναγνώστης αν κατάλαβε σε τι αναφερόταν το κεφάλαιο που μελέτησε.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις έλικες και στον λόγο ύπαρξής τους στο πλοίο αλλά και στις βελτιώσεις που έχουν υποστεί με το πέρασμα των χρόνων. Στο τέλος του κεφαλαίου παρατίθενται ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής και οι σωστές απαντήσεις για να μπορέσει να ελέγξει ο αναγνώστης αν κατάλαβε σε τι αναφερόταν το κεφάλαιο που μελέτησε.

# ABSTRACT

---

The present study aims to study the internal combustion engine, gas turbine engines and propellers as well as their evolution over the years until today. Also work objective is to create a multiple choice questions handbook can help the reader to understand and to practice on the specific requested having to do with how a ship propulsion.

The first chapter is a reference to internal combustion engines and the way they work and the improvements that have been over the years with the help of historical background. At the end of the chapter are given multiple choice questions and the right answers to be able to control the reader if he understood what was stated in the section studied.

The second chapter refers to jet engines and their modes of operation and the improvements that have been over the years with the help of historical background. At the end of the chapter are given multiple choice questions and the right answers to be able to control the reader if he understood what was stated in the section studied.

The third chapter refers to the propellers and the reason for their existence on board, and the improvements that have been over the years. At the end of the chapter are given multiple choice questions and the right answers to be able to control the reader if he understood what was stated in the section studied.

## Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	2
ABSTRACT .....	3
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ.....	7
1.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ .....	7
1.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ.....	8
1.3. ΜΕΡΗ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ .....	10
1.3.1. ΣΩΜΑ ΚΥΛΙΝΔΡΩΝ .....	11
1.4. ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΝΟΣ ΣΥΓΧΡΟΝΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ .....	11
Ερωτήσεις για ΜΕΚ.....	15
Απαντήσεις για ΜΕΚ.....	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ JET .....	20
Ερωτήσεις JET .....	27
Απαντήσεις JET.....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΕΛΙΚΑ .....	32
3.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΛΙΚΑ .....	32
Ερωτήσεις ΕΛΙΚΑ .....	38
Απαντήσεις ΕΛΙΚΑ.....	43
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	44

# ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

Η μυθική Αργώ της Αργοναυτικής Εκστρατείας ήταν ένα πενηντάκωπο (με 50 κουπιά) πλοίο, πράγμα που δείχνει την ανάγκη δύναμης για την κίνηση ενός πραγματικά μεγάλου σκάφους για τα ανθρώπινα δεδομένα. Το 700 π.Χ. έχουμε σίγουρα πλοία τα οποία μπορούν να διασχίσουν ασφαλώς τη Μεσόγειο. Έτσι καθίσταται δυνατή η επικοινωνία των Ελλήνων με άλλους λαούς και μέρη, τα οποία οδηγούν στις πρώτες αποικίες των Ελλήνων αλλά και στην επαφή των Ελλήνων με τους Φοίνικες που οδήγησε στην πρώτη μορφή του ελληνικού αλφάβητου.

Σε αυτήν την εποχή τοποθετείται επίσης και η δημιουργία των πρώτων πλοίων με σοβαρή ικανότητα να διεξάγουν ναυμαχίες. Καθώς οι πιο πολλές πόλεις ήταν χτισμένες κοντά στα παράλια, η ύπαρξη ισχυρού στόλου σήμαινε και ισχυρότερη άμυνα για την πόλη. Η τεχνολογία της αρχαίας ναυπηγικής φτάνει στο αποκορύφωμά της στον Ελληνικό χώρο γύρω στο 500 π.Χ. όταν οι Αθηναίοι και Κορίνθιοι βρίσκουν την χρυσή τομή μεταξύ μεγέθους, ευελιξίας, ταχύτητας και όγκου και δημιουργούν την πασίγνωστη τριήρη. Το σκάφος αυτό διαθέτει τρεις σειρές από κουπιά και τετράγωνο πανί για την κίνηση σε μεγάλες αποστάσεις, ενώ διαθέτει και εξοχή μεταλλικώς επενδυμένη (έμβολο) η οποία της επιτρέπει να εμβολίζει τα εχθρικά πλοία, προσφέροντας ένα πλοίο πολλαπλών ρόλων. Βεβαίως υπάρχουν και μεγαλύτερα πλοία, όμως η τριήρης με πολύ καλά μελετημένα χαρακτηριστικά δεν έβρισκε αντίπαλο σε αυτά.

Κατά τη ρωμαϊκή περίοδο κατασκευάζονται από τους Ρωμαίους πλοία (γαλέρες) τα οποία αγγίζουν τους 1000 μετρικούς τόνους εκτόπισμα και χρησιμοποιούνται και για πολεμικούς και για εμπορικούς σκοπούς. Χρησιμοποιούνταν ευρέως για την άμεση πρόσβαση σε οποιαδήποτε άκρη της ρωμαϊκής επικράτειας και την αντιμετώπιση της πειρατείας, ενώ χρησιμοποιήθηκαν και ως επιθετικά όπλα για πολιορκίες, πράγμα που δείχνει την προνοητικότητα των Ρωμαίων. Ο τύπος αυτός πλοίου θα περάσει και στην Βυζαντινή Αυτοκρατορία ως δρόμων, το βασικό πλοίο μάχης του βυζαντινού ναυτικού. Διέθετε κωπηλατικό πλήρωμα 50 κωπηλατών και μεταφορική ικανότητα έως και 200 ατόμων. Είχε την ικανότητα μεταφοράς καταπελτών, βαλλιστρών κλπ. Αργότερα, κατά τον 7ο-8ο αιώνα μ.Χ., οι βυζαντινοί επιστήμονες επινοούν το "υγρό πυρ" και οι βυζαντινοί ναυπηγοί το τοποθετούν ως

κύριο όπλο στους δρόμους (πολεμικό πλοίο) δημιουργώντας έτσι την πασίγνωστη και ιδιαίτερα τρομακτική για τους αντιπάλους κατηγορία των "πυρφόρων δρόμων". Για πολλούς και διάφορους λόγους, η εξέλιξη της ναυπηγικής τεχνολογίας στο Βυζάντιο έμεινε πίσω σχετικά με τις άλλες ναυτικές δυνάμεις, κι έτσι κατά την διάρκεια της Τουρκοκρατίας η μόνη παρουσία ελληνικής ναυσιπλοΐας περιορίζεται στα μικρά εμπορικά σκάφη.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ

---

## 1.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Πρόδρομος του βενζινοκινητήρα θεωρείται η ατμομηχανή, που πρωτοεμφανίστηκε τον 18<sup>ο</sup> αιώνα. Η ΜΕΚ, που ακολούθησε τον 19<sup>ο</sup> αιώνα ως βελτίωση για πολλές εφαρμογές, δε μπορεί να αποδοθεί μόνο σε έναν εφευρέτη. Ήδη από τον 17<sup>ο</sup> αιώνα αρκετοί πειραματιστές προσπάθησαν αρχικά να χρησιμοποιήσουν θερμά καυσαέρια για να κινήσουν αντλίες. Το 1820 στην Αγγλία ένας κινητήρας λειτουργούσε με βάση την έκρηξη μίγματος αέρα- υδρογόνου. Οι κινητήρες αυτοί ήταν βαρείς και χονδροειδείς στην κατασκευή αλλά περιείχαν πολλά βασικά στοιχεία των μετέπειτα, πιο επιτυχημένων συσκευών.

Το 1824, ο Γάλλος φυσικός Σαντί Καρνό δημοσίευσε το κλασικό πλέον σύγγραμμα Σκέψεις πάνω στην Ωστική δύναμη της θερμότητας στο οποίο περιέγραψε τις βασικές αρχές της θεωρίας εσωτερικής καύσης.

Στα επόμενα χρόνια εμφανίστηκαν βελτιωμένοι τύποι, καθώς και κινητήρες στους οποίους το καύσιμο συμπιεζόταν πριν αναφλεγεί. Κανένας τους όμως δεν αποδείχθηκε ικανοποιητικός μέχρι το 1860, οπότε ο Γάλλος Ετιέν Λενουάρ παρουσίασε έναν κινητήρα με φωταέριο και με σχετικά καλή απόδοση.

Μια σημαντικότερη εξέλιξη πραγματοποιήθηκε στο Παρίσι το 1862, όταν δημοσιεύτηκε η περιγραφή του ιδανικού κύκλου λειτουργίας μιας μηχανής εσωτερικής καύσης από τον Αλφόνς Μπω ντε Ροσά, ο οποίος ήταν και ο πρώτος που διατύπωσε τις συνθήκες για την άριστη απόδοση. Ο κινητήρας του Μπω ντε Ροσά προέβλεπε τετράχρονο κύκλο, σε αντίθεση με το δίχρονο κύκλο (είσοδος-ανάφλεξη και ισχύς-έξοδος) του Λενουάρ. Όμως στα επόμενα 14 χρόνια ο τετράχρονος κινητήρας έμεινε στα χαρτιά.

## 1.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ

Μηχανή εσωτερικής καύσης ή κινητήρας εσωτερικής καύσης ονομάζεται η κινητήρια θερμική μηχανή στην οποία η καύση του καυσίμου γίνεται στο εσωτερικό σώμα της ίδιας της μηχανής, εξ ου και η ονομασία της, σε αντίθεση με την ατμομηχανή, (όπου η καύση γίνεται εκτός, στο λέβητα). Οι μηχανές αυτές έχει καθιερωθεί ευρύτερα ν' αναφέρονται με τα κεφαλαιογράμματα αρκτικόλεξο ΜΕΚ. Ως ΜΕΚ θεωρούνται γενικά οι αεριομηχανές, οι βενζινομηχανές, οι πετρελαιομηχανές και οι αεροστρόβιλοι. Γενικά στις ΜΕΚ, "εργαζόμενο μέσο", ή "εργαζόμενη ουσία" είναι ο ατμοσφαιρικός αέρας, (ενώ στις ατμομηχανές είναι ο ατμός).

Σύμφωνα με ένα γενικό ορισμό, ο κινητήρας εσωτερικής καύσης είναι μια θερμική μηχανή, στην οποία καίγεται ένα καύσιμο παρουσία αέρα μέσα σε ένα θάλαμο (θάλαμος καύσης) και από την εξώθερμη αντίδραση του καυσίμου με τον οξειδωτή (θερμική καύση ελεύθερης φλόγας σε αέρια κατάσταση), που είναι το οξυγόνο του αέρα, δημιουργώντας θερμά αέρια. Στον κινητήρα εσωτερικής καύσης η εκτόνωση της πίεσης των αερίων που παράγονται ασκεί δύναμη στο κινητό μέρος του κινητήρα, όπως στα έμβολα ή στα πτερύγια.

Η μηχανή εσωτερικής καύσης (ή ΜΕΚ) διαφοροποιείται με την μηχανή εξωτερικής καύσης, όπως με ατμό ή κινητήρα Stirling, στις οποίες η ενέργεια μεταφέρεται από ένα υγρό το οποίο θερμαίνεται σε ένα λέβητα (ο οποίος βρίσκεται εκτός του κινητήρα) από ορυκτά καύσιμα ή καύση ξύλου, πυρηνική ενέργεια, ηλιακή κ.λ.π.

Ένας μεγάλος αριθμός διαφορετικών σχεδίων για τις ΜΕΚ έχουν αναπτυχθεί και κατασκευαστεί, με ποικιλία διαφορετικών πλεονεκτημάτων και αδυναμιών. Αν και υπήρξαν και εξακολουθούν να είναι πολλές οι στατικές εφαρμογές, μεγάλη χρήση των κινητήρων εσωτερικής καύσης είναι σε εφαρμογές και κυριαρχούν στα αυτοκίνητα, αεροσκάφη και πλοία, από το μικρότερο έως το μεγαλύτερο.

Βασική διάκριση των θερμικών μηχανών είναι η επί του τρόπου μετατροπής της θερμικής ενέργειας σε μηχανικό έργο, όπου εξ αυτού και διακρίνονται σε εμβολοφόρες ή παλινδρομικές και σε περιστροφικές ή στροβίλους. Ειδικότερα οι εμβολοφόρες παλινδρομικές ΜΕΚ ανάλογα με τον τρόπο που γίνεται η έναυση μέσα στον κύλινδρο,



δηλαδή είτε με σπινθήρα είτε με θέρμανση του καυσίμου (αυτανάφλεξη), διακρίνονται αντίστοιχα σε μηχανές Όττο, και σε μηχανές ντήζελ.

Ιδιαίτερη δε κατηγορία αποτελούν οι κινητήρες Βάνκελ (Wankel). Επιμέρους διάκριση των μηχανών Όττο, είναι οι βενζινομηχανές και οι αεριομηχανές. Οι δε περιστροφικές ΜΕΚ, ή στρόβιλοι είναι οι κοινώς λεγόμενες τουρμπίνες.

Ανεξάρτητα όμως των παραπάνω με ένα πλήθος άλλων παραμέτρων οι ΜΕΚ διακρίνονται σε μεγάλο αριθμό επιμέρους τύπων, π.χ.

- 1) Ανάλογα της διάταξης των εμβόλων σε: α) κατακόρυφες, (εν σειρά) β) οριζόντιες, (εν σειρά) γ) τύπου μπόξερ, δ) τύπου V, ε) τύπου W, στ) αντιθέτων εμβόλων, ζ) αστεροειδείς μονές, η) αστεροειδείς διπλές και θ) τετραγωνικής διάταξης.
- 2) Ανάλογα του αριθμού των εμβόλων, ή κυλίνδρων εντός των οποίων παλινδρομούν σε: δικύλινδρες, τετρακύλινδρες κ.λπ.
- 3) Ανάλογα του θερμικού κύκλου τους, (είναι η βασική διάκριση που αναφέρθηκε παραπάνω), σε: μηχανές Όττο, μηχανές Ντίζελ και μηχανές μικτού κύκλου. Παλαιότερα, μέχρι το 1960, οι δύο πρώτες καλούνταν αντίστοιχα μηχανές εκρήξεως και μηχανές καύσεως, που όμως δεν ανταποκρίνονταν πλήρως προς τη πραγματικότητα, παρά ταύτα συνεχίζεται ν' αναφέρονται ομοίως σε σχολικά βιβλία.
- 4) Ανάλογα των χρόνων λειτουργίας, σε: δίχρονες, τετράχρονες, συνεχούς λειτουργίας (αεριοστρόβιλοι).
- 5) Ανάλογα προς τη φορά περιστροφής, σε: α) δεξιόστροφες, β) αριστερόστροφες γ) αναστρέψιμες και δ) μη-αναστρέψιμες
- 6) Ανάλογα του τρόπου πλήρωσης με αέριο καύσιμο, σε: α) φυσικής εισπνοής και β) υπερπληρούμενες.
- 7) Ανάλογα της ισχύος τους σε: α) απλής ή διπλής ενέργειας και β) σε μικρής, μέσης και μεγάλης ισχύος.
- 8) Ανάλογα της ταχύτητας στροφών, σε: α) βραδύστροφες, β) μέσης ταχύτητας, γ) πολύστροφες και δ) υπερταχύστροφες.
- 9) Ανάλογα του είδους του καυσίμου, σε: α) μηχανές μαζούτ, β) diesel, ή ντίζελομηχανές γ) βενζίνης, ή βενζινομηχανές, δ)φυσικών αερίων και ε) μηχανές μικτού καυσίμου.

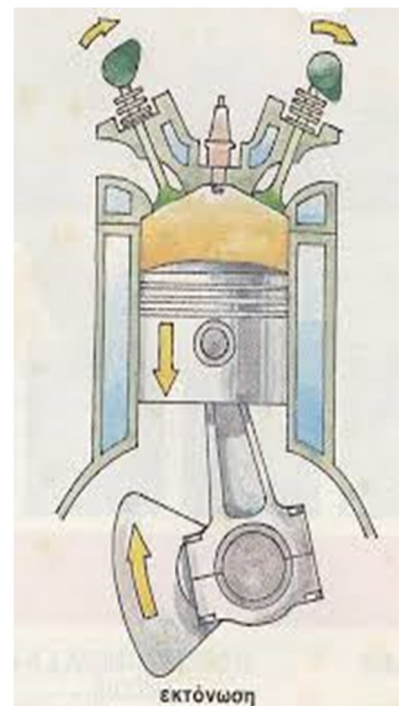
- 10) Ανάλογα των μέσων βελτίωσης της καύσης, σε: α) με ή χωρίς στροβιλισμό και β) σε μεγάλης ή μικρής περιόδου αέρος.
- 11) Ανάλογα του τρόπου ψύξης, σε: α) αερόψυκτες και β) υδρόψυκτες.
- 12) Ανάλογα του τρόπου έγχυσης του καυσίμου, σε: α) με εμφύσηση αέρα, β) μηχανικής έγχυσης και γ) εξαέρωσης.
- 13) Ανάλογα της εγκατάστασής τους, σε: α) μόνιμες και β) κινητές.
- 14) Ανάλογα του χαρακτήρα χρήσης, σε: α) κύριες και β) βοηθητικές.
- 15) Ανάλογα του χώρου χρήσης, σε: α) ξηράς, β) θαλάσσης και γ) αέρος.

### 1.3. ΜΕΡΗ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ

Οι κινητήρες εσωτερικής καύσης αποτελούνται από ένα σύνολο συστημάτων, μηχανισμών και εξαρτημάτων που είναι κατάλληλα διατεταγμένα και όλα μαζί συνεργάζονται ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα, δηλαδή η μετατροπή της θερμικής ενέργειας που παράγεται από την καύση του μίγματος καυσίμου-αέρα σε μηχανική ενέργεια. Δυο από τα συστήματα ενός κινητήρα εσωτερικής καύσης είναι το σύστημα παραγωγής και μετατροπής της κίνησης και το σύστημα διανομής καυσίμου.

Το πρώτο σύστημα ,δηλαδή ,το σύστημα παραγωγής και μετατροπής της κίνησης έχει σκοπό την παραγωγή μηχανικής ενέργειας και την μετατροπή της από την μορφή της ευθυγράμμου παλινδρομικής κίνησης σε περιστροφική. Αποτελείται από τα παρακάτω κύρια μέρη:

- Το σώμα των κυλίνδρων
- Τα έμβολα με τα ελατήρια και τους πείρους
- Τις μπιέλες
- Τον στροφαλοφόρο άξονα
- Τον σφόνδυλο
- 



### 1.3.1. ΣΩΜΑ ΚΥΛΙΝΔΡΩΝ

Το σώμα ή κορμός είναι το μεγαλύτερο κομμάτι του κινητήρα στο οποίο βρίσκονται οι κύλινδροι. Στο σώμα επίσης υπάρχουν οι θάλαμοι κυκλοφορίας του νερού ψύξης, οι αγωγοί κυκλοφορίας του λαδιού λίπανσης και βάσεις για την στήριξη διαφόρων άλλων εξαρτημάτων που είναι απαραίτητα για την λειτουργία του κινητήρα.

## 1.4. ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΝΟΣ ΣΥΓΧΡΟΝΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ

Ο αιώνας που πέρασε μπορεί να χαρακτηριστεί σαν η περίοδος των τεχνικών και τεχνολογικών εξελίξεων σε όλους τους τομείς. Από τις αρχές του αιώνα, είχαμε τη ραγδαία εξάπλωση και την πρόοδο των μηχανών εσωτερικής καύσης, οι οποίες αποτέλεσαν το μέλλον για την ανάπτυξη στις μεταφορές κάθε είδους. Η ανάγκη του ανθρώπου να μπορεί να μεταβεί από το ένα σημείο σε ένα για λόγους ανάγκης ή διασκέδασης, τον οδήγησε στην άμεση άσκηση των γνώσεων του και την αναπόφευκτη εξέλιξη των κινητήρων, στη μορφή που συναντάμε σήμερα. Η εξέλιξη των κινητήρων εσωτερικής καύσης είχε ξεκινήσει ήδη από τον 19<sup>ο</sup> αιώνα, και συγκεκριμένα από τον Nicolaus August Otto, ο οποίος το 1867 παρουσίασε την "atmospheric gas power machine", ουσιαστικά τον πρώτο λειτουργικό κινητήρα εσωτερικής καύσης ο οποίος λειτουργεί με βάση αυτό που είθισται να ονομάζουμε "θερμοδυναμικό κύκλο Otto".

Από τότε μέχρι σήμερα οι τεχνολογικές εξελίξεις έχουν οδηγήσει τους κινητήρες εσωτερικής καύσης σε μονοπάτια που μέχρι πριν από μερικές δεκαετίες ήταν απλά αδιανόητα. Συστήματα όπως το θρυλικό VTEC της Honda, το οποίο στα τέλη της δεκαετίας του '80 εκτόξευσε την ισχύ των ατμοσφαιρικών κινητήρων στα 100Psolt αλλά και τεχνολογίες όπως η υπερτροφοδότηση κι ο άμεσος ψεκασμός αποτέλεσαν την αιχμή του δόρατος στην άνευ προηγουμένου εξέλιξη που ακολούθησε, κι η οποία εξακολουθεί να καλπάζει μέχρι τις μέρες μας. Έτσι, σήμερα «συμβατικά» αυτοκίνητα όπως το Golf GTI, η BMW M3, το Mitsubishi Lancer Evolution και το Subaru Impreza WRX STI ενσωματώνουν τεχνολογίες που αποτελούν προϊόντα αμέτρητων ωρών εξέλιξης και εκατοντάδων εκατομμυρίων ευρώ, τις οποίες πριν από μερικά χρόνια συναντούσαμε μόνο σε supercars.

Κατασκευαστές όπως το Group VW παρουσιάζουν κινητήρες με συστήματα άμεσου ψεκασμού, όπως οι ατμοσφαιρικοί FSI, οι υπερτροφοδοτούμενοι TFSI και τα μοτέρ "διπλής υπερτροφοδότησης" TSI, με ειδική ισχύ που φτάνει μέχρι τα 140Psolt (στον δλίτρο TFSI του Audi TT-S). Την ίδια στιγμή η Mercedes - Benz εξελίσσει τον επαναστατικό Diesotto, ο οποίος από μόλις 1,8lt αποδίδει 238Ps, πληρώντας ταυτόχρονα "τις προδιαγραφές εκπομπών καυσαερίων Euro VI. Επομένως, δεν μπορούμε παρά να περιμένουμε αντίστοιχες εξελίξεις και στο μέλλον -χωρίς φυσικά να συνυπολογίζουμε και τις διάφορες μορφές "εναλλακτικής κίνησης", που κάνουν ολοένα και πιο αισθητή την παρουσία τους.

Παρακάτω θα αναλύσουμε πως ένας κινητήρας εσωτερικής καύσης μετατρέπει το καύσιμο σε κινητική ενέργεια και ποιοι παράγοντες επηρεάζουν την απόδοση του.

Ο όρος "κινητήρας εσωτερικής καύσης" αναφέρεται στον κινητήρα εκείνο στον οποίο το μίγμα αέρα - καυσίμου είναι ταυτόχρονα και εργαζόμενο μέσο για την παραγωγή έργου. Σε αντιπαράβολή, σε μια διάταξη "εξωτερικής καύσης" (αν και ο όρος δεν χρησιμοποιείται πολύ) όπως ένας ατμοπαραγωγός, το μίγμα αέρα - καυσίμου είναι διαφορετικό από το εργαζόμενο μέσο (ατμός). Οι κινητήρες εσωτερικής καύσης είναι κατ' ουσίαν μετατροπείς χημικής ενέργειας σε μηχανικό έργο.

Πιο συγκεκριμένα, οι Μ.Ε.Κ. χρησιμοποιούν την ενέργεια που εκλύεται από την αντίδραση του καυσίμου με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας (καύση), το οποίο εισάγεται από την ατμόσφαιρα για να μετατρέψει σε ωφέλιμο έργο. θεωρώντας ότι η βενζίνη αποτελείται αποκλειστικά από υδρογονάνθρακες, μια τέλεια αντίδραση καύσης της θα παρήγαγε αποκλειστικά διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) και νερό ( $\text{H}_2\text{O}$ ) με βάση την αντίδραση « $\text{C}_x\text{H}_y + (\text{x} + \frac{\text{y}}{4})\text{O}_2 \rightarrow \text{xCO}_2 + (\frac{\text{y}}{2})\text{H}_2\text{O}$ ». Στην πράξη βέβαια, ποτέ δεν έχουμε τέλεια καύση των υδρογονανθράκων, επομένως κατά την καύση σχηματίζονται και διάφορα άλλα παραπροϊόντα όπως άκαυτοι υδρογονάνθρακες ( $\text{C}_x\text{H}_y$ ) και μονοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}$ ). Επίσης, στην αντίδραση καύσης συμμετέχει σε κάποιο ποσοστό και το άζωτο ( $\text{N}_2$ ) που βρίσκεται στον ατμοσφαιρικό αέρα, το οποίο αντιδρώντας με το οξυγόνο δίνει ως παραπροϊόντα οξειδία του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ). Όπως επίσης και διάφορες ουσίες που υπάρχουν μέσα στο καύσιμο (για παράδειγμα το θείο), το οποίο αντιδρώντας με το οξυγόνο παράγει οξειδία του θείου.

Επίσης, η αντίδραση καύσης των υδρογονανθράκων, όντας εξώθερμη, παράγει μεγάλα ποσά θερμότητας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας και της πίεσης του μίγματος αέρα - καυσίμου (το οποίο μετά την αντίδραση καύσης μετατρέπεται σε καυσαέριο) μέσα στο θάλαμο καύσης.

Η πίεση αυτή ασκείται σε όλο το θάλαμο καύσης, συνεπώς και στην κορόνα του πιστονιού. Εκεί μετατρέπεται σε κάθετη δύναμη, η οποία στη συνέχεια μεταδίδεται μέσω του διωστήρα (μπιέλα) στο κομβίο του στροφαλοφόρου. Εκεί, λόγω της εκκεντρότητας του κομβίου της βάσης με το κομβίο της μπιέλας έχουμε τη δημιουργία ροπής στρέψης, η οποία και στη συνέχεια μεταδίδεται μέσω του κιβωτίου ταχυτήτων και του διαφορικού στους τροχούς, με αποτέλεσμα την κίνηση του αυτοκινήτου.



Ένα από τα πρώτα συμπεράσματα που εξάγεται από την κατανόηση της θερμοδυναμικής λειτουργίας ενός εμβολοφόρου κινητήρα εσωτερικής καύσης, είναι ότι όσο περισσότερο καύσιμο μίγμα αντιδράσει, τόσο περισσότερη ποσότητα ενέργειας παράγεται, με ανάλογη αύξηση και της ποσότητας των καυσαερίων που αποβάλλονται στο περιβάλλον.

Έτσι, λοιπόν, αυτό που παίζει πρώταρχικο ρόλο στην πίεση που δέχεται το έμβολο (και άρα στην απόδοση του κινητήρα), είναι η θερμική ενέργεια που εκλύεται κατά

την καύση, καθώς και ο βαθμός εκμετάλλευσης της κατά τη "μετατροπή" της σε μηχανική στα πιστόνια, τις μπιέλες και το στροφαλοφόρο. Εννοείται, ότι από το συνολικό ποσό θερμικής ενέργειας που παράγεται από τη διαδικασία της καύσης, μπορούμε να εκμεταλλευτούμε ένα μικρό μόνο μέρος της, μετατρέποντας τη σε μηχανική.

Το υπόλοιπο αποβάλλεται ως θερμότητα στο περιβάλλον μέσω των καυσαερίων. Για την αύξηση της θερμικής ενέργειας που παράγεται κατά την καύση απαιτείται αύξηση της ποσότητας του καύσιμου μίγματος που εισάγεται στο θάλαμο καύσης, ενώ στην αύξηση του βαθμού εκμετάλλευσης της παραγόμενης θερμικής ενέργειας συμβάλλει η αύξηση της σχέσης συμπίεσης του κινητήρα.

Η σχέση συμπίεσης του κινητήρα είναι ο λόγος του όγκου μέσα στον κύλινδρο όταν το έμβολο βρίσκεται στο Κάτω Νεκρό Σημείο προς τον όγκο όταν το έμβολο βρίσκεται στο Άνω Νεκρό Σημείο. Μολονότι η αύξηση της σχέσης συμπίεσης φαντάζει σαν ένας εύκολος τρόπος για την αύξηση της απόδοσης του κινητήρα, εντούτοις έχει ένα άνω όριο, καθώς από ένα σημείο και μετά η θέρμανση του μίγματος κατά τη συμπίεση δημιουργεί φαινόμενα προανάφλεξης στο μίγμα.

## Ερωτήσεις για ΜΕΚ

### 1. Τι ονομάζεται ΜΕΚ

- a) Η ατμομηχανή
- b) Η θερμική μηχανή στην οποία η καύση του καυσίμου γίνεται στο εσωτερικό σώμα της ίδιας της μηχανής
- c) Η θερμική μηχανή όπου η καύση γίνεται εκτός, στο λέβητα

### 2. Ως ΜΕΚ θεωρούνται

- a) οι αεριομηχανές
- b) οι βενζινομηχανές
- c) οι πετρελαιομηχανές
- d) οι αεροστρόβιλοι
- e) όλα τα παραπάνω

### 3. οι ΜΕΚ διακρίνονται ανάλογα με τη διάταξη των εμβόλων

- a) κατακόρυφες
- b) οριζόντιες
- c) παράλληλων εμβόλων
- d) αστεροειδείς πολλαπλές
- e) a και b

### 4. Οι κινητήρες εσωτερικής καύσης αποτελούνται από

- a) ένα σύνολο συστημάτων που μετατρέπουν τη θερμική ενέργεια σε μηχανική
- b) ένα σύνολο συστημάτων, μηχανισμών και εξαρτημάτων που μετατρέπουν τη θερμική ενέργεια σε μηχανική
- c) από μηχανισμούς που μετατρέπουν τη θερμική ενέργεια σε μηχανική
- d) από εξαρτήματα που μετατρέπουν τη θερμική ενέργεια σε μηχανική

### 5. Ένας κινητήρας εσωτερικής καύσης αποτελείται από

- a) Ένα σύστημα παραγωγής της κίνησης
- b) Ένα σύστημα παραγωγής και μετατροπής της κίνησης
- c) Ένα σύστημα παραγωγής και μετατροπής της κίνησης και το σύστημα διανομής καυσίμου
- d) Το σύστημα διανομής καυσίμου

**6. το σύστημα παραγωγής και μετατροπής της κίνησης**

- a) έχει σκοπό την παραγωγή μηχανικής ενέργειας
- b) την μετατροπή της μηχανικής ενέργειας από την μορφή της ευθυγράμμου παλινδρομικής κίνησης σε περιστροφική.
- c) την παραγωγή μηχανικής ενέργειας και την μετατροπή της από την μορφή της ευθυγράμμου παλινδρομικής κίνησης σε περιστροφική
- d) την μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε περιστροφική

**7. Οι κύλινδροι είναι**

- a) το μέρος του κινητήρα στο οποίο πραγματοποιείται η καύση του καυσίμου μίγματος
- b) αέρια με υψηλή πίεση
- c) έμβολα
- d) τύποι κινητήρων εσωτερικής καύσης

**8. Η εξωτερική μορφή των κυλίνδρων εξαρτάται από**

- a) τον τρόπο ψύξης
- b) την εξωτερική τους επιφάνεια
- c) τη διάταξη των βαλβίδων
- d) τον τύπο του κινητήρα

**9. Η εσωτερική επιφάνεια των κυλίνδρων φθείρεται από**

- a) το υγρό ψύξης
- b) την υψηλή πίεση
- c) την κίνηση του εμβόλου
- d) τις υψηλές πιέσεις, τη θερμοκρασία και την τριβή



**10. Τα μέρη που αποτελούν το έμβολο είναι**

- a) Ο δίσκος που είναι η επιφάνεια της κεφαλής του.
- b) Ο κορμός που είναι το επάνω μέρος του εμβόλου και φέρει αυλάκια στα οποία τοποθετούνται τα ελατήρια του εμβόλου
- c) Τα κυλινδρικά ανοίγματα (ομφαλοί) όπου στερεώνεται ο πείρος που ενώνει το έμβολο με την μπιέλα.
- d) Η ποδιά που αποτελεί το υπόλοιπο κάτω μέρος της κυλινδρικής επιφάνειας του εμβόλου και χρησιμεύει για την οδήγηση του εμβόλου μέσα στον κύλινδρο.
- e) Όλα τα παραπάνω

**11. Πότε εμφανίστηκαν οι πρώτοι πολυκύλινδροι κινητήρες**

- a) Στις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα
- b) Στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα
- c) Στα τέλη του 20<sup>ου</sup> αιώνα
- d) Τις αρχές του 21<sup>ου</sup> αιώνα

**12. Τα επιμέρους τμήματα του εμβόλου είναι**

- a) Το έμβολο
- b) Ο πείρος
- c) Τα ελάσματα
- d) Τα ελατήρια και ο πείρος του εμβόλου

**13. Ποιο από τα παρακάτω είναι πλεονέκτημα των ΜΕΚ**

- a) Υπάρχει σταθερή σχέση πιέσεων σε χαμηλές και υψηλές στροφές
- b) μεγαλύτερο βάρος και όγκος από τους στροβιλοσυμπιεστές
- c) απαιτούν σύστημα μετάδοσης με τροχαλίες και ιμάντα
- d) κατανάλωση μεγαλύτερης ισχύος για την κίνησή τους

**14. Ένα όχημα χρειάζεται ισχύ**

- a) για να κινηθεί με σταθερή ταχύτητα
- b) για να επιταχύνει
- c) για να κινηθεί υπό φορτίο
- d) να υπερνικήσει τις αντιστάσεις

**15. Ο στροφαλοφόρος άξονας :**

- a) Καταπονείται σε θλίψη και εφελκυσμό.
- b) Κατασκευάζεται από αλουμίνιο.
- c) Μετατρέπει την ευθύγραμμη κίνηση σε παλινδρομική.
- d) Δεν ισχύει τίποτα από τα παραπάνω.

**16. Κατά τη λειτουργία του κινητήρα το λιπαντικό έλαιο θερμαίνεται :**

- a) Η πυκνότητα του λιπαντικού μεγαλώνει.
- b) Η πυκνότητα του λιπαντικού παραμένει αμετάβλητη.
- c) Το ιξώδες του λιπαντικού παραμένει αμετάβλητο.
- d) Το ιξώδες του λιπαντικού μικραίνει.

**17. Οι οξειδωτικοί καταλύτες μετατρέπουν:**

- a) Το  $\text{NO}_2$  σε  $\text{NO}_3$ .
- b) Το  $\text{CO}_2$  σε C και  $\text{O}_2$ .
- c) Το CO σε  $\text{CO}_2$ .
- d) Κανένα από τα προηγούμενα.

**18. Ο καταλυτικός μετατροπέας (καταλύτης) για ορθή λειτουργία απαιτεί :**

- a) Φτωχό μίγμα.
- b) Πλούσιο μίγμα.
- c) Θερμοκρασία  $>250^\circ\text{C}$ .
- d) Θερμοκρασία  $<250^\circ\text{C}$ .

**19. Σε έναν κινητήρα λειαίνουμε (κατεβάζουμε) την κυλινδροκεφαλή (καπάκι)**

- a) Ο λόγος συμπίεσης μεγαλώνει.
- b) Ο λόγος συμπίεσης μικραίνει.
- c) Ο κυβισμός μεγαλώνει.
- d) Ο κυβισμός μικραίνει.

**20. Η τιμή της γωνίας σφήνωσης ενός κινητήρα εξαρτάται από :**

- a) Το πλήθος των βαλβίδων.
- b) Το πλήθος των κυλίνδρων.
- c) Κανένα από τα παραπάνω.

## Απαντήσεις για ΜΕΚ

ΕΡΩΤΗΣΗ 1 – b

ΕΡΩΤΗΣΗ 11 - a

ΕΡΩΤΗΣΗ 2 – e

ΕΡΩΤΗΣΗ 12 - d

ΕΡΩΤΗΣΗ 3 – e

ΕΡΩΤΗΣΗ 13 - a

ΕΡΩΤΗΣΗ 4 – b

ΕΡΩΤΗΣΗ 14 - b

ΕΡΩΤΗΣΗ 5 – c

ΕΡΩΤΗΣΗ 15 - c

ΕΡΩΤΗΣΗ 6 – c

ΕΡΩΤΗΣΗ 16 - b

ΕΡΩΤΗΣΗ 7 – a

ΕΡΩΤΗΣΗ 17 - d

ΕΡΩΤΗΣΗ 8 – d

ΕΡΩΤΗΣΗ 18 - c

ΕΡΩΤΗΣΗ 9 – d

ΕΡΩΤΗΣΗ 19 - b

ΕΡΩΤΗΣΗ 10 – e

ΕΡΩΤΗΣΗ 20 - c

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ JET

---

## 2.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Ο στρόβιλος γενικά, σε σχέση με τις άλλες διατάξεις παραγωγής μηχανικού έργου, είναι από πολλές απόψεις η πιο ικανοποιητική διάταξη. Η απουσία παλινδρομικών και τριβομένων τμημάτων συνεπάγεται μικρή κατανάλωση λιπαντικού, ελάχιστα προβλήματα ζυγοστάθμισης και εξ αυτού του λόγου οι αεριοστρόβιλοι παρουσιάζουν υψηλή αξιοπιστία λειτουργίας (Cohen et al (1972), The Jet Engine, Rolls-Royce (1987), Boyce (2002)).

Τα πλεονεκτήματα που σχετίζονται με το στρόβιλο φάνηκαν όταν χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στις αρχές 20ου αιώνα άρχισε η χρήση ατμοστροβίλων για την κίνηση πλοίων και τρένων, καθώς και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Σήμερα λειτουργούν εργοστάσια με ισχύ μεγαλύτερη των 500 MW και απόδοση της τάξεως του 40%. Οι ατμοστροβίλοι, αν και έχουν φτάσει σε υψηλό επίπεδο εξέλιξης εμφανίζουν ένα μειονέκτημα, Stodola (1945). Αυτό σχετίζεται με την εγκατάσταση παραγωγής ατμού υψηλής πίεσεως και υψηλής θερμοκρασίας, παραγόμενου από δαπανηρές εγκαταστάσεις όπως ένας συμβατικός λέβητας ή ένας πυρηνικός αντιδραστήρας. Η βασικό χαρακτηριστικό είναι ότι τα παραγόμενα θερμά αέρια, από το λέβητα ή τον αντιδραστήρα, δε χρησιμοποιούνται κατευθείαν στον στρόβιλο, αλλά έμμεσα για την παραγωγή ενός ενδιάμεσου ρευστού, ατμού. Τα προβλήματα αυτά οδήγησαν στην ανάπτυξη και εκμετάλλευση των αεριοστροβίλων, με αποτέλεσμα η χρήση τους να είναι σήμερα δυνατή σε ένα μεγάλο πεδίο εφαρμογών (εργοστάσια ηλεκτρικής ενέργειας, πλοία, αεροπλάνα, αυτοκίνητα), (Cohen et al (1972), The Jet Engine, Rolls-Royce (1987), Boyce (2002)).

## 2.2. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΕΡΙΟΣΤΟΒΙΛΟΥ

Για τη λειτουργία αεριοστροβίλου χρειάζεται αέριο υψηλής πίεσης το οποίο εκτονούμενο εντός των πτερυγίων ενός στροβίλου τον κινεί. Ο υψηλός λόγος συμπίεσης που απαιτείται επιτυγχάνεται μέσω της αξιοποίησης ενός συμπιεστή. Χωρίς απώλειες, λόγω τριβών στο σύστημα συμπιεστή-στροβίλου, το αποδιδόμενο από τον στρόβιλο έργο θα ήταν ίσο προς το καταναλισκόμενο από τον συμπιεστή. Αλλά και σ' αυτή την ιδανική κατάσταση δε θα μπορούσε να παραχθεί καθαρό 'ωφέλιμο' έργο και

το αποτέλεσμα θα ήταν απλώς η λειτουργία συστήματος συμπιεστής-στρόβιλος. Το έργο που παράγει ο στρόβιλος αυξάνεται με την πρόσθεση ενέργειας στο εκτονούμενο αέριο που αυξάνει τη θερμοκρασία του. Όταν το αέριο είναι ο αέρας, η πρόσθεση ενέργειας πραγματοποιείται με την καύση ενός καυσίμου με τον αέρα που έχει προηγούμενα συμπιεστεί. Τα καυσαέρια εκτονούμενα παράγουν στο στρόβιλο μεγαλύτερο έργο, μέρος οποίου κινεί τον συμπιεστή, ενώ ταυτόχρονα παράγεται και ωφέλιμο έργο. Η διαδικασία αυτή παραγωγής ωφέλιμου έργου είναι η αρχή λειτουργίας ενός αεριοστροβίλου (σχ. 1.1).

Επειδή υπάρχουν απώλειες το έργο που λαμβάνεται τελικά στην έξοδο στροβίλου είναι μικρότερο. Το ωφέλιμο έργο αυξάνεται με την προσθήκη επιπλέον καυσίμου αν και υπάρχει ένα όριο λόγου καύσιμοαέρα, για δεδομένη παροχή αέρα, που περιορίζει το ποσό ωφέλιμου έργου. Η μέγιστη τιμή λόγου καύσιμοαέρα καθορίζεται από τη θερμοκρασία λειτουργίας των πτερυγίων στροβίλου η οποία -&v πρέπει να υπερβαίνει μια κρίσιμη τιμή. Η τιμή δε αυτή καθορίζεται από την αντοχή σε ερπυσμό των υλικών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή και από την επιθυμητή διάρκεια ζωής αεριοστροβίλου.

Συνεπώς οι δύο βασικοί παράγοντες που καθορίζουν τη λειτουργία των αεριοστροβίλων είναι:

1) η απόδοση κάθε τμήματος (στρόβιλος, συμπιεστής, κλπ.)

και

2) η θερμοκρασία λειτουργίας που εξαρτάται από τα υλικά που χρησιμοποιούνται ).

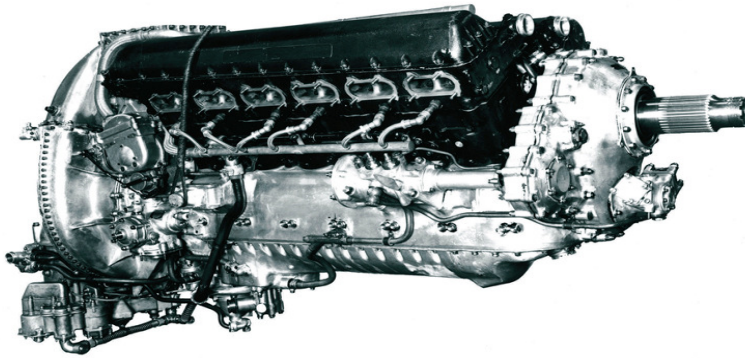
Στο κεφάλαιο 2 θα δειχθεί ότι η ολική απόδοση κύκλου ενός αεριοστροβίλου, εξαρτάται και από το λόγο συμπίεσης συμπιεστή. Αρχικά υπήρχαν δυσκολίες στην πραγματοποίηση υψηλού λόγου συμπίεσης όμως σήμερα, ιδιαίτερα σε τελειοποιημένους κινητήρες, επιτυγχάνονται λόγοι συμπίεσης πάνω από 30:1, με απόδοση συμπιεστή 85-90% και με θερμοκρασία εισόδου στο στρόβιλο πάνω από 1200-1500K.

Παλαιότερα είχαν προταθεί δύο δυνατά συστήματα καύσεως. Ή ένα υπό σταθερό όγκο και το άλλο υπό σταθερή πίεση. Θεωρητικά η θερμική αποδοχή κύκλου υπό σταθερό όγκο είναι μεγαλύτερη αυτού υπό σταθερή πίεση, αλλά οι μηχανικές δυσκολίες είναι πολύ μεγαλύτερες που σχεδόν αποκλείουν την εξέλιξη αεριοστροβίλου με κύκλο υπό σταθερό όγκο.

Πρέπει να τονισθεί ότι στον αεριοστρόβιλο οι διαδικασίες συμπίεση - καύση - εκτόνωση -και γίνονται στην ίδια "μονάδα" όπως στους παλινδρομικούς κινητήρες. Οι διαδικασίες γίνονται σε ξεχωριστές "μονάδες", που λέγονται συνιστώσες κινητήρα, και οι οποίες διαχωρίζονται με την έννοια ότι σχεδιάζονται, ελέγχονται και αναπτύσσονται χωριστά. Οι συνιστώσες αυτές όμως συνδέονται λειτουργικά (αεροδυναμικά) μεταξύ τους και σχηματίζουν τον αεριοστρόβιλο. Ο αριθμός των συνιστωσών δεν περιορίζεται σε τρεις. Είναι δυνατόν να προστεθούν επιπλέον συμπίεστες και στροβίλοι μαζί με ψύκτες μεταξύ των συμπίεστών και αναθερμαντικών θαλάμων καύσεως μεταξύ των στροβίλων. Συνήθως χρησιμοποιούνται και εναλλάκτες που αξιοποιούν τα καυσαέρια που εξέρχονται από το στρόβιλο για να θερμάνουν τον αέρα (ή το αέριο) που εισέρχεται στο θάλαμο καύσης. Αυτές οι διατάξεις χρησιμοποιούνται για την αύξηση της εξερχόμενης ισχύος και απόδοσης. Η επιλογή δε κατάλληλου συνδυασμού εξαρτάται από την ειδική περίπτωση εφαρμογής αεριοστροβίλου.

Εκτός από τους διάφορους απλούς κύκλους, που προκύπτουν με την πρόσθεση των βοηθητικών συνιστωσών (ψύκτες, αναθερμαντήρες, εναλλάκτες), οι αεριοστρόβιλοι κατατάσσονται σε δύο διακεκριμένες κατηγορίες ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ και ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ (Cohen et al (1972), The Jet Engine, Rolls-Royce (1987), Boyce (2002)). Στους αεριοστρόβιλους ανοικτού κύκλου (σχ. 1.1), πραγματοποιείται συνεχής εισροή ατμοσφαιρικού αέρα μέσα στο συμπίεστη και η ενέργεια προστίθεται με την καύση ενός καυσίμου εντός αέρα. Στη συνέχεια τα καυσαέρια εκτονώνονται στο στρόβιλο και εξέρχονται στην ατμόσφαιρα. Στους αεριοστρόβιλους κλειστού κύκλου (βλέπε Παράγραφος 1.3) ένα αέριο ή ο αέρας ανακυκλώνεται συνεχώς μέσα στη μηχανή. Είναι φανερό ότι η καύση -&v λαμβάνει χώρα εντός αερίου κυκλώματος και η απαιτούμενη ενέργεια πρέπει να δοθεί από ένα θερμαντήρα (εναλλάκτη), ενώ η καύση λαμβάνει χώρα σ' ένα χωριστό κύκλωμα. Ο κλειστός κύκλος λειτουργίας ενός αεριοστροβίλου μοιάζει με εκείνον του ατμοστροβίλου. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι στην περίπτωση χρησιμοποίησης

πυρηνικού αντιδραστήρα σαν πηγή θερμότητας, ο κλειστός κύκλος είναι ο πιο κατάλληλος.



ROLLS-ROYCE MERLIN  
60 AERO-ENGINE

Τα βασικά εξαρτήματα των Αεριοστροβίλων (Cohen et al (1972), The Jet Engine, Rolls-Royce (1987)).

Τα βασικά εξαρτήματα είναι : (α) το τμήμα εισαγωγής (intake)

(β) Ο συμπιεστής (compressor)

(γ) Ο θάλαμος καύσης (combustion chamber)

(δ) Ο στρόβιλος (turbine)

(ε) Το τμήμα εξαγωγής (nozzle)

(στ) Οι θερμικοί εναλλάκτες (heat exchanger)

Τμήμα εισαγωγής : Προσαρμόζει τον αέρα που εισέρχεται στην μηχανή στις απαιτήσεις του συμπιεστή σε όλες τις συνθήκες λειτουργίας. Οι πιο βασικές απαιτήσεις είναι καθαρός (από σωματίδια) αέρας, ομοιόμορφης κατανομής σε ταχύτητα και πίεση και στον κατάλληλο αριθμό Mach. Μερικές φορές περιλαμβάνει και φίλτρο κατακράτησης σωματιδίων ή απορρόφησης ηχητικών κυμάτων.

Ο συμπιεστής : Συμπιέζει τον αέρα, σύμφωνα με τις απαιτήσεις θερμοδυναμικού κύκλου. Μπορεί να είναι είτε αξονικός, είτε φυγοκεντρικός, είτε παλινδρομικός. Συνήθως προτιμούνται οι δύο πρώτοι τύποι, γιατί εμφανίζουν μεγαλύτερη απόδοση, είναι πιο συμπαγείς και πιο φθηνοί. Επιτρέπουν την αναρρόφηση μεγάλων ποσοτήτων ατμοσφαιρικού αέρα («150 kg/ωσm διατομής αγωγού εισόδου σε αριθμό Mach « 0.4). Τυπικές τιμές (αδιαβατικού) βαθμού απόδοσης είναι  $0.7 < \eta_c < 0.9$ . Συνήθεις συμπιέσεις,  $r_c$ , είναι 1.1-1.25

ανά βαθμίδα, 8-10 ανά τύμπανο και 25-30 ανά συμπιεστή.

Ο θάλαμος καύσης : Είναι συνήθως συνεχούς λειτουργίας. Η όλη διεργασία καύσης είναι σχεδόν ισοβαρής (δηλ. σταθερής πίεσης). Επειδή ο λόγος αέρα/καυσίμου είναι αισθητά μεγαλύτερος από τη στοιχειομετρική αναλογία (περίσσεια αέρα της τάξης του 250%), μόνο μέρος του αέρα καίγεται άμεσα με το καύσιμο, στην πρωτεύουσα ζώνη (primary zone), σε υψηλή θερμοκρασία. Ο υπόλοιπος αέρας εισάγεται στο θάλαμο σε δεύτερο στάδιο, ψύχοντας έτσι τα καυσαέρια στη θερμοκρασία που επιτρέπεται από το στρόβιλο. Λόγω της μεγάλης πίεσης, της μεγάλης περίσσειας αέρος και του μικρού μήκους του θαλάμου (ο όγκος του θαλάμου μπορεί να είναι 10 με 20 φορές μικρότερος από τον αντίστοιχο όγκο εστίας λέβητα), απαιτείται πολύ προσεκτικός έλεγχος της ευστάθειας της καύσης. Επίσης επιβάλλεται η μικρή εκπομπή ρύπων (CO, NO<sub>x</sub>, υδρογονανθράκων) και καπνού. Σε μερικές εφαρμογές η καύση γίνεται έξω από την κύρια μηχανή και η θερμότητα μεταφέρεται στον αέρα μέσω κάποιου θερμικού εναλλάκτη.

Ο στρόβιλος : Είναι το εξάρτημα όπου παράγεται μηχανική ισχύς λόγω της εκτόνωσης των καυσαερίων μέχρι την ατμοσφαιρική πίεση. Είναι είτε φυγοκεντρικός (σπανίως) είτε αξονικός (συνήθως). Ο αδιαβατικός βαθμός απόδοσης είναι της τάξης  $0.75 < \eta_t < 0.93$ . Ο λόγος εκτόνωσης ανά βαθμίδα είναι αισθητά μεγαλύτερος από αντίστοιχη βαθμίδα συμπιεστή ( $1.35 < r_t < 2.0$  για αξονικές βαθμίδες). Συνήθως συνδέεται με το συμπιεστή με κοινό άξονα. Επιβάλλεται επομένως να ρυθμιστούν κατάλληλα οι συνθήκες λειτουργίας του συμπιεστή και του στροβίλου ώστε να λειτουργούν στην ίδια γωνιακή ταχύτητα.

Το τμήμα εξόδου : Το τμήμα αυτό σχεδιάζεται ανάλογα με τη χρήση της μηχανής. Στους αεροπορικούς κινητήρες έχει τη μορφή συγκλίνοντος ή συγκλίνοντος



- αποκλίνοντας ακροφυσίου, έτσι ώστε τα καυσαέρια να αποκτήσουν μεγάλη ταχύτητα. Στους ηλεκτροπαραγωγούς κινητήρες έχει τη μορφή διαχύτη έτσι ώστε η δυναμική πίεση στην έξοδο να είναι πολύ μικρή (της τάξης των 20 - 50 mbar). Αυτό επιτρέπει τη μέγιστη δυνατή εκτόνωση στο στρόβιλο και, επομένως, τη μεγαλύτερη θερμική απόδοση. Σε μερικούς κινητήρες περιλαμβάνει και το μετακαυστήρα (afterburner) για την αύξηση της ενέργειας των καυσαερίων.

Οι θερμικοί εναλλάκτες : Αυτοί είναι διαφορετικής μορφής ανάλογα με τη θέση τους στο θερμοδυναμικό κύκλο. Οι πιο γνωστοί τύποι είναι ο αναγεννητικός (regenerative), ο ενδιάμεσος ψύκτης (intercooler) και ο αντικαταστάτης του θαλάμου καύσης. Ο πιο συνηθής είναι ο πρώτος. Πέρα από τα παραπάνω βασικά εξαρτήματα, ο αεριοστρόβιλος έχει και συστήματα καυσίμου, λίπανσης, ελέγχου γωνιακής ταχύτητας του άξονα, βαλβίδες αναρρόφησης αέρα, έναυσης, εκκίνησης κλπ.

Είδη Αεριοστροβίλων και βασικά χαρακτηριστικά τους (Cohen et al (1972), The Jet Engine, Rolls-Royce (1987), Boyce (2002)).

Σήμερα υπάρχει μια τεραστία ποικιλία αεριοστροβίλων. Μερικές κατηγορίες διαχωρισμού των ειδών είναι και οι παρακάτω:

(α) Κατά τον κύκλο : (i) Ανοικτού κύκλου (open cycle) με αναρρόφηση και

επαναφορά στην ατμόσφαιρα

(ii) Κλειστού κύκλου (closed cycle), όπου το ρευστό παραμένει πάντα μέσα στη μηχανή. Τα ποσά θερμότητας εισέρχονται και εξέρχονται από τη μηχανή μέσω θερμικών εναλλακτών

(β) Κατά τον άξονα : (i) Μονο-αξονικές (Single shaft)

(ii) Δι-αξονικές (Two shaft)

(iii) Τρι-αξονικές (Triple shaft)

(iv) Ελεύθερο στρόβιλο ισχύος. Εδώ η εκτόνωση γίνεται &v μέρει στο στρόβιλο που ενεργοποιεί το συμπιεστή και η υπόλοιπη στο στρόβιλο ισχύος (που κινεί το φορτίο π.χ. την ηλεκτρογεννήτρια)

(γ) Κατά τους θερμικούς εναλλάκτες : (i) Αναγεννητικός (Regenerative)

(ii) Με ενδιάμεση ψύξη (intercooled)

(iii) Με αναθέρμανση (Reheated)

(δ) Κατά την εφαρμογή : (i) Αεροπορικοί, που υποδιαιρούνται σε αεριοστροβίλους,

Στροβιλοαντιδραστήρες (turbojet), στρόβιλο - ανεμιστήρες (turbofan) ή στρόβιλο - ελικοφόροι (turboprop)

(ii) Ηλεκτροπαραγωγοί

(iii) Βιομηχανικοί (Industrial)

Διάφορες τέτοιες τυπικές διατάξεις των βασικών εξαρτημάτων διαφόρων τύπων αεριοστροβίλων.

Άλλα κύρια χαρακτηριστικά του κινητήρα πέρα από τα προαναφερθέντα είναι:  
(i) Η διαδικασία εκκίνησης, με ή χωρίς εξωτερική βοήθεια (μέσω ηλεκτροκινητήρα, μικρής μηχανής Diesel ή μικρής μονάδας αεριοστροβίλου, APU). Εδώ επίσης προσδιορίζεται

ο ρυθμός επιτάχυνσης (κυρίως για την αποφυγή έντονων θερμικών τάσεων) και το ελάχιστο φορτίο αυτοδύναμης λειτουργίας.

(ii) Η διαδικασία διακοπής λειτουργίας, με διακοπή καυσίμου και έλεγχο του ρυθμού ψύξης των εξαρτημάτων.

(iii) Επιτρεπόμενη περιοχή στροφών ανά λεπτό του άξονα για σταθερή λειτουργία και αντίστοιχοι ρυθμοί επιτάχυνσης ή επιβράδυνσης.

## Ερωτήσεις JET

### 1. Ο κινητήρας αεριώθησης ή τζετ είναι

- a) είναι ένας κινητήρας ο οποίος προκαλεί ώθηση με την εκτόξευση ενός πίδακα αερίων με μεγάλη ταχύτητα
- b) είναι ένας κινητήρας ο οποίος προκαλεί ώθηση με την εκτόξευση ενός πίδακα αερίων με χαμηλή ταχύτητα
- c) είναι ένας κινητήρας ο οποίος προκαλεί εκτόξευση αερίων με μεγάλη ταχύτητα
- d) είναι ένας κινητήρας ο οποίος δεν προκαλεί ώθηση με την εκτόξευση ενός πίδακα αερίων με μεγάλη ταχύτητα

### 2. Κινητήρες αεριώθησης θεωρούνται

- a) Οι μηχανές εσωτερικής καύσης
- b) Οι ατμομηχανές
- c) Οι ανεμιστήρες
- d) Οι τουρμπίνες

### 3. Τι εννοούμε με τον όρο δράση στους αεριοστόβιλους

- a) Την ώθηση που ασκεί ο ατμός όταν προσβάλλει με ταχύτητα τα πτερύγια ενός περιστρεφόμενου τροχού.
- b) Την δύναμη που αποκτά ο ατμός όταν εκτονωθεί μέσα στα αυλάκια ανάμεσα στα κινητά πτερύγια.
- c) Την δύναμη που ασκεί ο ατμός όταν εκτονωθεί μέσα στα αυλάκια ανάμεσα στα κινητά πτερύγια.
- d) Την δύναμη που ασκεί ο ατμός όταν προσβάλλει με ταχύτητα τα πτερύγια ενός περιστρεφόμενου τροχού.

### 4. Ποια η ονομασία του κινητού μέρους των αεριοτροβίλων

- a) Στροφείο
- b) Κέλφος
- c) Ατμοφράκτης

- 5. Σε ποιο είδος πτερυγίων η αύλακα τους είναι σταθερής διατομής**
- a) Κινητά πτερύγια αντιδράσεως
  - b) Σταθερά πτερύγια αντιδράσεως
  - c) Κινητά πτερύγια δράσεως
  - d) Κανένα από τα παραπάνω
- 6. Σε στροβίλους δράσεως περνώντας ο ατμός μέσα από το ακροφύσιο τι από τα παρακάτω συμβαίνει**
- a) Η πίεση του ατμού πέφτει και η ταχύτητα του μεγαλώνει
  - b) Η δυναμική του ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική
  - c) Η πίεση του ατμού μεγαλώνει και η ταχύτητα μεγαλώνει
  - d) Η κινητική ενέργεια μετατρέπεται σε δυναμική
- 7. Συμβαίνει εκτόνωση στον ατμό κατά τη διέλευση του μέσα από κινητά πτερύγια αντιδράσεως**
- a) Ναι
  - b) Όχι
  - c) Δεν μπορούμε να απαντήσουμε
- 8. Ο διαχωρισμός των αεροστροβίλων κατά τον κύκλο περιλαμβάνει**
- a) Ανοικτού κύκλου
  - b) Μονο-αξονικές
  - c) Ελεύθερο στρόβιλο ισχύος
  - d) Ηλεκτροπαράγωγοι
- 9. Ο διαχωρισμός των αεροστροβίλων κατά τον άξονα περιλαμβάνει**
- a) Τρι-αξονικές
  - b) Κλειστού κύκλου
  - c) Αναγεννητικός
  - d) Στροβιλοαντιδραστήρες

**10. Ο διαχωρισμός των αεροστροβίλων κατά τους θερμικούς εναλλάκτες περιλαμβάνει**

- a) Ελεύθερο στρόβιλο ισχύος
- b) Κλειστού κύκλου
- c) Με αναθέρμανση
- d) ελικοφόροι

**11. Ο διαχωρισμός των αεροστροβίλων κατά την εφαρμογή περιλαμβάνει**

- a) Αεροπορικούς
- b) Ελεύθερο στρόβιλο ισχύος
- c) Με ενδιάμεση ψύξη
- d) Με αναθέρμανση

**12. Εάν ένας αεριοστρόβιλος πρέπει να λειτουργεί με σταθερό αριθμό στροφών και υπό σταθερό φορτίο (για την παραγωγή ισχύος μεγίστου φορτίου) τότε η κατάλληλη διάταξη είναι εκείνη**

- a) Με τον απλό άξονα
- b) Με τον διπλό άξονα
- c) Με τον τριπλό άξονα
- d) Τίποτα από τα παραπάνω

**13. Ο τροποποιημένος ανοικτός κύκλος λειτουργίας αεροστρόβιλου εφαρμόζεται όταν το καύσιμο είναι**

- a) Καθαρό
- b) Νοθευμένο
- c) Βρώμικο
- d) Πετρέλαιο

**14. Ο εναλλάκτης του τροποποιημένου κύκλου, μεταφέρει**

- a) όλη την εισερχόμενη ενέργεια στο συμπιεσμένο αέρα
- b) την μισή εισερχόμενη ενέργεια στο συμπιεσμένο αέρα
- c) όλη την εξερχόμενη ενέργεια στο συμπιεσμένο αέρα
- d) ένα μικρό ποσοστό ενέργειας στο συμπιεσμένο αέρα

**15. Για τη λειτουργία αεριοστροβίλου χρειάζεται**

- a) αέριο υψηλής πίεσης
- b) αέριο χαμηλής πίεσης
- c) συμπιεστή
- d) στρόβιλος

**16. Οι δύο βασικοί παράγοντες που καθορίζουν τη λειτουργία των αεριοστροβίλων είναι:**

- a) η απόδοση κάθε τμήματος
- b) η θερμοκρασία λειτουργίας που εξαρτάται από τα υλικά που χρησιμοποιούνται
- c) στρόβιλος, συμπιεστή
- d) καυστήρας, εναλλάκτης

**17. Η ολική απόδοση κύκλου ενός αεριοστροβίλου εξαρτάται**

- a) από το λόγο συμπίεσης συμπιεστή
- b) από το λόγο συμπίεσης αεριοστροβίλου
- c) από το λόγο συμπίεστη αεριοστροβίλου

**18. Τα βασικά εξαρτήματα των Αεριοστροβίλων**

- a) το τμήμα εισαγωγής
- b) Το τμήμα εξαγωγής
- c) Ο πολλαπλασιαστής
- d) Το έμβολο

**19. Τμήμα εισαγωγής**

- a) Προσαρμόζει τον αέρα που εισέρχεται στην μηχανή
- b) Συμπιέζει τον αέρα
- c) Είναι συνήθως συνεχούς λειτουργίας

**20. Το τμήμα εξόδου**

- a) Προσαρμόζει τον αέρα που εισέρχεται στην μηχανή
- a) σχεδιάζεται ανάλογα με τη χρήση της μηχανής
- b) Είναι είτε φυγοκεντρικός είτε αξονικός
- c) Είναι συνήθως συνεχούς λειτουργίας

## Απαντήσεις για JET

ΕΡΩΤΗΣΗ 1 – a

ΕΡΩΤΗΣΗ 11 - b

ΕΡΩΤΗΣΗ 2 – d

ΕΡΩΤΗΣΗ 12 - d

ΕΡΩΤΗΣΗ 3 – d

ΕΡΩΤΗΣΗ 13 - a

ΕΡΩΤΗΣΗ 4 – a

ΕΡΩΤΗΣΗ 14 - a

ΕΡΩΤΗΣΗ 5 – d

ΕΡΩΤΗΣΗ 15 - c

ΕΡΩΤΗΣΗ 6 – c

ΕΡΩΤΗΣΗ 16 - b

ΕΡΩΤΗΣΗ 7 – a

ΕΡΩΤΗΣΗ 17 - b

ΕΡΩΤΗΣΗ 8 – c

ΕΡΩΤΗΣΗ 18 - a

ΕΡΩΤΗΣΗ 9 – d

ΕΡΩΤΗΣΗ 19 - c

ΕΡΩΤΗΣΗ 10 – a

ΕΡΩΤΗΣΗ 20 - a

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΕΛΙΚΑ

---

## 3.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΛΙΚΑ

Η λέξη προπέλα έχει λατινικές ρίζες, προέρχεται από το λατινικό «pro» που σημαίνει προς τα εμπρός και «pella» που σημαίνει οδηγώ. Προπέλα δηλαδή σημαίνει αυτό που οδηγεί προς τα εμπρός. Σε αρκετές γλώσσες η προπέλα απλά ονομάζεται «**Ελικά-Screw**» εκτός από τα γερμανικά που ονομάζεται «**Schraube**» και στα γαλλικά όπου ονομάζεται «**Helice**». Την ιδέα της έλικας την συνέλαβε πρώτος, από όσα είναι γνωστά μέχρι και σήμερα ο Λεονάρντο ντα Βίντσι (1452-1519), περισσότερο από 200 χρόνια αργότερα, το 1731 ο Γάλλος Dupe Quet περιέγραψε έναν «οδηγό στο νερό» (driver on water) σύμφωνα με την αρχή της έλικας.

Άλλοι εφευρέτες στην Ελβετία, Γαλλία και την Αγγλία έθεσαν ιδέες, αλλά δεν οδήγησαν σε πρακτικά αποτελέσματα. Τέλος στο 1802 η ιδέα του Λεονάρντο ντα Βίντσι έγινε πραγματικότητα.

Ο αμερικανός John Stevens, κατασκεύασε ένα πλοιάριο 7,5m που όταν έπλεε με όλη του την ισχύ έφτανε τη σεβαστή ταχύτητα των τεσσάρων μιλίων την ώρα. Ο ίδιος ο Stevens είχε γράψει για τον μηχανισμό του «ένας ορειχάλκινος κύλινδρος 20cm και μήκος 10m τοποθετήθηκε οριζοντίως στον πυθμένα του πλοιαρίου και με την εναλλασσόμενη πλεύση του ατμού πάνω σε δύο ολισθαίνουσες πτέρυγες περιστρέφοντας έναν άξονα που περνούσε από το κέντρο του, στο ένα άκρο του άξονος αυτού, που περνούσε μέσα από την πρύμνη του πλοιαρίου, προσαρμόστηκαν πτερύγια σαν εκείνα που τοποθετούν στους βραχίονες του ανεμόμυλου, ρυθμισμένο στην πιο κατάλληλη γωνία για να μην λειτουργούν μέσα στο νερό». Αυτό ήταν όλη κι όλη η μηχανή, ενώ υπήρχε ένα και μοναδικό πρόβλημα: η ροή στρέψεως της έλικας είχε την τάση να ωθεί το πλοιάριο κυκλικά.

Ο Stevens απέφυγε το πρόβλημα, (το πλοίο να έχει την τάση να κινείται κυκλικά) στο επόμενο πλοίο του, το λεγόμενο «Little Juliana» που ναυπήγησε το 1804. Τοποθετώντας δίδυμες έλικες των τεσσάρων πτερυγίων οι οποίες περιστρέφονταν προς αντίθετη φορά η μια προς την άλλη, το πλοιάριο αυτό έφτασε τους 6-7 κόμβους. Το 1816 ο Άγγλος SannelOwer προσάρμοσε μια προπέλα 1,5m στο πλοιάριο



«Stockholmshaxan». Στην δεκαετία 1830-40 ο Άγγλος εφευρέτης Francis Pettit Smith και ο σουηδικής καταγωγής μηχανικός John Ericsson, κατασκεύασαν ελικοκίνητα πλοία που προκάλεσαν μεγάλο ενδιαφέρον στην Βρετανία.

Η αποδοτικότητα τους εντυπωσίασε ιδιαίτερα τον ναυπηγό Brinell, ο οποίος την εποχή εκείνη σχεδίασε το πρώτο σιδερένιο υπερωκεάνιο «Μεγάλη Βρετανία». Ο Brinell μεταβαλλόντας τα αρχικά σχέδια αντί για τροχούς, τοποθέτησε μια έλικα με έξι πτερύγια, διαμέτρου 4,51m. Το υπερωκεάνιο «Μεγάλη Βρετανία» στο παρθενικό του ταξίδι τον Ιούλιο του 1843 διέσχισε τον Ατλαντικό από το Λίβερπουλ στη Νέα Υόρκη σε 14 ημέρες και 21 ώρες. Την εποχή εκείνη έγιναν της μόδας οι διελκυστίνδες μεταξύ τροχήλατων και ελικοκίνητων πλοίων. Για παράδειγμα το 1845 το Βρετανικό ναυαρχείο οργάνωσε μια ανάμεσα στο ελικοκίνητο ταχυδρομικό «Rattler» και στο τροχήλατο «Αληκτώ». Τα ισοδύναμα πλοία δέθηκαν πρύμνη με πρύμνη και μόλις δόθηκε το σήμα έβαλαν εμπρός ολοταχώς, το «Rattler» νίκησε σέρνοντας τον αντίπαλο του από την πρύμνη με ταχύτητα 2,5 κόμβων. Οι επιδείξεις αυτές αλλά κυρίως οι καθημερινές επιδώσεις των ελικοκίνητων πλοίων βοήθησαν στην επικράτηση της έλικας έναντι του τροχού.

Στα 1862 η εταιρία Κιούναρντ Λαϊν καθέλκυσε το τελευταίο τροχήλατο πλοίο της. Από κει και πέρα τα τροχήλατα πλοία ναυπηγούνταν μόνο για την ακτοπλοΐα ή τα κλειστά ύδατα. Σύντομα η προπέλα απέκτησε τη γενική εμφάνιση που έχει ακόμη και σήμερα. Αλλά αυτό δεν σημαίνει ότι η ανάπτυξη της ήταν και είναι αργή ή ανύπαρκτη. Μεγάλη πρόοδος έχει σημειωθεί ως προς την αποδοτικότητα στις μεθόδους σχεδιασμού του υλικού κατασκευής, τις ιδιότητες ταλάντευσης και Cavitation (σπηλαίωση).

Η πιο πρόσφατη πρόοδος στην καταπολέμηση της ταλάντευσης είναι η προπέλα με πολύ λοξά πτερύγια, αν και ιδέα αυτή εμφανίστηκε ήδη από το 1883, αλλά δεν αναπτύχθηκε για πρακτική εφαρμογή μέχρι την δεκαετία του '60. Η πρώτη «πατέντα» για προπέλα με ελεγχόμενο βήμα χορηγήθηκε το 1840 αλλά το σχέδιο δεν εφαρμόστηκε σε σκάφη που διέσχισαν τους ωκεανούς με υψηλή ισχύ μηχανής μέχρι την δεκαετία του 1950. Σήμερα η μεγαλύτερη προπέλα στον κόσμο έχει διάμετρο 11 m.

### 3.2. Έλικες-Τύποι ελίκων

Το παραδοσιακό μέσο που χρησιμοποιείται για την κίνηση ενός πλοίου είναι η έλικα, μερικές φορές δύο και , σε σπανιότερες περιπτώσεις, περισσότερες από δύο. Οι έλικες , όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως,(βλ. Ιστορική αναδρομή), μπορούν να χωριστούν στις δύο ακόλουθες κατηγορίες,( σχήμα 3) :

Έλικες σταθερού βήματος - fixed pitch propeller (FP-propeller)

Έλικες μεταβλητού βήματος - controllable pitch propeller (CP-propeller)

Οι έλικες σταθερού βήματος είναι ενιαία χυτά κομμάτια και συνήθως κατασκευάζονται απο κράμα χαλκού.

Η θέση των πτερυγίων, και συνεπώς το βήμα της έλικας, είναι ίση και σταθερή για όλα, με ένα δεδομένο βήμα που δεν μπορεί να αλλάξει κατα την λειτουργία. Αυτό σημαίνει ότι όταν η έλικα λειτουργεί σε συνθήκες, για παράδειγμα άσχημου καιρού, οι καμπύλες απόδοσης της έλικας, δηλαδή ο συνδιασμός ισχύος και ταχύτητας (  $\omega \text{min}$ ), θα αλλάζουν ακολουθώντας τους φυσικούς νόμους, και η πραγματική καμπύλη της έλικας δεν μπορεί να μεταβληθεί απο το πλήρωμα.

Τα περισσότερα πλοία που δεν χρειάζονται ειδικές καλές ελιγκτικές ικανότητες είναι εφοδιασμένα με έλικες σταθερού βήματος.

Οι έλικες μεταβλητού βήματος έχουν μεγαλύτερη πλύμνη σε σχέση με τις έλικες σταθερού βήματος, επειδή η πλύμνη πρέπει να έχει αρκετό χώρο για τον υδραυλικό μηχανισμό ελέγχου της γωνίας (βήματος) των πτερυγίων.

Οι έλικες μεταβλητού βήματος είναι σχετικά ακριβές, ίσως 3 με 4 φορές ακριβότερες σε σχέση με τις έλικες σταθερού βήματος. Επιπλέον, λόγω της μεγαλύτερης πλύμνης, η απόδοση της έλικας είναι ελαφρώς χαμηλότερη.

Οι έλικες μεταβλητού βήματος συνήθως χρησιμοποιούνται στα κρουαζιερόπλοια και στα ferries που απαιτούν υψηλές ελεγκτικές ικανότητες. Για τα συνηθισμένα πλοία, όπως τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, φορτίου χύδην και τα δεξαμενόπλοια, που πλέουν για μεγάλα χρονικά διαστήματα σε κανονική

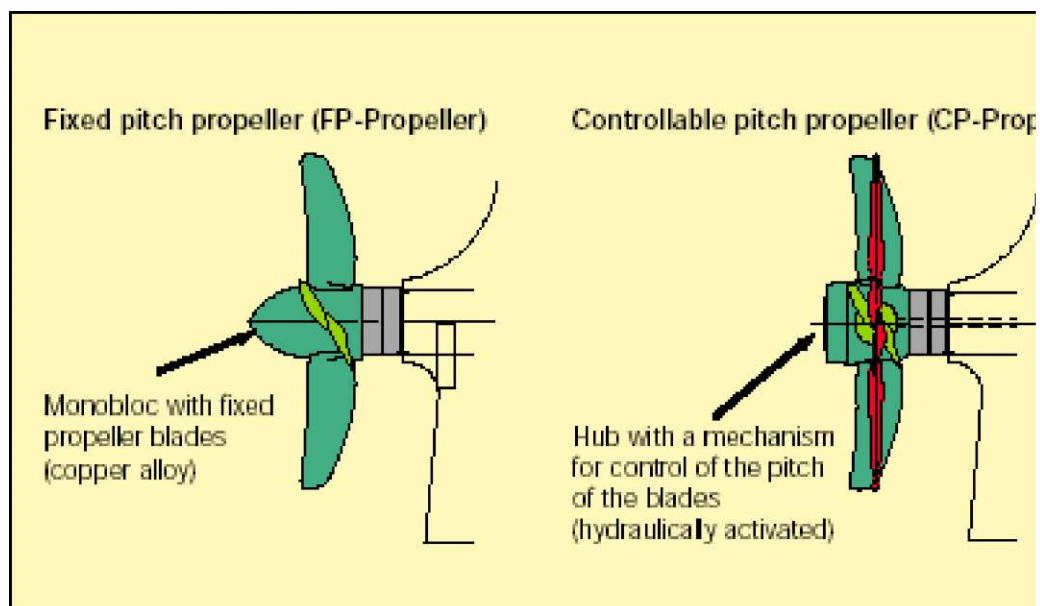
θάλασσα και με δεδομένη ταχύτητα, θα ήταν γενικά αντιοικονομικό να εγκατασταθούν έλικες μεταβλητού βήματος αντί για σταθερού.

Επίσης, μια έλικα μεταβλητού βήματος είναι πιο περίπλοκη και συνοδεύεται απο υψηλότερο ρίσκο εμφάνισης προβλημάτων κατα την λειτουργία.

Συντελεστής ποσοστού ομόρρου  $w$

Όταν το πλοίο κινείται, η τριβή της γάστρας θα δημιουργήσει μία λεγόμενη ζώνη τριβής ή οριακό στρώμα νερού γύρω από την γάστρα.

Στην ζώνη αυτή, η ταχύτητα του νερού στην επιφάνεια της γάστρας είναι ίση με αυτή του πλοίου, αλλά μειώνεται με την απόσταση από την επιφάνεια της γάστρας.



Σχήμα 9. Τύποι ελίκων. Αριστερά : Έλικα σταθερού βήματος (FPP). Δεξιά : Έλικα μεταβλητού βήματος (CPP).

Σε μία ορισμένη απόσταση από την γάστρα και, εξ' ορισμού, ίση με την απόσταση της εξωτερικής επιφάνειας της ζώνης τριβής, η ταχύτητα του νερού, σε σχέση με την περιβάλλουσα υδάτινη μάζα είναι ίση με μηδέν.

Το πάχος της ζώνης τριβής αυξάνει με την απόστασή του από το προωαίο τμήμα της γάστρας.

Η ζώνη τριβής είναι, λοιπόν, παχύτερη στο πρυμναίο άκρο της γάστρας και το πάχος της είναι σχεδόν ανάλογο με το μήκος του πλοίου [3].

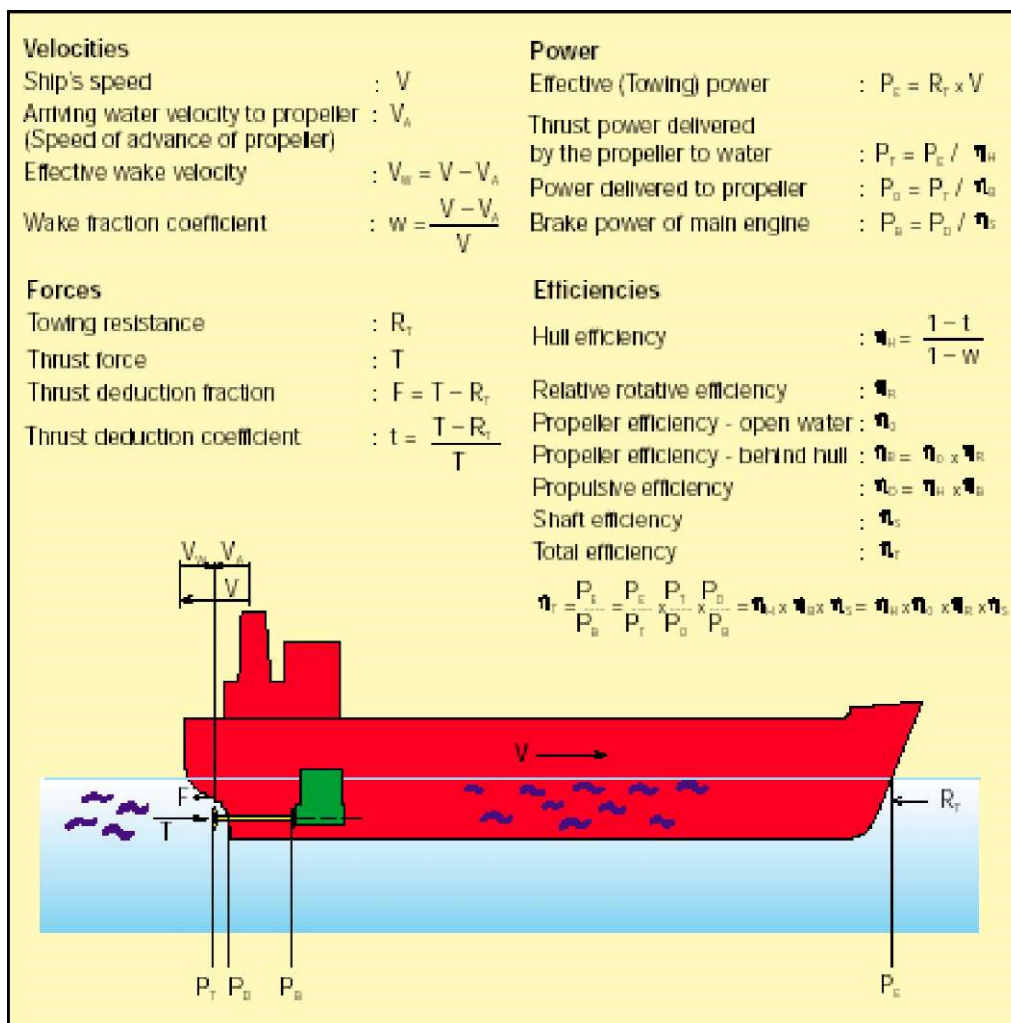
Αυτό σημαίνει ότι θα υπάρχει κάποια ταχύτητα του ομόρρου που προκαλείται από την τριβή κατά μήκος των πλευρών της γάστρας. Επιπλέον, το εκτοπιζόμενο νερό από το πλοίο θα προκαλέσει επίσης κύματα τόσο προς την πλώρα όσο και την πρύμνη. Όλα αυτά σημαίνουν ότι η έλικα πίσω από την γάστρα θα λειτουργεί σε ένα πεδίο ομόρρου. Συνεπώς, το νερό στην έλικα θα έχει μία πραγματική ταχύτητα ομόρρου  $V_w$ , που έχει την ίδια κατεύθυνση όπως και η ταχύτητα του πλοίου  $V$ , κυρίως λόγω του ομόρρου τριβής. Αυτό σημαίνει ότι η ταχύτητα με την οποία φθάνει το νερό στην έλικα  $V_A$  (ίση με την ταχύτητα προχώρησης της έλικας), εκφραζόμενη ως μέση ταχύτητα στον δίσκο της έλικας, είναι κατά  $V_w$  χαμηλότερη από την ταχύτητα του πλοίου  $V$ .

Η πραγματική ταχύτητα του ομόρρου στην έλικα είναι, συνεπώς, ίση με  $V_w = V - V_A$  και μπορεί να εκφρασθεί σε αδιάστατη μορφή μέσω του συντελεστή ποσοστού του ομόρρου  $w$ . Ο συνήθως χρησιμοποιούμενος συντελεστής ποσοστού ομόρρου  $w$  που δίνεται από τον Taylor

Η τιμή του συντελεστή ποσοστού ομόρρου εξαρτάται σημαντικά από το σχήμα της γάστρας αλλά επίσης και από την θέση της έλικας και το μέγεθος της και επηρεάζει σημαντικά την απόδοσή της.

Συντελεστής μείωσης ώσης  $t$

Η περιστροφή της έλικας προκαλεί την αναρρόφηση του νερό που βρίσκεται μπροστά της πίσω προς την έλικα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μία επιπλέον αντίσταση στην γάστρα που συνήθως ονομάζεται "αύξηση αντίστασης" (augment of resistance) ή, σε σχέση με την συνολική απαιτούμενη δύναμη ώσης  $T$  στην έλικα, "ποσοστό μείωσης ώσης"  $F$ , Σχήμα 10. Αυτό σημαίνει ότι η ώση  $T$  στην έλικα πρέπει να υπερνικήσει και την αντίσταση του πλοίου  $R$  και αυτή την "απώλεια ώσης"  $F$ .



Σχήμα 10. Η πρόωση του πλοίου - θεωρία [1].

Το ποσοστό μείωσης ώσης  $F$  μπορεί να εκφραστεί σε αδιάστατη μορφή μέσω του συντελεστή μείωσης ώσης  $t$ , που ορίζεται ως:

$$F = T - R_T \quad t = \frac{T - R_T}{T}$$

Το σχήμα της γάστρας μπορεί να έχει σημαντική επίδραση, για παράδειγμα, μία βολβοειδής πρόρα μπορεί, κάτω από ορισμένες συνθήκες (χαμηλές ταχύτητες πλοίου), να μειώσει το  $t$ . Το μέγεθος του συντελεστή μείωσης ώσης  $t$  για ένα πλοίο με μία έλικα κυμαίνεται, κανονικά, στην περιοχή από 0.12 έως 0.30, καθώς ένα πλοίο με ένα μεγάλο συντελεστή γάστρας έχει ένα μεγάλο συντελεστή μείωσης ώσης.

Για πλοία με δύο έλικες, ο συντελεστής μείωσης ώσης  $t$  θα είναι πολύ μικρότερος καθώς οι έλικες "αναρροφούν" μακρύτερα από την γάστρα.

## Ερωτήσεις ΕΛΙΚΑ

### 1. Προπέλα σημαίνει

- a) είναι ένας κινητήρας ο οποίος προκαλεί ώθηση
- b) αυτό που οδηγεί προς τα εμπρός
- c) αυτό που οδηγεί προς τα πίσω
- d) αυτό που οδηγεί προς οποιαδήποτε κατεύθυνση

### 2. πόσες έλικες μπορεί να έχει ένα πλοίο

- a) Μία
- b) Δύο
- c) Περισσότερες από 2
- d) Καμία

### 3. Οι έλικες σταθερού βήματος είναι ενιαία χυτά κομμάτια και συνήθως κατασκευάζονται απο

- a) Κράμα χαλκού
- b) Από σίδερο
- c) Από ατσάλι
- d) Από χρυσό

### 4. Στις έλικες σταθερού βήματος η θέση των πτερυγίων είναι

- a) Σταθερή
- b) Μεταβλητή
- c) Ενιαία

### 5. εφοδιασμένα με έλικες σταθερού βήματος είναι τα πλοία

- a) Που χρειάζονται καλές ελιγκτικές ικανότητες
- b) Που δεν χρειάζονται καλές ελιγκτικές ικανότητες
- c) Εμπορικά
- d) Φορτηγά

**6. Οι έλικες μεταβλητού βήματος συνήθως χρησιμοποιούνται στα**

- a) Κρουαζιερόπλοια και στα ferries
- b) Πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων
- c) Πολεμικά πλοία
- d) Πλωτά πλοία

**7. .Στην Κίνηση της έλικας με άξονα**

- a) οι έλικες ελέγχονται συνήθως από κινητήρες πρόωσης μεταβλητής ταχύτητας
- b) οι έλικες ελέγχονται συνήθως από κινητήρες πρόωσης σταθερής ταχύτητας
- c) η κίνηση γίνεται με μηχανικά υποσυστήματα
- d) υπάρχουν λιγότερες μηχανικές απώλειες

**8. Η κίνηση της έλικας με άξονα**

- a) εφαρμόζεται σε ντιζελοηλεκτρικά
- b) Μονο-αξονικές
- c) Ελεύθερο στρόβιλο ισχύος
- d) Εφαρμόζεται σε βενζινοκίνητα

**9. Οι έλικες μεταβλητού βήματος έχουν**

- a) μεγαλύτερη πλύμνη
- b) μικρότερη πλύμνη
- c) υδραυλικό μηχανισμό ελέγχου
- d) Στροβιλοαντιδραστήρες

**10. Οι έλικες μεταβλητού βήματος είναι**

- a) ακριβές, ίσως 3 με 4 φορές ακριβότερες σε σχέση με τις έλικες σταθερού βήματος
- b) φθηνές, ίσως 3 με 4 φορές φθηνότερες σε σχέση με τις έλικες σταθερού βήματος
- c) το ίδιο ακριβές με του σταθερού βήματος
- d) ελικοφόροι

**11. Όταν το πλοίο κινείται, η τριβή της γάστρας θα δημιουργήσει μία λεγόμενη ζώνη τριβής ή οριακό στρώμα νερού γύρω από την γάστρα.**

- a) Στην ζώνη αυτή, η ταχύτητα του νερού στην επιφάνεια της γάστρας είναι ίση με αυτή του πλοίου
- b) Στην ζώνη αυτή, η ταχύτητα του νερού στην επιφάνεια της γάστρας είναι μικρότερη από αυτή του πλοίου
- c) Στην ζώνη αυτή, η ταχύτητα του νερού στην επιφάνεια της γάστρας είναι μεγαλύτερη από αυτή του πλοίου

**12. Το πάχος της ζώνης τριβής**

- a) αυξάνει με την απόστασή του από το προωαίο τμήμα της γάστρας
- b) μειώνεται με την απόστασή του από το προωαίο τμήμα της γάστρας
- c) είναι ίσο με την απόστασή του από το προωαίο τμήμα της γάστρας
- d) τίποτα από τα παραπάνω

**13. Η ταχύτητα του ομόρρου προκαλείται από την τριβή**

- a) κατά μήκος των πλευρών της γάστρας
- b) κατά πλάτος των πλευρών της γάστρας
- c) δεν υπάρχει ταχύτητα
- d) τίποτα από τα παραπάνω

**14. το νερό στην έλικα θα έχει μία πραγματική ταχύτητα ομόρρου**

- a) έχει την ίδια κατεύθυνση όπως και η ταχύτητα του πλοίου
- b) έχει την αντίθετη κατεύθυνση όπως και η ταχύτητα του πλοίου
- c) δεν έχει καμία κατεύθυνση
- d) τίποτα από τα παραπάνω

**15. Η τιμή του συντελεστή ποσοστού ομόρρου εξαρτάται σημαντικά από**

- a) το σχήμα της γάστρας
- b) αέριο χαμηλής πίεσης
- c) συμπίεστής
- d) την έλικα



**16. Η περιστροφή της έλικας προκαλεί:**

- a) την αναρρόφηση του νερό που βρίσκεται μπροστά της πίσω προς την έλικα.
- b) την αναρρόφηση του νερό που βρίσκεται πίσω προς την έλικα.
- c) την αναρρόφηση του νερό που βρίσκεται στο πλάι απο την έλικα.
- d) Τίποτα από τα παραπάνω

**17. Το μέγεθος του συντελεστή μείωσης ώσης  $t$  αυξάνει όταν ο συντελεστής ποσοστού ομόρρου  $w$**

- a) αυξάνει
- b) μειώνεται
- c) παραμένει σταθερό

**18.Ο συνδυασμός κινητήρα E.P. με έλικα μεταβλητού βήματος (CPP) έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά**

- a) Γεννήτριες που τροφοδοτούν το δίκτυο σταθερής τάσης
- b) Γεννήτριες που τροφοδοτούν το δίκτυο μεταβλητής τάσης
- c) Οι έλικες στρέφονται από κινητήρες μεταβλητής ταχύτητας περιστροφής
- d) Πρόκειται για ένα πολύπλοκο ηλεκτρικό σύστημα.

**19.Έλικα ρυθμιζόμενου ή μεταβλητού βήματος**

- a) Το σύστημα είναι συχνά (ή θα έπρεπε να είναι) εφοδιασμένο με διάταξη αυτόματης επιλογής του συνδυασμού βήματος - στροφών έλικας στο διάστημα 65 - 100% των στροφών
- b) Το σύστημα δεν είναι εφοδιασμένο με διάταξη αυτόματης επιλογής του συνδυασμού βήματος - στροφών έλικας στο διάστημα 65 - 100% των στροφών
- c) Το σύστημα είναι συχνά (ή θα έπρεπε να είναι) εφοδιασμένο με διάταξη αυτόματης επιλογής του συνδυασμού βήματος - στροφών έλικας στο διάστημα μικρότερο των 65 - 100% των στροφών
- d) Το σύστημα είναι συχνά (ή θα έπρεπε να είναι) εφοδιασμένο με διάταξη αυτόματης επιλογής του συνδυασμού βήματος - στροφών έλικας στο διάστημα μεγαλύτερο των 65 - 100% των στροφών

## **20.Αναστροφή με χρήση ελίκων μεταβλητού βήματος**

- a) Με το σύστημα αυτό εφοδιάζονται συνήθως πλοία με μηχανές μέσου αριθμού στροφών, οι οποίες στρέφονται πάντα κατά την ίδια φορά
- b) Με το σύστημα αυτό εφοδιάζονται συνήθως πλοία με μηχανές μέσου αριθμού στροφών, οι οποίες στρέφονται πάντα κατά την αντίθετη φορά
- c) Είναι είτε φυγοκεντρικός
- d) Όλα τα παραπάνω

## Απαντήσεις για ΕΛΙΚΑ

ΕΡΩΤΗΣΗ 1 – b

ΕΡΩΤΗΣΗ 11 - a

ΕΡΩΤΗΣΗ 2 – c

ΕΡΩΤΗΣΗ 12 - a

ΕΡΩΤΗΣΗ 3 – a

ΕΡΩΤΗΣΗ 13 - a

ΕΡΩΤΗΣΗ 4 – a

ΕΡΩΤΗΣΗ 14 - a

ΕΡΩΤΗΣΗ 5 – b

ΕΡΩΤΗΣΗ 15 - a

ΕΡΩΤΗΣΗ 6 – a

ΕΡΩΤΗΣΗ 16 - a

ΕΡΩΤΗΣΗ 7 – b

ΕΡΩΤΗΣΗ 17 - a

ΕΡΩΤΗΣΗ 8 – c

ΕΡΩΤΗΣΗ 18 - c

ΕΡΩΤΗΣΗ 9 – a

ΕΡΩΤΗΣΗ 19 - d

ΕΡΩΤΗΣΗ 10 – a

ΕΡΩΤΗΣΗ 20 - d

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

- 1) ΙΩΑΝΝΗΣ ΚΑΛΟΓΗΡΟΥ ΙΩΑΝΝΗΣ ΓΕΩΡΓΟΥΔΑΚΗ ΚΑΙ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΜΑΥΡΙΔΗ ΒΙΒΛΙΟ : "ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ" ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΙΟΝ ΕΤΟΣ 2012
  - 2)ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Π. ΜΑΥΡΙΔΗΣ ΒΙΒΛΙΟ : "ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ" ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΙΟΝ ΕΤΟΣ 2012
  - 3)ΤΣΟΡΜΠΙΑΤΖΙΔΗΣ Α. ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΑΕΡΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ ΤΜΗΜΑ ΤΕΕΙ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
  - 4)ΤΣΟΡΜΠΙΑΤΖΙΔΗΣ Α. ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΕΡΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ ΤΜΗΜΑ ΤΕΕΙ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
  - 5)κ. ΒΑΡΕΛΗΣ ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΡΙΒΟΛΟΓΙΑΣ ΕΤΟΣ 2008
  - 6)ΙΝΤΕΡΝΕΤ ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΓΚΥΚΛΟΠΑΙΔΕΙΑ wikipedia
  - 7)[http://el.wikipedia.org/wiki/Μηχανή\\_εσωτερικής\\_καύσης](http://el.wikipedia.org/wiki/Μηχανή_εσωτερικής_καύσης)
  - 8)[http://el.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_Toyota](http://el.wikipedia.org/wiki/History_of_Toyota)
  - 9)<http://www.autotriti.gr/data/magazine/viewthema/35339.asp>
  - 10) <http://www.toyotanation.com>
  - 11) ΝΙΚΟΣ ΛΟΥΠΙΑΚΗΣ "ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ" αρθρο στο ιντερνετ
- 12) <http://www.in.gr/auto/cartechnology/technology>