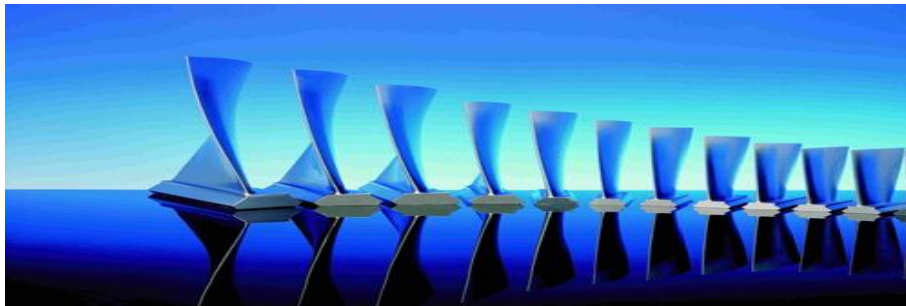




ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
Π.Μ.Σ. ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ

Η ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ
ΩΣ
ΜΕΣΟ ΠΡΩΣΗΣ
ΣΤΗΝ
ΕΜΠΟΡΙΚΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ



ΡΙΣΣΑΚΗ ΣΤΥΛΙΑΝΗ
Α.Μ.: ΜΝ/04028
4ΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΣΠΟΥΔΩΝ Π.Μ.Σ.

ΠΕΙΡΑΙΑΣ 2010

ΓΑΛΕΡΙΣΤΗΜΟ ΓΕΡΑΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Συστήματα αεριοστρόβιλων απλού ή συνδυασμένου κύκλου έχουν αρχίσει να διαδίδονται σε ναυτικές εφαρμογές. Στην εργασία αυτή θα κάνουμε μία περιγραφή των βασικών λειτουργικών αρχών του ναυτικού αεριοστρόβιλου και θα αναφέρουμε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που υπάρχουν κατά την επιλογή του ναυτικού αεριοστρόβιλου ως εγκατάσταση πρόωσης σε εμπορικά πλοία. Θα γίνει μία σύντομη αναφορά στους κινητήρες Diesel και τα χαρακτηριστικά τους έτσι ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των δύο συστημάτων πρόωσης.

Θα εξετάσουμε και θα αναπτύξουμε τη διαχρονική εφαρμογή των ναυτικών αεριοστρόβιλων στην εμπορική ναυτιλία με παραδείγματα πλοίων και διατάξεων (συμπεριλαμβανομένων των πρόσφατων turbo – electric ή και άλλων σύνθετων διατάξεων).

ABSTRACT

Simple or combined-circle gas turbines are of growing popularity nowadays if compared to alternative marine applications. In present thesis the basic functional principles of marine gas turbines will be presented, while same for the advantages and disadvantages of the selection of gas turbines as prime movers of merchant vessels. A brief intro regarding marine Diesel engines is also presented in this thesis assisting the comparison between the aforementioned propulsion plants.

Finally, some examples of implementation of marine gas turbines in merchant ships including some recent turbo – electric or other complex arrangements will be examined in further detail.

KEY WORDS

1. Πρόωση
2. Ναυτικοί αεριοστρόβιλοι
2. Gas turbines
3. Κινητήρας Diesel
4. Μηχανές Εσωτερικής Καύσης (ΜΕΚ)

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΑΙΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	Η ΠΡΟΩΣΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ	6
1.1.	Ιστορική ανασκόπηση	6
1.2.	Ειδικές κατηγορίες πλοίων	9
1.3.	Κύριες εγκαταστάσεις πρόωσης σήμερα	9
1.4.	Επιλογή κύριας μηχανής προώσεως	10
1.4.1.	Απαιτήσεις φορτίου	10
1.4.2.	Απαιτήσεις περιβάλλοντος	10
1.4.3.	Απαιτήσεις χρήσης	11
2.	ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΡΟΩΣΗΣ	12
2.1.1.	Κινητήρας Diesel (2-X, 4-X)	12
2.1.2.	Αεριοστρόβιλος	12
2.1.3.	Ατμοστρόβιλος	12
2.1.4.	Πυρηνική πρόωση	13
2.1.5.	Ηλεκτρική πρόωση	13
3.	ΝΑΥΤΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ DIESEL	15
3.1.	Βασικά χαρακτηριστικά μεγέθη	15
3.2.	Τύποι ναυτικών κινητήρων Diesel	15
3.3.	Τυπική διάταξη εγκατάστασης	16
4.	ΝΑΥΤΙΚΟΙ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΟΙ	17
4.1.	Ορισμός Στροβίλου	17
4.2.	Είδη Αεριοστρόβιλων	17
4.2.1.	Αεριοστρόβιλοι ανοικτού κυκλώματος	17
4.2.2.	Αεριοστρόβιλοι κλειστού κυκλώματος	18
4.2.3.	Αεριοστρόβιλοι για βιομηχανική χρήση	19

4.2.4.	Ηλεκτροπαραγωγικοί αεριοστρόβιλοι	19
4.2.5.	Αεριοστρόβιλοι για αεροπορική χρήση	20
4.2.6.	Ναυτικοί αεριοστρόβιλοι	20
4.3.	Βασικά στοιχεία ναυτικού αεριοστροβίλου	20
4.3.1.	Τμήμα εισαγωγής (inlet)	21
4.3.2.	Συμπιεστής (compressor)	21
4.3.3.	Θάλαμος καύσης (combustor)	21
4.3.4.	Στρόβιλος (turbine)	21
4.3.5.	Τμήμα εξαγωγής	21
4.4.	Βασικές αρχές λειτουργίας	23
4.5.	Βασικά χαρακτηριστικά μεγέθη	23
4.5.1.	Κύκλοι – Διαγράμματα	23
4.6.	Συνδυασμοί με κινητήρες άλλου τύπου	24
4.6.1.	Combined Diesel And Gas (CODAG)	25
4.6.2.	Combined Diesel Or Gas (CODOG)	27
4.6.3.	Combined Gas turbine and steam turbine (COGAS)	28
4.6.4.	Combined Gas turbine and steam turbine integrated Electric drive System (COGES)	29
4.7.	Πλεονεκτήματα	31
4.8.	Μειονεκτήματα	33
5.	ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ DIESEL VS- ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΩΝ	36
5.1.	Κόστος κτήσης και συντήρησης	37
5.2.	Αξιοπιστία και διαθεσιμότητα	38
5.3.	Κόστος καυσίμων και λειτουργίας	38
5.4.	Κραδασμοί, θόρυβος	39
5.5.	Κατανάλωση λιπαντέλαιων	40
5.6.	Εκπομπές καυσαερίων	40
5.7.	Σχεδίαση πλοίου	41
5.8.	Σχεδίαση εγκατάστασης πρόωσης	41

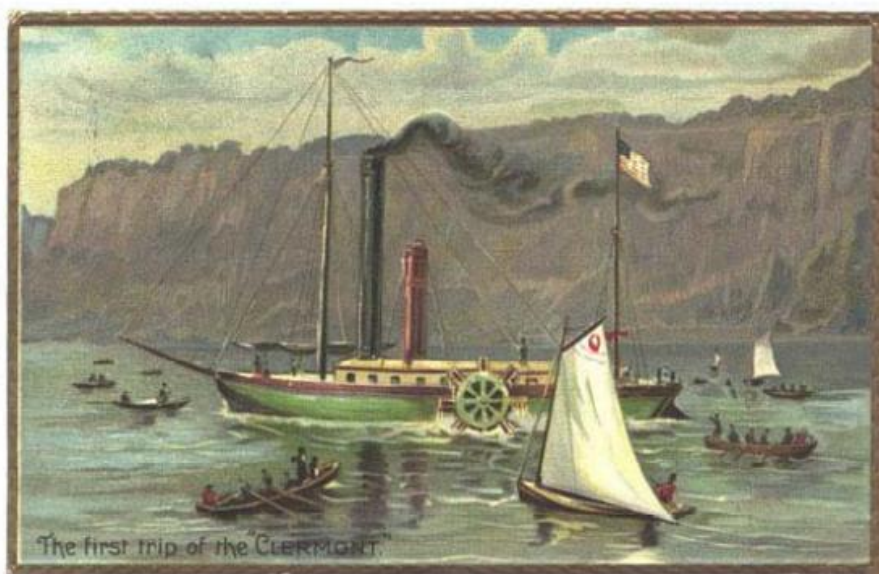
5.9.	Εγκατάσταση	41
6.	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ	42
6.1.	Εμπορικά πλοία	42
6.1.1.	Κρουαζιερόπλοια	42
6.1.2.	Ταχύπλοα επιβατηγά πλοία	46
6.1.3.	Φορτηγά πλοία	49
6.2.	Άλλες χρήσεις (Πολεμικά πλοία)	52
7.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	53
8.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	54
8.1.	Έγγραφα	54
8.2.	World Wide Web	55

1. Η ΠΡΩΣΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

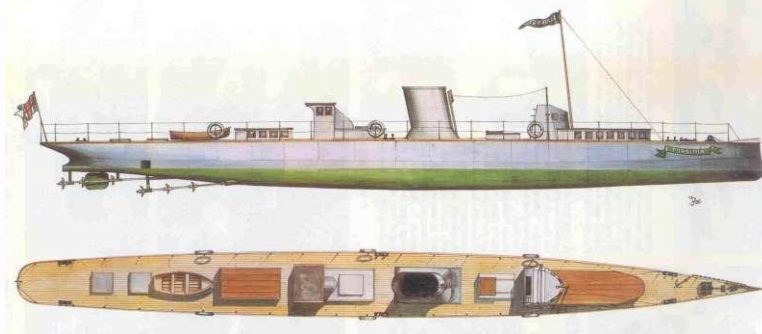
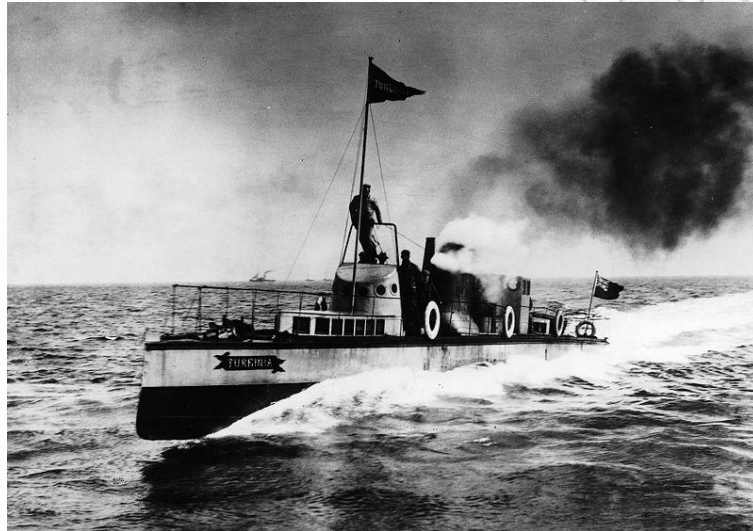
Αν και η Ναυπηγική επιστήμη δεν έχει αλλάξει ως προς τις βασικές αρχές της εδώ και χιλιάδες χρόνια δεν θα μπορούσαμε να ισχυριστούμε το ίδιο και για τα χρησιμοποιούμενα μέσα πρόωσης. Από τη χρήση των κουπιών και των ιστίων πέρασε στις ατμομηχανές, τους κινητήρες Diesel, στη χρήση ατμοστρόβιλων και αεριοστρόβιλων, ή συνδυασμούς των παραπάνω, έως σήμερα όπου η ηλεκτρική, ακόμα και η πυρηνική πρόωση, δεν είναι σπάνια.

1.1. Ιστορική ανασκόπηση

- 1807, S/S Clermont το πρώτο εμπορικά επιτυχημένο πλοίο με ατμομηχανή και τροχούς

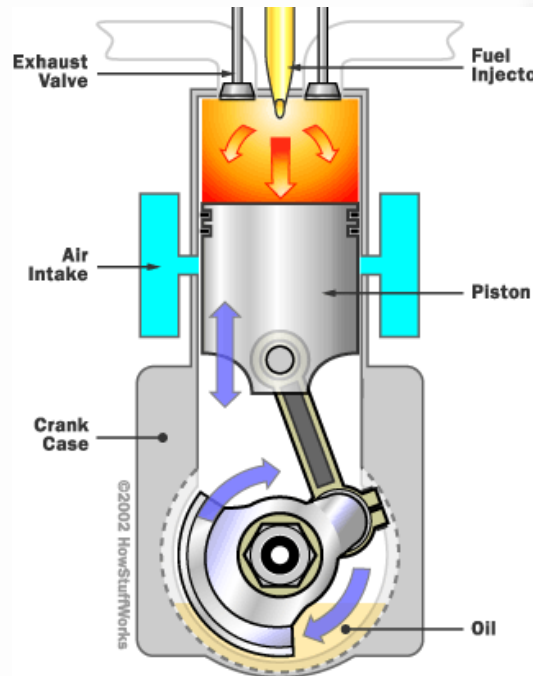


- 1837, Πρώτη χρήση της έλικας ως προωστήρα ναυτικών εγκαταστάσεων. Κινείται από παλινδρομική ατμομηχανή
- 1894, Κατασκευή του πειραματικού πλοίου TURBINIA με εγκατάσταση ατμοστρόβιλου από τον Charles Parsons



Σχ. 1-1: M/S "TURBINIA"

- 1892, Ο Rudolf Diesel πατεντάρισε την ομώνυμη μηχανή εσωτερικής καύσης



Σχ. 1-2: Τυπικό έμβολο κινητήρα Diesel

- 1910, Καθελκύεται το M/S “VULCANUS” ολλανδικό δεξαμενόπλοιο που είναι το ουσιαστικά το πρώτο πλοίο με εμπορική επιτυχία το οποίο κινείται με κινητήρα Diesel.
- 1911, Κατασκευάζεται το Δανέζικο φορτηγό πλοίο M/S “SELANDIA” που θέτει τις βάσεις για κατασκευή μεγάλων κινητήρων Diesel.
- 1942, Εγκατάσταση του πρώτου ναυτικού αεριοστροβίλου στη Βρετανική κανονιοφόρο MCB 2009
- 1959, Καθελκύστηκε το πρώτο πειραματικό πυρηνικό εμπορικό πλοίο, το νέο Savannah

1.2. Ειδικές κατηγορίες πλοίων

Η επιλογή της προωστήριας εγκατάστασης είναι άμεση συνάρτηση των απαιτήσεων σχεδίασης ενός πλοίου. Πλοία μεταφοράς επιβατών, κρουαζιερόπλοια, ή πλοία γραμμής, έχουν διαφορετικές απαιτήσεις από φορτηγά πλοία μεταφοράς φορτίου χύδην (Bulk Carriers) δεξαμενόπλοια, πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, ή ακόμα και πλοία του πολεμικού ναυτικού.

Παρακάτω θα αναφερθούμε στους παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή της προωστήριας εγκατάστασης κυρίως όσον αφορά στην επιλογή της Κύριας Μηχανής παρά στο ίδιο το μέσο πρόωσης που μπορεί να είναι διάφοροι τύποι ελίκων ή waterjet.

1.3. Κύριες εγκαταστάσεις πρόωσης σήμερα



Σχ. 1-3: Τυπική εγκατάσταση πρόωσης

Η επιλογή της εγκατάστασης πρόωσης απαιτεί τη συσχέτιση μεγάλου αριθμού μηχανημάτων και συσκευών με τέτοιο τρόπο ώστε να δημιουργείται ένα ενιαίο λειτουργικό σύνολο με ικανοποιητικό βαθμό απόδοσης, ασφαλή λειτουργία και αποδεκτό κόστος.

Οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη κατά τον σχεδιασμό της εγκατάστασης πρόωσης έχουν να κάνουν με: αξιοπιστία, ευχέρεια συντηρήσεως, καταλαμβανόμενος χώρος, βάρος εγκατάστασης, είδος και κατανάλωση καυσίμου, σχέση κύριας μηχανής και

βοηθητικών μηχανημάτων, δυνατότητα χειρισμών απαιτούμενο προσωπικό, κόστος αρχικής εγκατάστασης και συντήρησης περιορισμοί διατιθέμενης ιπποδύναμης.

Η επιλογή γίνεται από τα παρακάτω:

- Κινητήρας Diesel (2-X, 4-X)
- Αεριοστρόβιλος
- Ατμοστρόβιλος
- Συνδυασμός Diesel – αεριοστροβίλου / ατμοστροβίλου
- Πυρηνική πρόωση
- Ηλεκτρική πρόωση

1.4. Επιλογή κύριας μηχανής προώσεως

Για την επιλογή της κύριας μηχανής πρόωσης ενός πλοίου λαμβάνονται υπόψη παράγοντες που επηρεάζουν τις ακόλουθες κατηγορίες

1.4.1. *Απαιτήσεις φορτίου*

- Είδος πλοίου
- Κάλυψη απαιτήσεων ισχύος
- Σχεδιασμός έλικας
- Σχεδιασμός υποσυστημάτων (παροχής αέρα, ψύξεως, εκκίνησης, κλπ)

1.4.2. *Απαιτήσεις περιβάλλοντος*

- Είδος πλοίου – γεωμετρικοί περιορισμοί
- Ανάλυση δυναμικών φαινομένων

1.4.3. Απαιτήσεις χρήσης

- Βάρος εγκατάστασης, Κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας, συντήρησης, Αξιοπιστία
- Σχεδιασμός / επιλογή στοιχείων μετάδοσης ισχύος (αξονικού συστήματος, μειωτήρα, εδράνων)

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΡΑΧ

2. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΡΩΣΗΣ

2.1.1. *Κινητήρας Diesel (2-X, 4-X)*

Οι κινητήρες Diesel μετά από μακροχρόνια έρευνα κατέληξαν να αποτελούν σήμερα το σημαντικότερο μέσο πρόωσης των εμπορικών πλοίων συνδυάζοντας μεταξύ άλλων σχετικά υψηλό βαθμό απόδοσης, δυνατότητα λειτουργίας με βαριά καύσιμα (fuel oils) και μικρές ταχύτητες περιστροφής για απ' ευθείας κίνηση της έλικας.

2.1.2. *Αεριοστρόβιλος*

Στο παρελθόν δεν ήταν τόσο συχνή η επιλογή του αεριοστρόβιλου ως κύρια μηχανή πρόωσης λόγω του χαμηλού βαθμού απόδοσης του συστήματος. Τα τελευταία χρόνια όμως, κερδίζει έδαφος έναντι των κινητήρων Diesel σε ορισμένες κατηγορίες πλοίων σύγχρονης τεχνολογίας. Στην εργασία αυτή θα αναφερθούμε εκτενέστερα στους λόγους που συμβαίνει αυτό.

2.1.3. *Ατμοστρόβιλος*

Οι πρώτες προσπάθειες για πρόωση πλοίων με ατμό ξεκίνησαν στις αρχές του 19^{ου} αιώνα. Οι σημερινές ατμομηχανές διαφέρουν σημαντικά από τις πρώτες εφαρμογές οι οποίες ήταν παλινδρομικές μηχανές που χρησιμοποιούνταν σε ιστιοφόρα πλοία ως βοηθητικό μέσο πρόωσης. Με την ανακάλυψη του ατμοστρόβιλου και τις συνεχείς βελτιώσεις σε αυτή σταδιακά ο ατμοστρόβιλος αντικατέστησε τις προηγούμενες παλινδρομικές μηχανές. Η ραγδαία εξέλιξη των κινητήρων Diesel και τελευταία των αεριοστρόβιλων, είχε ως συνέπεια τη μείωση του αριθμού των νεότευκτων ατμοκίνητων πλοίων. Παρόλα αυτά χρησιμοποιούνται σε νηξελοκίνητα πλοία για παραγωγή

ηλεκτρικής ενέργειας με ανάκτηση θερμότητας από την κύρια μηχανή καθώς επίσης και σε συνδυασμό με αεριοστρόβιλους.

2.1.4. Πυρηνική πρόωση

Η πυρηνική ενέργεια είναι η πιο καινούργια μορφή ενέργειας που χρησιμοποιείται για την πρόωση των πλοίων την τελευταία εικοσαετία. Η αρχή λειτουργίας της πυρηνικής πρόωσης μοιάζει με την πρόωση με αμοστρόβιλους με ουσιαστική διαφορά ότι ο ατμός παράγεται από τη θερμότητα που εκλύεται από τις διασπάσεις που γίνονται στον πυρηνικό αντιδραστήρα.

Τα πλεονεκτήματα των πυρηνοκίνητων πλοίων είναι η μεγάλη αυτονομία, ο μικρός όγκος καυσίμου με καλύτερη εκμετάλλευση του χώρου του πλοίου, η ανεξαρτητοποίηση από την ανάγκη του ατμοσφαιρικού αέρα – ιδιαίτερα σημαντικό για τα υποβρύχια – και η ανυπαρξία καπνοδόχων και γενικότερα οχετών εισαγωγής – εξαγωγής αέρα.

2.1.5. Ηλεκτρική πρόωση

Η γενική διάταξη ενός συστήματος ηλεκτρικής πρόωσης απεικονίζεται στο Σχ. 2-1. Η κινητήρια μηχανή που μπορεί να είναι κινητήρας Diesel, αμοστρόβιλος ή αεριοστρόβιλος κινεί ηλεκτρογεννήτρια, που τροφοδοτεί με ρεύμα ηλεκτροκινητήρα. Αυτός κινεί την έλικα είτε απευθείας είτε μέσω μειωτήρα στροφών. Μπορεί να γίνει με συνεχές ή εναλλασσόμενο ρεύμα. Πλεονεκτήματα της ηλεκτρικής πρόωσης είναι οι εύκολοι χειρισμοί, η αναπόδιση ή η στάση γίνεται χωρίς αντίστοιχες λειτουργίες της κύριας μηχανής και σε περίπτωση χρήσης εναλλασσομένου ρεύματος δεν απαιτείται η ύπαρξη μειωτήρα στροφών.

Η εγκατάσταση αυτή μειονεκτεί λόγω της αυξημένης πολυπλοκότητας και του κόστους της. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται μόνο όταν τα πλεονεκτήματά της είναι πολύ σημαντικά για τη συγκεκριμένη εφαρμογή όπως σε σκάφη: (α) με υψηλές απαιτήσεις ελικτικών ικανοτήτων (π.χ. παγοθραυστικά, ωκεανογραφικά, πόντισης καλωδίων, ρυμουλκά κλπ), (β) με μεγάλη ισχύ βοηθητικών μηχανημάτων (π.χ. μεγάλα δεξαμενόπλοια, πυροσβεστικά, με ίδια μέσα φορτοεκφόρτωσης), (γ) με μεγάλα φορτία ενδιαίτησης και έντονη διακύμανση της ισχύος πρόωσης (π.χ. μεγάλα επιβατηγά και

κρουαζιερόπλοια) (δ) εξοπλισμένα με πολλές, ταχύστροφες, μη αναστρέψιμες μηχανές (αεριοστρόβιλοι και ταχύστροφες Diesel) και (ε) υποβρύχια και βαθυσκάφη.



Σχ. 2-1: Γενική διάταξη συστήματος ηλεκτρικής πρόωσης¹

¹ Ενεργειακά Συστήματα Πλοίου, Τεύχος Α', Χρ. Α. Φραγκόπουλος, ΕΜΠ, Αθήνα Ιούλιος 1996

3. ΝΑΥΤΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ DIESEL

3.1. Βασικά χαρακτηριστικά μεγέθη

Ο κινητήρας Diesel είναι μία εμβολοφόρος, θερμική, Μηχανή Εσωτερικής Καύσης (ΜΕΚ) που καλείται και πετρελαιομηχανή. Χρησιμοποιεί ως καύσιμα τα βαρύτερα της βενζίνης υγρά καύσιμα της κατηγορίας των πετρελαίων (που είναι λιγότερο πτητικά και φθηνότερα) όπως το καύσιμο diesel ή ακόμη, στους μέσων και μεγάλων διαστάσεων κινητήρες, το ελαφρύ ή βαρύ καύσιμο λεβήτων.

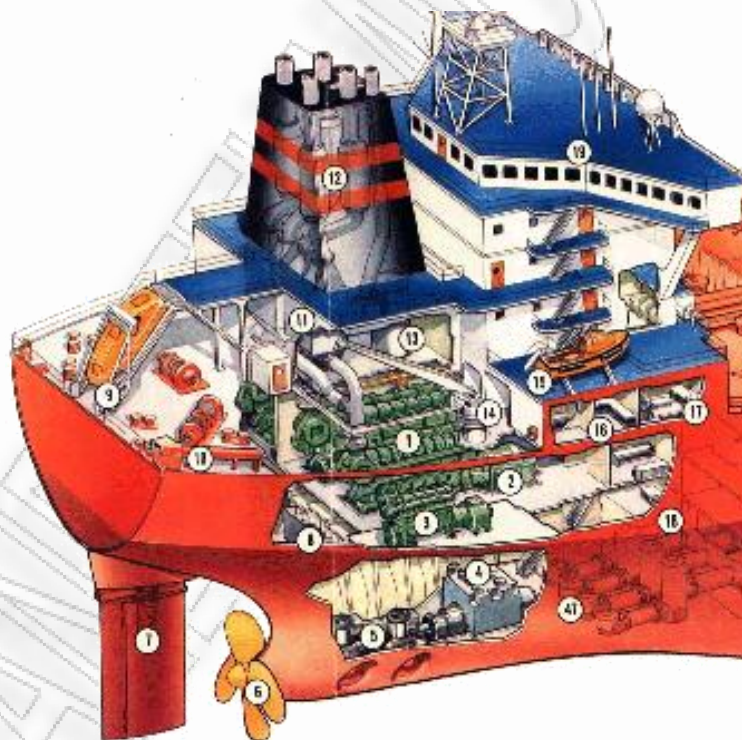
3.2. Τύποι ναυτικών κινητήρων Diesel

Παρακάτω θα αναφερθούμε συνοπτικά σε κάποια χαρακτηριστικά των κινητήρων Diesel, βάση των οποίων κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες:

- *2-X (δύχρονοι) ή 4-X(τετράχρονοι)* ανάλογα με τις διαδρομές (χρόνους) του εμβόλου σε ένα κύκλο λειτουργία.
- *Με φυσική αναπνοή ή υπερπληρωμένοι (Turbo – Charged)*. Σήμερα οι περισσότεροι ναυτικοί κινητήρες είναι υπερπληρωμένοι λόγω της μεγαλύτερης συγκέντρωσης ισχύος και του καλύτερου βαθμού απόδοσης.
- *Αριθμός και η διάταξη των κυλίνδρων*. Σε σειρά, κατακόρυφα, L, τοποθετούνται οι κύλινδροι των Βραδύστροφων (μέχρι 12 κύλινδροι) και των Μεσόστροφων (μέχρι 10 κύλινδροι) κινητήρων, ενώ σε διάταξη V τοποθετούνται οι κύλινδροι των Μεσόστροφων και Ταχύστροφων κινητήρων (μέχρι 20 κύλινδροι). Οι διατάξεις αντιθέτων εμβόλων, ακτινωτές ή σε Δ με αντίθετα έμβολα χρησιμοποιούνται σπανιότερα.

- Η διάμετρος και η διαδρομή του εμβόλου ή ο όγκος εμβολισμού
- Με βάκτρο και ζύγωμα – διωστήρα – στρόφαλο (κυρίως 2-Χ κινητήρες) ή μόνο με διωστήρα – στρόφαλο.
- Αριθμός στροφών ανά πρώτο λεπτό, RPM. Διακρίνονται σε Βραδύστροφους (54 – 250 RPM) που είναι κυρίως 2-Χ, Μεσόστροφους (400 – 750/1000 RPM) – είναι συνήθως 4-Χ – και σε Ταχύστροφους (1000 – 2500/3000 RPM) – είναι όλοι 4-Χ.

3.3. Τυπική διάταξη εγκατάστασης



Σχ. 3-1: Τυπική διάταξη μηχανοστασίου σε πλοίο με κινητήρα Diesel

4. ΝΑΥΤΙΚΟΙ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ

4.1. Ορισμός Στροβίλου

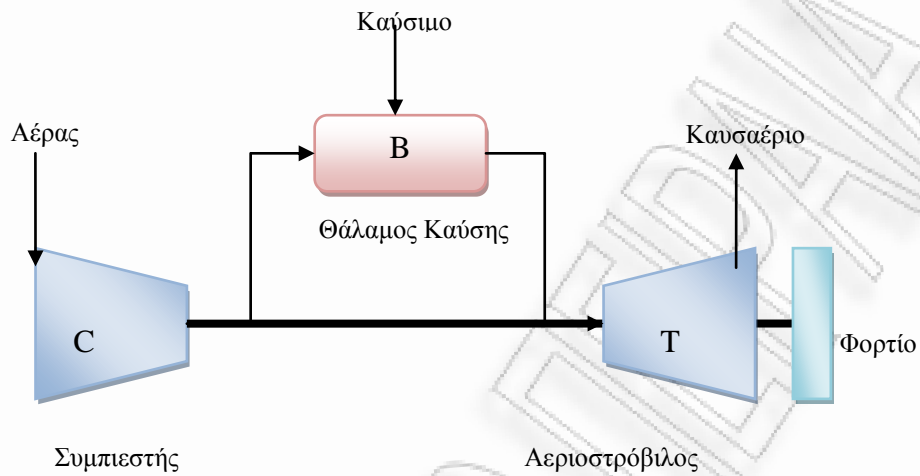
Ο στρόβιλος είναι ένας τροχός που απορροφά κινητική ενέργεια από ένα ρεύμα ρευστού. Το νερό, ο ατμός, ο αέρας είναι κάποια από αυτά τα ρευστά. Οι στρόβιλοι μπορεί να έχουν τη μορφή ενός ανεμόμυλου, π.χ. ο υδροστρόβιλος ενός υδροηλεκτρικού φράγματος, ή να είναι πιο πολύπλοκοι όπως οι στρόβιλο-ανεμιστήρες που βρίσκονται κάτω από τα φτερά ενός αεροπλάνου.

4.2. Είδη Αεριοστροβίλων

Με κριτήριο τη ροή του εργαζόμενου μέσου - ρευστού διακρίνονται σε:

4.2.1. *Αεριοστρόβιλοι ανοικτού κυκλώματος*

Ο συμπιεστής αναρροφά αέρα από την ατμόσφαιρα, και τα καυσαέρια αποβάλλονται στην ατμόσφαιρα όπως φαίνεται σχηματικά στο (Σχ. 4-1). Είναι μηχανή εσωτερικής καύσης με ιδιαίτερες απαιτήσεις ως προς την ποιότητα του καυσίμου.

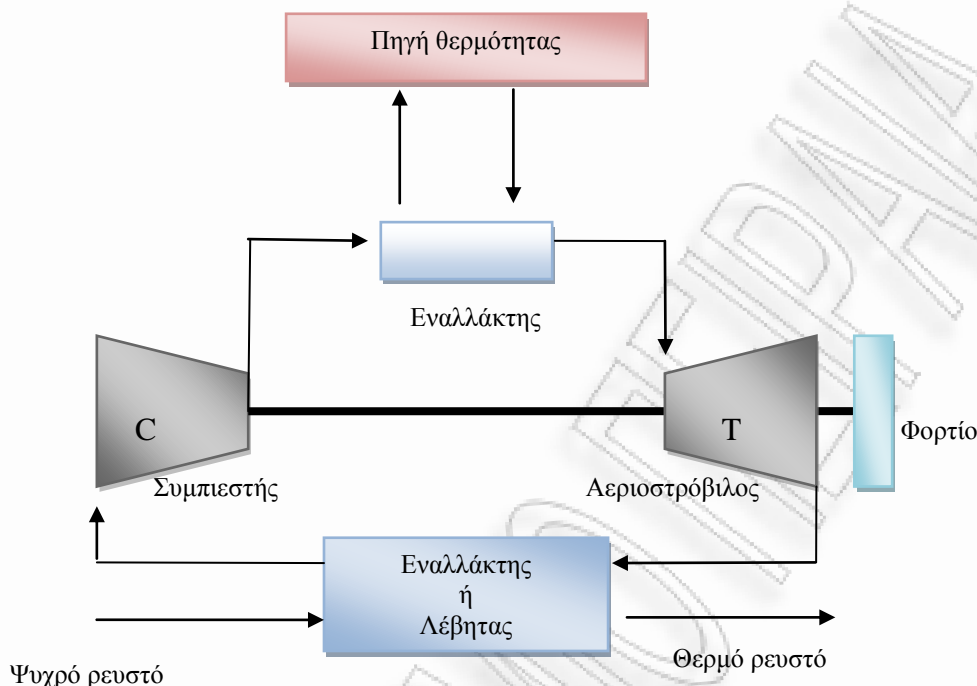


Σχ. 4-1: Απλή μονάδα αεριοστρόβιλου ανοικτού κυκλώματος.

4.2.2. Αεριοστρόβιλοι κλειστού κυκλώματος

Το εργαζόμενο ρευστό είναι αέρας, ή άλλο αέριο (συνήθως ήλιο), που δεν συμμετέχει στην καύση. Θερμαίνεται σε εναλλάκτη θερμότητας πριν από την είσοδό του στον στρόβιλο και ψύχεται μετά την έξοδό του από αυτόν (

Σχ. 4-2). Είναι ΜΕΚ. Καθώς το εργαζόμενο ρευστό δε συμμετέχει στην καύση, διατηρείται καθαρό και έτσι αποφεύγεται η μηχανική και χημική διάβρωση του στρόβιλου από τα προϊόντα της καύσης. Επιπλέον, η εξωτερική καύση επιτρέπει τη χρήση οποιουδήποτε καυσίμου.



Σχ. 4-2: Απλή μονάδα αεριοστρόβιλου κλειστού κυκλώματος.

Ανάλογα με την εφαρμογή τους οι αεριοστρόβιλοι διακρίνονται σε:

4.2.3. Αεριοστρόβιλοι για βιομηχανική χρήση

Έχουν χρησιμοποιηθεί κυρίως στη βιομηχανία χημικών προϊόντων και πετρελαίου. Διακρίνονται για την ισχυρή και βαριά κατασκευή τους και είναι κατάλληλοι να λειτουργούν επί μεγάλα χρονικά διαστήματα χωρίς διακοπή..

4.2.4. Ηλεκτροπαραγωγικοί αεριοστρόβιλοι

Χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Την τελευταία δεκαετία η αγορά αεριοστρόβιλων για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έχει αυξηθεί σημαντικά. Λόγω της μεγάλης απόδοσης (σχεδόν 40%), της γρήγορης εκκίνησης, του χαμηλού κόστους κτήσης και λειτουργίας, και της καθαρής καύσης με χαμηλά επίπεδα ρύπων οι αεριοστρόβιλοι έχουν γίνει το επικρατέστερο μέσο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως.

4.2.5. Αεριοστρόβιλοι για αεροπορική χρήση

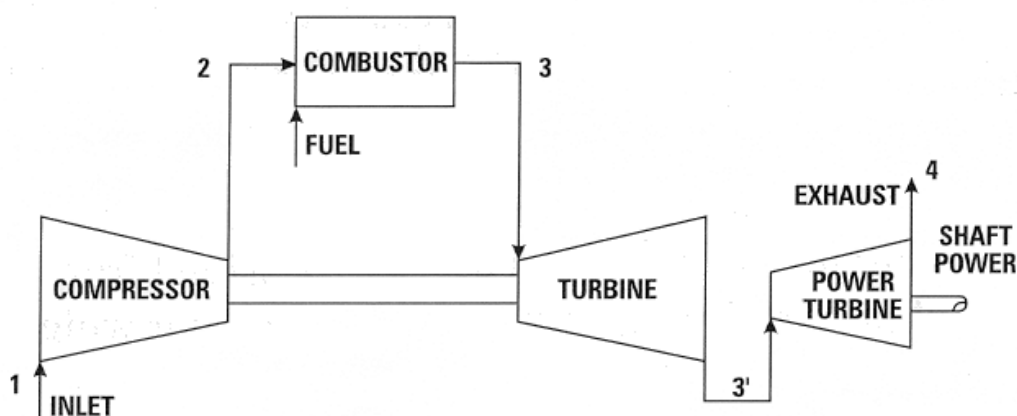
Είναι πολύ ελαφρύτεροι από τους βιομηχανικούς και είναι κατάλληλοι για έντονες διακυμάνσεις φορτίου με συχνές εκκινήσεις και παύσεις λειτουργίας. Χρησιμοποιούνται στην αεροπορική βιομηχανία και χωρίζονται σε αεριοστρόβιλους, στροβιλο-αντιδραστήρες (turbojet), στροβιλο – ανεμιστήρες (turbofan) ή στροβιλο – ελικοφόροι (turboprop).

4.2.6. Ναυτικοί αεριοστρόβιλοι

Οι ναυτικοί αεριοστρόβιλοι αποτελούν προσαρμογές των αεριοστρόβιλων για αεροπορική χρήση (aeroderivatives) σε ναυτικές εγκαταστάσεις. Η προσαρμογή συνίσταται στην προσθήκη του στροβίλου ισχύος για την απορρόφηση της κινητικής ενέργειας των καυσαερίων και στην προστασία των υλικών από τη διάβρωση λόγω θαλάσσιου περιβάλλοντος. Χαρακτηριστική είναι η ιδιαίτερα ελαφριά κατασκευή τους. Συνήθως είναι ανοικτού κυκλώματος.

4.3. Βασικά στοιχεία ναυτικού αεριοστρόβιλου

Στη συνέχεια θα αναφερθούμε στα βασικά στοιχεία του ναυτικού αεριοστρόβιλου όπως φαίνονται σχηματικά στο Σχ. 4-3 που ακολουθεί.



Σχ. 4-3: Σχηματική απεικόνιση αεριοστρόβιλου όπου φαίνονται τα σχετικά σημεία από το διάγραμμα του κύκλου Brayton

4.3.1. *Τμήμα εισαγωγής (inlet)*

Προσαρμόζει τον αέρα που εισέρχεται στη μηχανή στις απαιτήσεις του συμπιεστή σε όλες τις συνθήκες λειτουργίας. Οι κυριότερες απαιτήσεις είναι η καθαρότητα, κατακράτηση σωματιδίων, κατάλληλη πίεση και ταχύτητα κλπ.

4.3.2. *Συμπιεστής (compressor)*

Συμπιέζει τον ατμοσφαιρικό αέρα σε πίεση 5 έως 20 ατμοσφαιρών. Μπορεί να είναι είτε αξονικός, είτε φυγοκεντρικός, είτε παλινδρομικός (πιο σπάνια) και παίρνει κίνηση από στρόβιλο ο οποίος συνδέεται με αυτόν με ένα άξονα.

4.3.3. *Θάλαμος καύσης (combustor)*

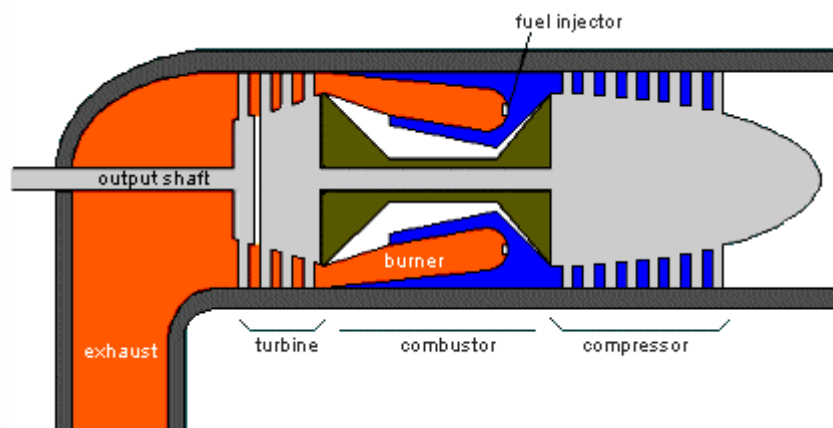
Εδώ γίνεται η καύση του καυσίμου με τον παρεχόμενο αέρα από τον συμπιεστή και παράγεται καυσαέριο υψηλής πίεσης και ταχύτητας.

4.3.4. *Στρόβιλος (turbine)*

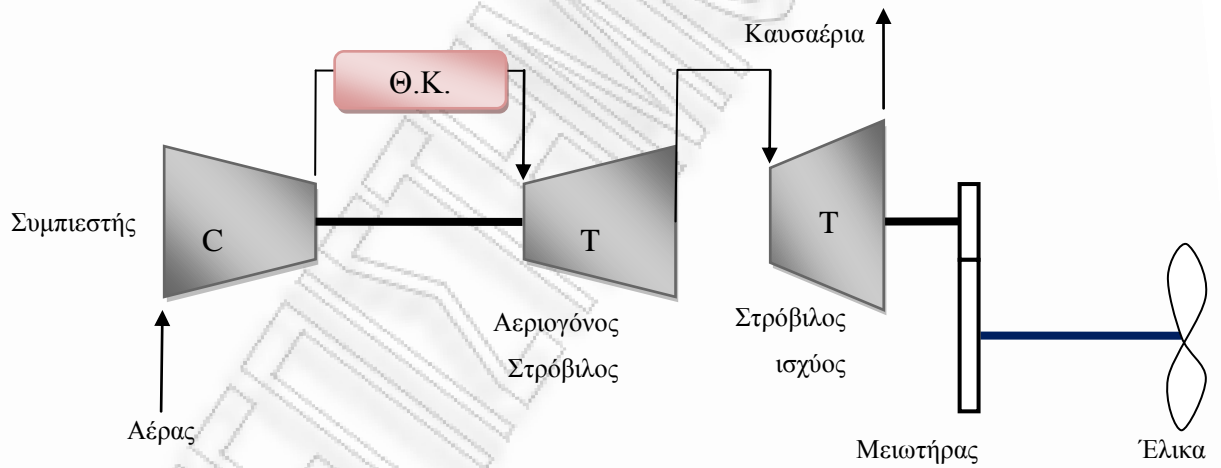
Είναι το τμήμα της μηχανής όπου παράγεται το ωφέλιμο μηχανικό έργο λόγω της εκτόνωσης των καυσαερίων μέχρι την ατμοσφαιρική πίεση. Ο στρόβιλος είναι είτε αξονικός είτε φυγοκεντρικός (σπάνια). Σε ναυτικές εγκαταστάσεις αποτελείται συνήθως από δύο τμήματα στροβίλων σε σειρά. Ο πρώτος από αυτούς ονομάζεται **στρόβιλος υψηλής πίεσης** ή **στρόβιλος αεριογόνου** και χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την κίνηση του συμπιεστή με τον οποίο συνδέεται με κοινό άξονα. Ο δεύτερος στρόβιλος που ονομάζεται **στρόβιλος χαμηλής πίεσεως**, κινείται από τα καυσαέρια εξαγωγής του στροβίλου υψηλής πίεσης και περιστρέφει τον ελικοφόρο άξονα ή την ηλεκτρογεννήτρια.

4.3.5. *Τμήμα εξαγωγής*

Εξαρτάται από τη χρήση της μηχανής. Σε ναυτικούς κινητήρες έχει τη μορφή στροβίλου χαμηλής πίεσεως, όπως αναφέρεται παραπάνω ή μειωτήρα στροφών που μετατρέπει της υψηλές στροφές του στροβίλου σε πιο κατάλληλη ταχύτητα για την έλικα.



Σχ. 4-4: Σχηματική αναπαράσταση βασικών στοιχείων ναυτικού αεριοστροβίλου σε τομή



Σχ. 4-5: Τυπική εγκατάσταση ναυτικού αεριοστροβίλου αποτελούμενο από αεριογόνιο (αεροσυμπιεστή – θάλαμο καύσης – στρόβιλο) και Στρόβιλο ισχύος με μειωτήρα.

4.4. Βασικές αρχές λειτουργίας

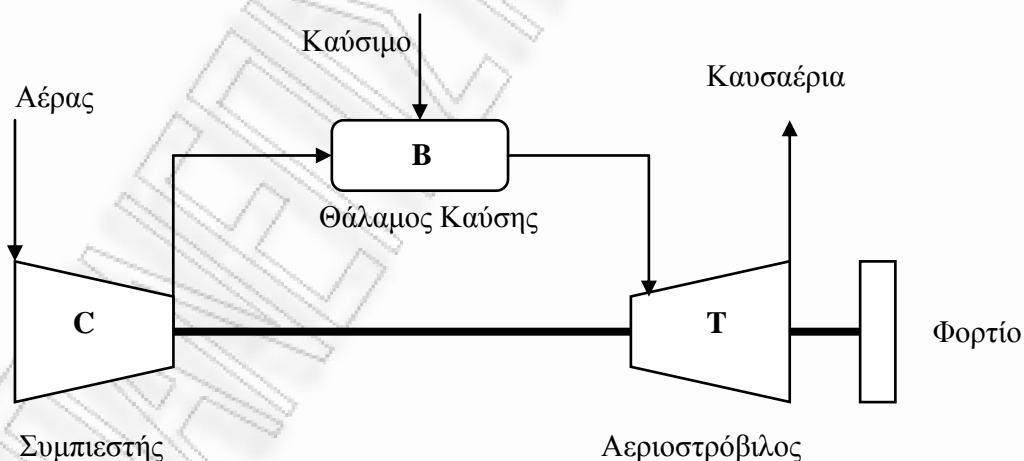
Οι στροβιλομηχανές είναι μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ) με διαδικασία συνεχούς καύσης σε αντίθεση με τους κινητήρες Diesel στους οποίους η διαδικασία καύσης είναι διακοπτόμενη.

4.5. Βασικά χαρακτηριστικά μεγέθη

4.5.1. Κύκλοι – Διαγράμματα

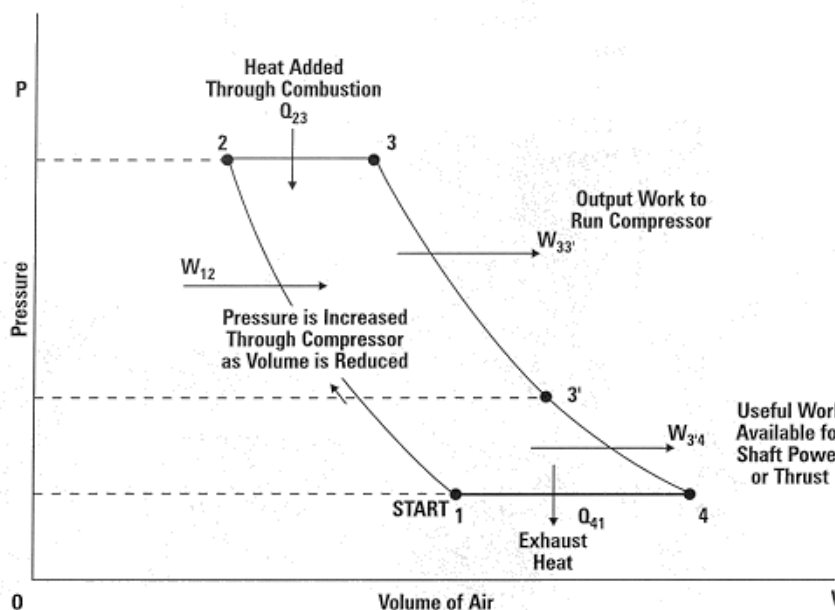
Ο κύκλος λειτουργίας περιγράφει τι συμβαίνει στο εργαζόμενο μέσο, συνήθως τον αέρα, καθώς μπαίνει, διέρχεται και βγαίνει από τον αεριοστρόβιλο.

Ανοιχτού κύκλου (Open Cycle): οι περισσότεροι ναυτικοί αεριοστρόβιλοι είναι ανοιχτού κύκλου όπου χρησιμοποιείται ατμοσφαιρικός αέρας, ως εργαζόμενο μέσο. Ο συμπιεστής αναρροφά ατμοσφαιρικό αέρα από τη ατμόσφαιρα, και τα καυσαέρια αποβάλλονται στην ατμόσφαιρα όπου ψύχονται φυσικά, όπως φαίνεται σχηματικά στο Σχ. 4-6. Τα σύστημα ονομάζεται και αεριοστρόβιλος **απλού κύκλου**.



Σχ. 4-6: Απλή μονάδα αεριοστρόβιλου ανοικτού κυκλώματος

Η προσπάθεια βελτίωσης των χαρακτηριστικών συμπεριφοράς, δηλαδή η ισχύς, ο βαθμός απόδοσης και η συγκέντρωση ισχύος, με βελτίωση των παραμέτρων που τις επηρεάζουν οδήγησε σε θαυματικά αποτελέσματα. Όμως είναι δυνατή η βελτίωση των χαρακτηριστικών με πρόσθετο εξοπλισμό που οδηγεί σε παραλλαγές του απλού κύκλου. Έτσι η διάταξη μπορεί να περιλαμβάνει ενδιάμεση ψύξη του αέρα, αναθέρμανση του καυσαερίου, αναγεννητική προθέρμανση του αέρα με θερμότητα από τα καυσαέρια και συνδυασμούς των προηγούμενων.



Σχ. 4-7: Διάγραμμα Πίεσης – Όγκου κύκλου Brayton

Συνήθως χρησιμοποιείται σε αεροπλάνα. Σε ναυτικές ή εγκαταστάσεις ξηράς μπορεί να προστεθούν και άλλα συστήματα που αυξάνουν την απόδοση ή την αποδιδόμενη ισχύ όπως για παράδειγμα η αναθέρμανση.

4.6. Συνδυασμοί με κινητήρες άλλου τύπου

Ο αεριοστρόβιλος, σαν κινητήρας, μπορεί εύκολα να συνδυαστεί με άλλες μηχανές για την πρόωση των πλοίων. Οι λόγοι για τους οποίους έχουν αναπτυχθεί οι συνδυασμοί αυτοί ποικίλλουν. Εξαιτίας του υψηλού κόστους ανάπτυξης, οι αεριοστρόβιλοι

κατασκευάζονται σε λίγα διακεκριμένα μεγέθη με αισθητή διαφορά ισχύος από το ένα μέγεθος στο επόμενο. Προκειμένου να ικανοποιηθούν ενδιάμεσες ή μεγαλύτερες απαιτήσεις ισχύος είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί συνδυασμός δύο ή περισσότερων μηχανών ίδιας ή και διαφορετικής ισχύος. Επιπλέον, ο βαθμός απόδοσης του αεριοστρόβιλου είναι σημαντικά μικρός σε μερικά φορτία. Όταν γίνεται χρήση περισσότερων μηχανών τίθενται κάθε φορά σε λειτουργία τόσες όσες χρειάζονται έτσι ώστε η κάθε μία να λειτουργεί κοντά στην ονομαστική της ισχύ και επομένως σε περιοχή υψηλού βαθμού απόδοσης.

Η χρησιμοποίηση των συνδυασμών αεριοστρόβιλων με άλλους κινητήρες ως κύριες προωστικές μηχανές επηρεάζει ένα εύρος ιδιοτήτων όπως η αποδοτικότητα του συστήματος, το βάρος και ο όγκος της εγκατάστασης, τα κόστη κτήσης, συντήρησης και επισκευής και, τέλος διάφορα λειτουργικά θέματα και η έναρξη του συστήματος.

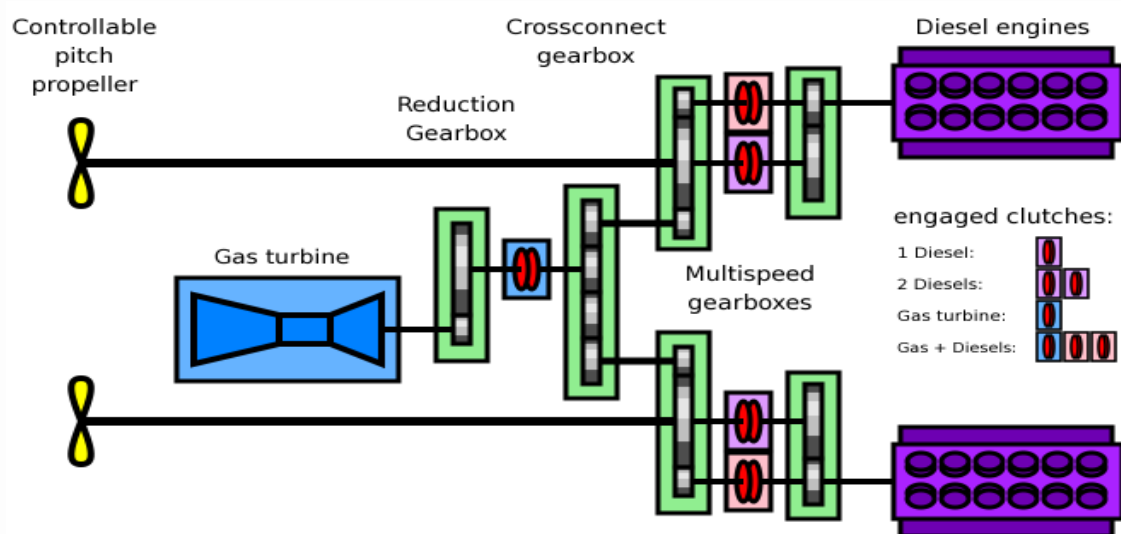
Παρακάτω θα αναφερθούμε στη χρησιμοποίηση των αεριοστρόβιλων σε συνδυασμό με άλλες μηχανές, που χρησιμοποιούνται μαζί ή χωριστά, η οποία παρουσιάζει πλεονεκτήματα σε κάποιες περιπτώσεις.

4.6.1. Combined Diesel And Gas (CODAG)

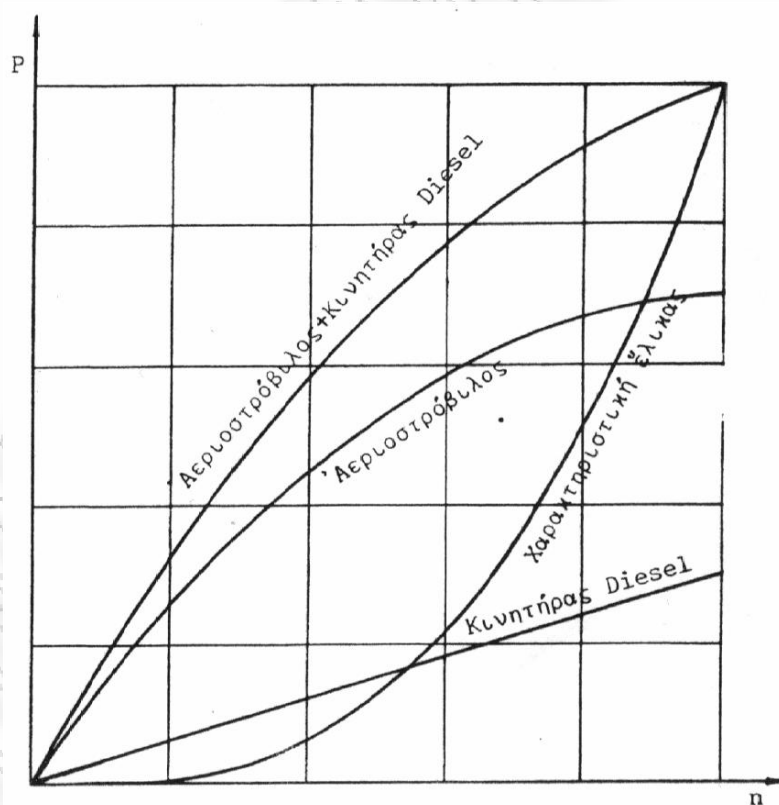
Χρησιμοποιείται σε πλοία όπου η μέγιστη ταχύτητα είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την ταχύτητα υπηρεσίας όπως τα πολεμικά πλοία (φρεγάτες ή κορβέτες).

Πρόκειται για εφαρμογή ταυτόχρονης λειτουργίας αεριοστρόβιλου και κινητήρα Diesel. Σε αυτή την περίπτωση, λειτουργεί στο πλήρες φορτίο ο αεριοστρόβιλος και ο κινητήρας Diesel, ενώ σε χαμηλές ισχύς λειτουργεί μόνο ο κινητήρας Diesel. Ένα τέτοιο σύστημα πρόωσης καταλαμβάνει μικρότερο όγκο από μία εγκατάσταση μόνο με κινητήρες ντίζελ για την ίδια αποδιδόμενη ισχύ όμως απαιτείται πιο περίπλοκα μηχανήματα μείωσης στροφών.

Η τυπική ταχύτητα υπηρεσίας σε πολεμικά πλοία με τέτοιες εγκαταστάσεις είναι 20 kts ενώ η μέγιστη είναι 30 kts.



Σχ. 4-8: Σχηματικό διάγραμμα εγκατάστασης CODAG με μειωτήρες στροφών πολλαπλής μείωσης.

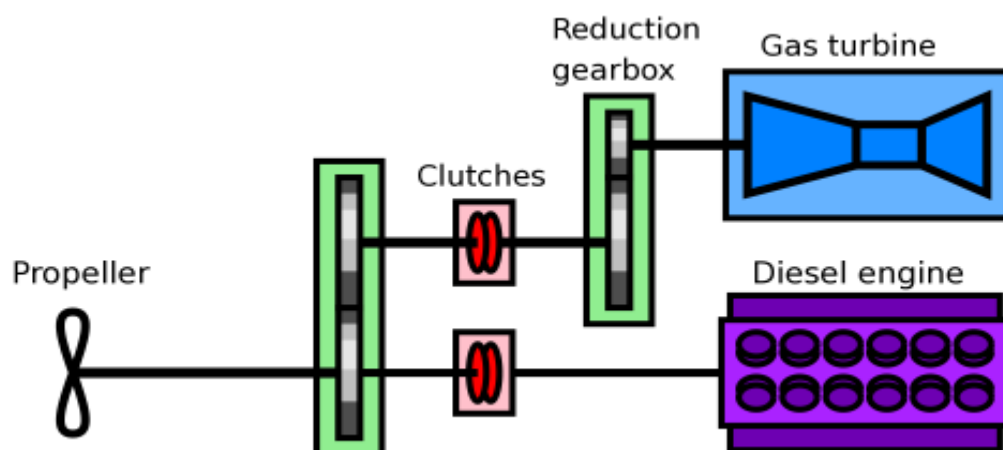


Σχ. 4-9: Χαρακτηριστική ισχύος –στροφών συστήματος CODAG (Diesel – Αεριοστρόβιλου)

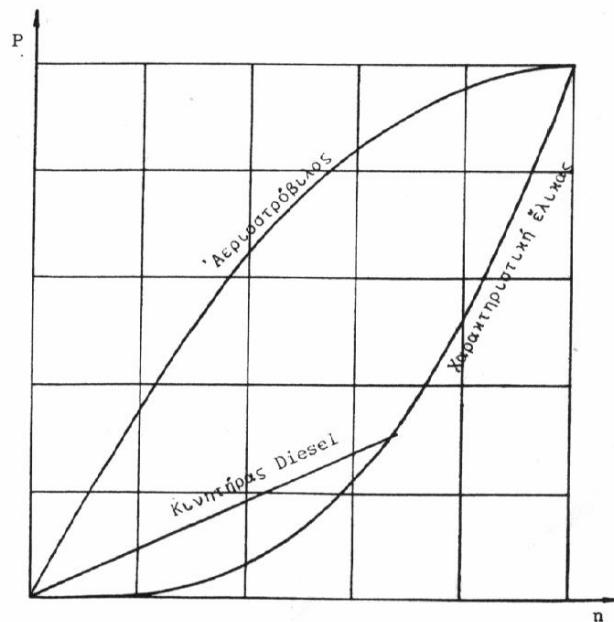
4.6.2. Combined Diesel Or Gas (CODOG)

Και αυτή η διάταξη, όπως και η προηγούμενη, χρησιμοποιείται σε πλοία όπου η μέγιστη ταχύτητα είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την ταχύτητα υπηρεσίας όπως τα πολεμικά πλοία (φρεγάτες ή κορβέτες).

Σε αυτή την περίπτωση η εγκατάσταση πρόωσης αποτελείται από αεριοστρόβιλο και κινητήρα Diesel. Για κάθε ελικοφόρο άξονα υπάρχει ένας κινητήρας Diesel που λειτουργεί μόνος του σε χαμηλές στροφές, και ένας αεριοστρόβιλος με συμπλέκτη ο οποίος λειτουργεί στο πλήρες φορτίο. Και οι δύο κινητήρες είναι συνδεδεμένοι με τον ελικοφόρο άξονα με συμπλέκτες και λειτουργούν ο ξεχωριστά κάθε φορά, σε αντίθεση με τα συστήματα CODAG στα οποία γίνεται χρήση της συνδυασμένης αποδιδόμενης ισχύος και των δύο κινητήρων. Το πλεονέκτημα του συστήματος CODOG, σε σχέση με αυτό τις προηγούμενης παραγράφου, είναι ο απλούστερος συμπλέκτης αλλά χρειάζεται πιο ισχυρό ή και περισσότερους αεριοστρόβιλους για την ίδια μέγιστη αποδιδόμενη ισχύ και επιπλέον η κατανάλωση καυσίμου σε υψηλές ταχύτητες είναι ακόμα χειρότερη σε σχέση με το σύστημα CODAG.



Σχ. 4-10: Σχηματικό διάγραμμα εγκατάστασης CODOG



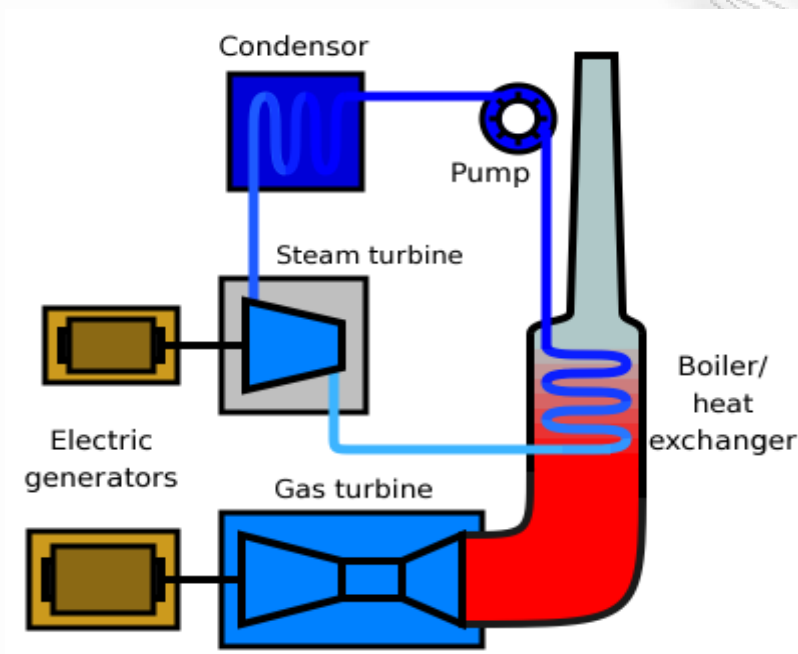
4-11: : Χαρακτηριστικές ισχύος –στροφών συστήματος CODOG

4.6.3. *Combined Gas turbine And Steam turbine (COGAS)*

Το συνδυασμένο σύστημα αεριοστρόβιλου και ατμού, COGAS, περιγράφει εγκαταστάσεις πρόωσης που αποτελούνται από αεριοστρόβιλο και ατμοστρόβιλο. Σε αυτό το μεγαλύτερο μέρος τις θερμότητας των καυσαερίων του αεριοστρόβιλου ανακτάται και παράγεται ατμός που κινεί τον ατμοστρόβιλο. Με αυτόν τον τρόπο, μέρος από την, ούτως ή άλλως, χαμένη ενέργεια ανακτάται μειώνοντας έτσι την ειδική κατανάλωση καυσίμου της εγκατάστασης. Σε μεγάλες ηλεκτροπαραγωγές εγκαταστάσεις ξηράς στις οποίες χρησιμοποιείται το σύστημα COGAS μπορούν να επιτευχθούν αποδόσεις μεγαλύτερες από 58%.

Η διαφορά του συστήματος COGAS από πολλά άλλα συστήματα πρόωσης συνδυασμένου κύκλου είναι ότι δεν έχει φτιαχτεί για να λειτουργεί μόνο με το ένα σύστημα. Παρόλο που κάτι τέτοιο δεν αποκλείεται, το σύστημα δεν θα λειτουργούσε αποδοτικά με αυτόν τον τρόπο όπως συμβαίνει στα συνδυασμένα συστήματα κινητήρων Diesel με αεριοστρόβιλους όταν λειτουργούν μόνο με τους πρώτους.

Το σύστημα COGAS προτάθηκε ως αναβάθμιση για πλοία που χρησιμοποιούν αεριοστρόβιλους σαν κύρια (ή μοναδική) μηχανή πρόωσης.



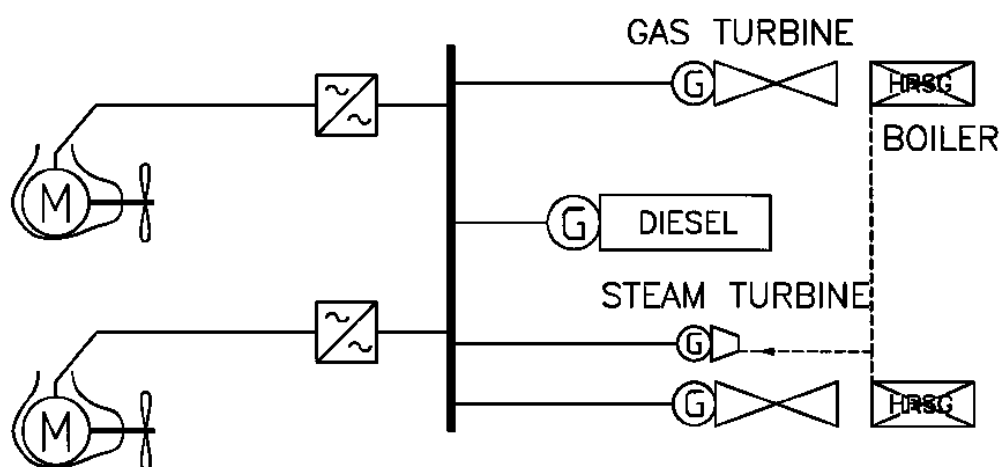
Σχ. 4-12: Σχηματικό διάγραμμα εγκατάστασης COGAS

4.6.4. Combined Gas turbine and steam turbine integrated Electric drive System (COGES)

Αν αντί οι στρόβιλοι να συνδέονται άμεσα με τον ελικοφόρο άξονα χρησιμοποιηθεί στροβιλο-ηλεκτρική μετάδοση τότε το σύστημα της προηγούμενης παραγράφου είναι γνωστό και ως GOGES.

Το σύστημα αυτό αποτελείται από συνδυασμό αεριοστρόβιλου και ατμοστρόβιλου και εκμεταλλεύεται την υψηλή θερμοκρασία των καυσαερίων για την παραγωγή ατμού για τον ατμοστρόβιλο. Οι δύο κινητήρες κινούν ηλεκτροκινητήρα που χρησιμοποιείται για την πρόωση του πλοίου καθώς επίσης και για άλλες καταναλώσεις. Στο

Σχ. 4-13 φαίνεται σχηματικά μία διάταξη μηχανοστασίου με σύστημα πρόωσης COGES.



Σχ. 4-13: Εγκατάσταση COGES στο C/S “MILLENIUM” της εταιρείας RCI

Από πρόσφατες μελέτες στις οποίες εξετάστηκαν διαφορετικοί συνδυασμοί εγκαταστάσεων COGES, προέκυψε ότι το σύστημα ηλεκτρικής πρόωσης με κινητήρα Diesel έχει τις καλύτερες προοπτικές σε κρουαζιερόπλοιο που μεταφέρει 2500 επιβάτες, ιδιαίτερα αν ληφθούν υπόψη το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης, καθώς και η εφεδρεία ισχύος πρόωσης. Βέβαια, κάθε περίπτωση θα πρέπει να εξετάζεται σε συνάρτηση με τις ιδιαίτερες απαιτήσεις της εφαρμογής. Πιο συγκεκριμένα, στα ταχύπλοα σκάφη όπου το ζητούμενο είναι η υψηλή ισχύς και οι περιορισμοί στο βάρος και τον χώρο προτιμώνται αεριοστρόβιλοι με μηχανική εκκίνηση. Το σύστημα COGES είναι πιο αποδοτικό για κρουαζιερόπλοια όπου η λειτουργία σε μερική ισχύ είναι συχνή και η ανάγκη για ατμό για χρήση σε βοηθητικά μηχανήματα είναι μεγάλη.

Το σύστημα COGES έχει προταθεί επίσης ως κύρια εγκατάσταση πρόωσης σε εμπορικά πλοία για να ικανοποιήσουν μελλοντικούς περιβαλλοντικούς κανονισμούς στην περιοχή της Βαλτικής.

4.7. Πλεονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα των εγκαταστάσεων αεριοστρόβιλων, και ιδιαίτερα των συστημάτων συνδυσμένου κύκλου, έναντι των εγκαταστάσεων πρόωσης με κινητήρες Diesel ποικίλλουν.

Οι αεριοστρόβιλοι κατά τη λειτουργία τους δεν εκπέμπουν μαύρο καπνό κατά τα ενδιάμεσα στάδια φόρτισης του κινητήρα ενώ τα τελευταία χρόνια γίνονται όλο και πιο δημοφιλείς εξαιτίας των περιβαλλοντικών περιορισμών, λόγω των χαμηλών επιπέδων εκπομπών αερίων NOx και Sox. Οι χαμηλές εκπομπές οφείλονται στην υψηλή ποιότητα καυσίμου που χρησιμοποιούνται.

Επιπλέον ο χρόνος από την έναρξη για την επίτευξη πλήρους φορτίου σε σχέση με εγκαταστάσεις ατμοστρόβιλου είναι πολύ μικρότερος. Ένας μεγάλος 2-Χ κινητήρας Diesel φτάνει από την παύση σε πλήρες φορτίο σε περίπου 0,5 – 1 ώρα σε αντίθεση με τον αεριοστρόβιλο που χρειάζεται λίγο περισσότερο από πέντε (5) δευτερόλεπτα. Επειδή το σύνηθες εργαζόμενο μέσο είναι ο ατμοσφαιρικός αέρας ως κύρια παροχή ενέργειας ο αεριοστρόβιλος δεν απαιτεί την ύπαρξη ψυκτικού μέσου (π.χ. νερό ή λάδι).

Το σύνολο του συστήματος είναι σχετικά απλό σε σχέση με άλλου είδους εγκαταστάσεις και περιλαμβάνει μικρό αριθμό βοηθητικών μηχανημάτων.

Οι αεριοστρόβιλοι είναι συστήματα με έντονη αυτοματοποίηση όπου όλες οι λειτουργίες ελέγχονται από ενσωματωμένο σύστημα ελέγχου το οποίο παρακολουθεί την κατανάλωση καυσίμου και την κατάσταση του στροβίλου οπότε ειδοποιεί τον χειριστή σε περίπτωση που οποιαδήποτε παράμετρος υπερβεί τις προκαθορισμένες τιμές. Παράλληλα με την ειδοποίηση το σύστημα ελέγχου μειώνει αυτόματα το φορτίο του αεριοστρόβιλου για την αποφυγή βλάβης.

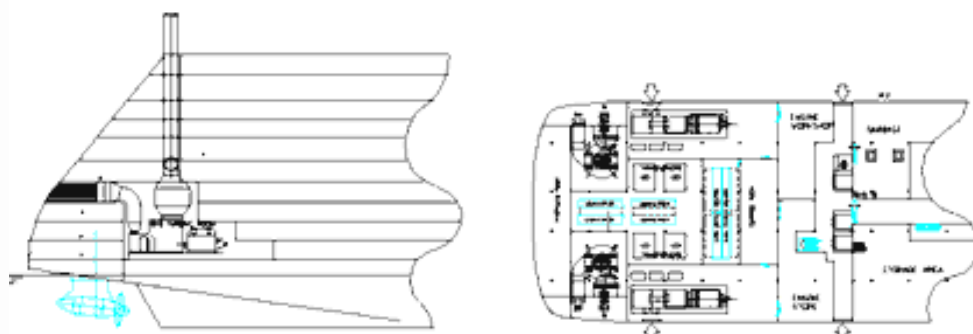
Το σύστημα ελέγχου παρακολουθεί την κατάσταση του στροβίλου σε πραγματικό χρόνο. Αυτό σημαίνει ότι η συντήρηση του συστήματος γίνεται όχι σε προκαθορισμένα διαστήματα αλλά όποτε απαιτείται, όπου αντικαθίσταται ότι χρειάζεται. Επιπλέον η τμηματική κατασκευή και το μέγεθος των στροβιλομηχανών επιτρέπει την άμεση αντικατάσταση τμημάτων ή και ολόκληρου του συστήματος εν πλω χωρίς να δεσμεύεται το πλοίο σε χρονοβόρους δεξαμενισμούς.

Λόγω της «ευκολίας» αποκατάστασης βλάβης αυξάνεται η αξιοπιστία του συστήματος καθώς επίσης και η διαθεσιμότητά του λόγω γρήγορων επιδιορθώσεων / αντικαταστάσεων των εξαρτημάτων.

Επειδή οι στροβιλομηχανές είναι περιστροφικές μηχανές, η παραγόμενη ισχύς είναι στη μορφή που χρειάζεται δηλαδή μία περιστροφική ισχύς για να περιστρέψει την έλικα ή την ηλεκτρογεννήτρια. Παράλληλα επειδή πρόκειται για μηχανή συνεχόμενης καύσης έχουν λιγότερους κραδασμούς και θόρυβο. Κατά συνέπεια τα έξοδα για εγκατάσταση ηχομόνωσης είναι πολύ λιγότερα.

Χαρακτηριστικό των αεριοστροβίλων είναι η δυνατότητα παραγωγής υψηλής ισχύος σε σχέση με μικρό μέγεθος και βάρος εγκατάστασης.

Τέλος, ο προηγούμενος χαμηλός βαθμός απόδοσης του συστήματος έχει βελτιωθεί σε σχέση με άλλες μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ) και εγκαταστάσεις ατμοστροβίλων (περίπου 40% για λειτουργία απλού κύκλου και 55% για συνδυασμένο κύκλο)¹.



Σχ. 4-14: Κρουαζιερόπλοιο νέας γενιάς με διάταξη πρύμνης κατάλληλη για βέλτιστη χρήση χώρου και υψηλή διαθεσιμότητα. Η πρόταση επιτρέπει τη γρήγορη αντικατάσταση όλων των εξαρτημάτων των κυρίων μηχανών.

¹ Πηγή: www.dieselduct.net

4.8. Μειονεκτήματα

Υψηλή, σε σύγκριση με κινητήρες Diesel, κατανάλωση καυσίμου.

Η θερμική απόδοση του αεριοστρόβιλου είναι χαμηλότερη από αυτή κινητήρων Diesel συγκρίσιμης ισχύος. Ο βαθμός απόδοσης αεριοστρόβιλων αεροπορικού τύπου ισχύος 20 – 30 MW είναι της τάξης από 36.5 έως 40 %. Αυτό κάνει την κατανάλωση καυσίμου απλού κύκλου του αεριοστρόβιλου κατά 20% περίπου υψηλότερη από αυτή ενός κινητήρα Diesel.

Η θερμική απόδοση είναι ανάλογη της απόδοσης του αεριοστρόβιλου. Η θερμική απόδοση μικρών αεριοστρόβιλων, στο εύρος 2 – 5 MW, με δυσκολία υπερβαίνει το 30%.

Απαίτηση για καύσιμο υψηλής ποιότητας και, επομένως, υψηλού κόστους.

Οι αεριοστρόβιλοι λειτουργούν είτε με αέριο καύσιμο, είτε με υγρό καύσιμο, είτε και με τα δύο ταυτόχρονα, χωρίς κανένα περιορισμό ως προς την αναλογία μεταξύ των καυσίμων. Όμως, υπάρχουν σοβαροί περιορισμοί που αφορούν στην ποιότητα των υγρών καυσίμων. Η περιεκτικότητα σε βανάδιο και θείο θα πρέπει να διατηρείται εντός των καθορισμένων ορίων έτσι ώστε να αποφευχθεί η διάβρωση, από υψηλές θερμοκρασίες, των πτερυγίων του στροβίλου, πράγμα που οδηγεί σε απώλεια λειτουργίας της μηχανής. Στην πραγματικότητα, ο περιορισμός του καυσίμου αποκλείει τελείως τη χρήση οποιουδήποτε ιζηματικού καυσίμου καθώς επίσης και των φθινών κλασμάτων πετρελαίου.

Η αρχική επένδυση για έναν αεριοστρόβιλο της τάξης των 20 – 30 MW είναι περίπου 15 – 20% υψηλότερη από κινητήρα Diesel συγκρίσιμης ισχύος. Για μικρότερες μηχανές, για ιδιαίτερα αν προέρχεται από μηχανές ελικοπτέρων, η διαφορά της τιμής είναι ακόμα υψηλότερη.

Το λειτουργικό περιβάλλον των ναυτικών αεριοστρόβιλων αποτελεί από μόνο του μία πρόκληση. Αν και ο θαλασσινός αέρας που παρέχεται για την καύση δεν αποτέλεσε ποτέ ιδιαίτερο πρόβλημα για τους κινητήρες Diesel ή τις εγκαταστάσεις ατμού εντούτοις, οι μεγάλες ποσότητες που απαιτούνται από τον αεριοστρόβιλο επιτρέπουν σημαντική ποσότητα υγρασίας να εισέλθει στη μηχανή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να πρέπει η μηχανή

να προσαρμοστεί για να αποτραπεί η διάβρωση και το κλείσιμο των διελεύσεων από την εναπόθεση αλάτων. Μία άλλη πρόκληση που πρέπει να αντιμετωπιστεί με τους αεροστρόβιλους είναι η καταπονήσεις που υφίστανται από προνευτασμό, ταλαντεύσεις, κραδασμούς από την έλικα κλπ. Πρέπει επομένως, να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στο σχεδιασμό και τη συντήρηση των συστημάτων στήριξης και απόσβεσης.

Όλοι οι παραπάνω λόγοι μπορεί να αποτρέψουν πολλούς από μία επένδυση σε αεροστρόβιλο. Η αλήθεια είναι ότι αν τα πλεονεκτήματα της χρήσης αεροστρόβιλου δεν αντισταθμίζουν τα μειονεκτήματα, το πλοίο θα είναι μία οικονομική καταστροφή. Όταν, στα τέλη της δεκαετίας του 1990, παραγγέλθηκε η πρώτη σειρά αεροστρόβιλων για κρουαζιερόπλοια, κάποιοι προσωρινά έχασαν την αίσθηση της προοπτικής τους. Σε όλα τα είδη σχεδίων που παραδοσιακά είχαν κινητήρες Diesel ως κύριο μέσο πρόωσης, ξαφνικά εφοδιάστηκαν εκ νέου με αεροστρόβιλους από όλες τις μάρκες και μεγέθη. Κανένα από αυτά δεν ξεπέρασε το στάδιο της σχεδίασης. Πολλά από αυτά τα πονήματα απέτυχαν λόγω της χαμηλής θερμικής απόδοσης των μικρότερων στροβίλων. Ακόμα και οι μελέτες που περιελάμβαναν μεγάλους αεροστρόβιλους απέτυχαν λόγω της υψηλής ειδικής κατανάλωσης καυσίμου του αεροστρόβιλου και το υψηλό κόστος του καυσίμου. Όταν τα ιζηματικά (residual fuel) καύσιμα είναι κατά 60 USD και 100 USD φθηνότερα ανά τόνο από το MDO και οι κινητήρες Diesel είναι κατά 20% πιο αποδοτικοί, οι αεροστρόβιλοι απλού κύκλου έχουν δύσκολο ανταγωνισμό.

Γενικά οι αεροστρόβιλοι δεν είναι αναστρέψιμοι, ενώ οι κινητήρες Diesel υπό προϋποθέσεις μπορούν να επιδράσουν στην ικανότητα εκτέλεσης ελιγμών του σκάφους. Όμως για εγκαταστάσεις συνδυασμένου κύκλου με ηλεκτρική πρόωση (COGES) δεν υφίσταται τέτοιο πρόβλημα αφού στην ηλεκτρική πρόωση η έλικα είναι αναστρέψιμη. Το ίδιο συμβαίνει και όταν η έλικα συνδέεται άμεσα με σύστημα συνδυασμένου κύκλου αφού μπορούν να χρησιμοποιηθούν μειωτήρες ανάποδης ώσης ή έλικες μεταβλητού βήματος¹.

Οι κινητήρες Diesel ανταποκρίνονται ταχύτερα στις μεταβολές φορτίου από τις εγκαταστάσεις συνδυασμένου κύκλου. Ο χρόνος απόκρισης του αεροστρόβιλου είναι

¹ Controllable pitch propeller

συγκρίσιμος με αυτόν του κινητήρα Diesel όμως ο ατμοστρόβιλος χρειάζεται περισσότερο χρόνο.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΑΙΑ

5. ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ DIESEL VS - ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ

Ένα από τα πλεονεκτήματα των αεριοστρόβιλων είναι η συμπαγής κατασκευή τους. Αυτό οφείλεται στη συνεχή ροή του ρευστού (αέρα) μέσα στη μηχανή σε αντίθεση με τις επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις του αντίστοιχου μέσου (αέρας και προϊόντα καύσης) μέσα στις MEK κατά τις διάφορες φάσεις του κύκλου. Οι απαραίτητες μεταβολές του μέσου συνεπάγονται και αντίστοιχες μεταβολές της ταχύτητας των εμβόλων, βαλβίδων διωστήρων και λοιπών στοιχείων της κατασκευής.

Οι στρόβιλοι είναι μηχανές εσωτερικής καύσης (MEK) με συνεχή καύση σε αντίθεση με τους κινητήρες Diesel όπου η καύση είναι διακοπτόμενη.

Άλλο πλεονέκτημα των αεριοστρόβιλων είναι ότι η περιστροφική μορφή της ισχύος εξόδου τους είναι αμέσως χρησιμοποιήσιμη για την κίνηση άλλων διατάξεων όπως μίας αντλίας, γεννήτριας, έλικας κλπ.

Οι αεριοστρόβιλοι παράγουν μεγάλη ιπποδύναμη ενώ καταλαμβάνουν λιγότερο χώρο και βάρος από ένα κινητήρα Diesel της ίδιας ιπποδύναμης. Το μέγεθος και η μάζα ενός κινητήρα Diesel είναι ένα αδιαμφισβήτητο μειονέκτημα σε πολλές εφαρμογές. Όμως στα νέα κρουαζιερόπλοια τύπου Panamax με αυξημένο αριθμό καταστρωμάτων και αμετάβλητο πλάτος, για λόγους ευστάθειας απαιτείται πολύ βάρος στα ύφαλα του πλοίου – έτσι η αξία του μικρότερου βάρους του αεριοστρόβιλου δεν θα πρέπει να υπερεκτιμάται. Με σκοπό να χαμηλώσει το κέντρο βάρους του πλοίου, αυτή η έλλειψη βάρους μπορεί να καλυφθεί με επιπλέον δεξαμενές φρέσκου νερού ή καυσίμων. Μία άλλη εναλλακτική θα ήταν να μειωθεί ελαφρώς το ύψος του κυρίου καταστρώματος ή το βύθισμα του σκάφους. Όμως όλα αυτά θα χρειάζονταν νέα σχεδίαση πλοίου, αποκλείοντας τη χρήση μίας κοινής μορφής γάστρας για κινητήρες Diesel ή αεριοστρόβιλους το οποίο θα ήταν ιδιαίτερα επικερδές με σκοπό τη μείωση του κόστους.

Όσον αφορά τώρα στην ωφέλεια του μικρότερου όγκου του αεριοστρόβιλου αυτό δεν θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί πλήρως.

Κάποια από τα εξαρτήματα της εγκατάστασης αεριοστρόβιλου καταλαμβάνουν μεγαλύτερο όγκο από τα αντίστοιχα του κινητήρα Diesel. Επιπλέον για να εξασφαλιστεί η ταχεία αντικατάσταση εν πλω ενός στροβίλου (ή τουλάχιστον της γεννήτριας αέρα) εντός λίγων ωρών, απαιτείται επιπλέον χώρος. Το μηχανοστάσιο θα πρέπει να έχει σχεδιαστεί με αρκετό ελεύθερο χώρο και όλες τις απαραίτητες προβλέψεις και εξοπλισμό για μία τέτοια περίπτωση, συμπεριλαμβανομένου χώρου αποθήκευσης ανταλλακτικού αεριοστρόβιλου. Τέλος, η διαθεσιμότητα της εγκατάστασης και λόγοι ασφαλείας καθιστούν την ύπαρξη ενός ή δύο σετ νηξελογεννητριών απαραίτητη για να ικανοποιηθούν απαιτήσεις χαμηλής ισχύος που καλύπτονται δύσκολα με ένα αεριοστρόβιλο και ως γεννήτρια ανάγκης. Κάτι τέτοιο δεν μειώνει μόνο τον ελεύθερο χώρο αλλά επιπλέον αυξάνει το αρχικό κόστος και τα κόστη λειτουργίας και συντήρησης.

Στο παρελθόν το κύριο μειονέκτημα των αεριοστρόβιλων σε σχέση με άλλες ΜΕΚ ήταν ο χαμηλός βαθμός απόδοσης και ως συνέπεια αυτού η μεγαλύτερη κατανάλωση καυσίμου. Όμως τα τελευταία πενήντα χρόνια η συνεχόμενες έρευνες ώθησαν το θερμικό βαθμό απόδοσης από 18% (1939 στρόβιλος Neuchatel) στα σημερινά επίπεδα περίπου 40% για λειτουργία απλού κύκλου και περίπου 55% για λειτουργία συνδυασμένου κύκλου ενώ αναμένονται ακόμα πιο αποδοτικοί αεριοστρόβιλοι στο μέλλον με β.α. 45 – 47% και 60% για λειτουργία απλού και συνδυασμένου κύκλου αντίστοιχα.

5.1. Κόστος κτήσης και συντήρησης

Σε αντίθεση με το βάρος και το μέγεθος, τα κόστη κτήσης και συντήρησης είναι χαμηλότερα για τον κινητήρα Diesel.

Το σύστημα ελέγχου ου αεριοστρόβιλου παρακολουθεί τις επιδόσεις και την κατάσταση του στροβίλου «on-line».

Κατά τη συντήρηση «on-condition» (σύμφωνα με την κατάσταση) αποφεύγονται μη απαραίτητες προγραμματισμένες συντηρήσεις, αντικαθίσταται ό,τι χρειάζεται αντικατάσταση.

Η τμηματική (modular) κατασκευή του αεριοστρόβιλου επιτρέπει την ταχεία ανταλλαγή / αντικατάσταση τμημάτων της μηχανής αποφεύγοντας τις μακροχρόνιες επί τόπου επισκευές. Επίσης το μέγεθος και το βάρος του αεριοστρόβιλου την πλήρη αντικατάσταση της μηχανής εντός λίγων ωρών χωρίς δεξαμενισμό ή εκτεταμένη παραμονή στο λιμάνι.

Τέλος, ο στρόβιλος και τα ανταλλακτικά μπορούν να αποσταλούν αεροπορικώς σε όλο τον κόσμο.

5.2. Αξιοπιστία και διαθεσιμότητα

Οι αεριοστρόβιλοι που προέρχονται από στρόβιλους για αεροπορική χρήση έχουν πολύ υψηλή αξιοπιστία και διαθεσιμότητα της τάξης του 99,5% και 97,5% αντίστοιχα¹.

5.3. Κόστος καυσίμων και λειτουργίας

Οι κινητήρες Diesel πλεονεκτούν ως προς χαμηλότερες τιμές καυσίμων, χαμηλότερη κατανάλωση σε όλα τα φορτία και, κατά συνέπεια λιγότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και καλύτερη αποδοχή φόρτωσης καθώς και μικρότερο χρόνο έναρξης.

Οι αεριοστρόβιλοι λειτουργούν με MDO, έτσι δεν είναι απαραίτητη η θέρμανση του καυσίμου, η χάραξη γραμμής καυσίμου και η ύπαρξη συστημάτων προετοιμασίας καυσίμου.

Ότι οι αεριοστρόβιλοι λειτουργούν με jet fuel είναι μύθος αφού δέχονται όλα τα καύσιμα αρκεί να μην επηρεάζονται οι ιδιότητες της καύσης. Τεχνικά, είναι εφικτή η καύση με καλά διαχωρισμένα βαριά κλάσματα πετρελαίου. Παρόλα αυτά, τα κοινά καύσιμα που προέρχονται από βαρέα κλάσματα πετρελαίου έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε Θείο, Βανάδιο και αλκαλικά μέταλλα. Οι προδιαγραφές υγρού καυσίμου των κατασκευαστών ναυτικών αεριοστρόβιλων έχουν συνταχθεί έτσι ώστε να εξασφαλίζονται

¹ Πηγή: The future of LNG transportation: Various Propulsion Alternatives by B. Gupta & K. Prasad
Available online at Martin's Marine Engineering Page - www.dieselduck.net

ικανοποιητικά διαστήματα μεταξύ των αντικαταστάσεων των μερών του θερμού τμήματος. Τα κλάσματα καυσίμου, όπως MDO DMX και DMA είναι αποδεκτά, υπό την προϋπόθεση ότι η περιεκτικότητα σε Θείο δεν υπερβαίνει το 1.0%. υψηλότερες συγκεντρώσεις Θείου και αλκαλικών μετάλλων θα μειώσουν το χρόνο ζωής των θερμών τμημάτων αντίστοιχα. Η περιεκτικότητα σε Βανάδιο πρέπει να είναι 0,5 ppm κατά μέγιστο καθώς υψηλότερες τιμές θα επιτάχυναν τη διάβρωση λόγω υψηλής θερμοκρασίας των περυγίων του στρόβιλου. Το κόστος αντικατάστασης ενός πρόωρα χαλασμένου θερμού τμήματος θα αντιστάθμιζε, σίγουρα, τα κέρδη από τη χρήση μη συμβατών καυσίμων.

5.4. Κραδασμοί, θόρυβος

Όσον αφορά στους κραδασμούς και το θόρυβο, οι πολυκύλινδρες παλινδρομικές μηχανές με τη διακοπόμενη καύση μειονεκτούν, αν και μερικές φορές οι πραγματικές διαφορές διογκώνονται ή ερμηνεύονται λανθασμένα. Με άμεση ελαστική έδραση των κινητήρων Diesel και με άλλα σχεδιαστικά μέτρα μπορεί να μειωθεί το ποσοστό των κραδασμών που μεταφέρονται από τον κινητήρα Diesel, κατά τη λειτουργία του, στη μεταλλική κατασκευή του πλοίου και ιδιαίτερα στους χώρους καμπινών.

Οι στρόβιλοι είναι μηχανήματα «hands-off», αν το σύστημα ελέγχου δεν δείχνει προβλήματα, δεν χρειάζεται κάποια συντήρηση. Κατά την εκκίνηση, τη λειτουργία και το σβήσιμο, ο χειρισμός του αεριοστρόβιλου γίνεται από το σύστημα ελέγχου, το οποίο ελέγχει τη διαχείριση καυσίμου, αλλά παρακολουθεί και την κατάσταση του στρόβιλου. Αν οποιαδήποτε παράμετρος υπερβεί τα προκαθορισμένα όρια το σύστημα ελέγχου θα ειδοποιήσει και θα μειώσει το φορτίο του στρόβιλου για την αποφυγή βλάβης. Σε περιπτώσεις σοβαρών προβλημάτων το σύστημα ελέγχου θα κλείσει τη μηχανή.

Επειδή οι αεριοστρόβιλοι είναι περιστροφικές μηχανές έχουν, από κατασκευής, χαμηλό θόρυβο προερχόμενο από την κατασκευή. Ο θόρυβος αυτός μειώνεται ακόμα περισσότερο με την ελαστική έδραση των κιβωτίων.

Τα κιβώτια των αεριοστρόβιλων βρίσκονται σε ακουστικό περίβλημα, μειώνοντας τα επίπεδα θορύβου στο μηχανοστάσιο βελτιώνοντας έτσι, το περιβάλλον εργασίας στο μηχανοστάσιο.

Ο αερομεταφερόμενος θόρυβος στο μηχανοστάσιο από τους αεριοστρόβιλους είναι μικρότερος από αυτόν που παράγεται από έναν κινητήρα Diesel. Αυτό οφείλεται στην τοποθέτηση των στροβίλων εντός ακουστικά μονωμένων περιβλημάτων ενώ ο θόρυβος σε ένα κινητήρα Diesel μετράται χωρίς κάποια ακουστική ή θερμική μόνωση.

Ο αερομεταφερόμενος θόρυβος υψηλής συχνότητας μετριάζεται εύκολα.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι το κόστος για την εγκατάσταση ηχομόνωσης είναι χαμηλότερο στους αεριοστρόβιλους.

5.5. Κατανάλωση λιπαντέλαιων

Τα λιπαντικά έλαια του αεριοστρόβιλου δεν εκτίθενται στη διαδικασία καύσης με αποτέλεσμα να υπάρχει χαμηλή κατανάλωση λιπαντικών και μπορούν να παραλειφθούν περίπλοκα συστήματα επεξεργασίας λιπαντελαίου.

Αν και η ειδική κατανάλωση λιπαντελαίου του αεριοστρόβιλου είναι σημαντικά μικρότερη από αυτή του κινητήρα Diesel εν τούτοις απαιτούνται υψηλού κόστους συνθετικά λιπαντικά για τον πρώτο σε αντίθεση με τον δεύτερο.

5.6. Εκπομπές καυσαερίων

Οι αεριοστρόβιλοι υπερτερούν σημαντικά όσον αφορά στις εκπομπές SO_x και NO_x και αυτό οφείλεται στην ποιότητα του καυσίμου το οποίο συνήθως είναι MDO και όχι βαρέα κλάσματα πετρελαίου.

Οι αεριοστρόβιλοι δεν εκλύουν μαύρο καπνό κατά τα ενδιάμεσα φορτία, έχουν χαμηλές εκπομπές σωματιδίων και δεν υπάρχουν κατάλοιπα πετρελαίου από βαρέα καύσιμα.

5.7. Σχεδίαση πλοίου

Το μικρό βάρος και οι συμπαγείς διαστάσεις του αεροστροβίλου και των οηθητικών μηχανημάτων επιτρέπουν κάποιες σχεδιαστικές ελευθερίες ως προς τη θέση του μηχανοστασίου στο πλοίο.

Το μικρό βάρος επιτρέπει τη μετακίνηση του μηχανοστασίου από το κάτω μέρος του πλοίου αν και κάτι τέτοιο δεν είναι πάντα επιθυμητό για λόγους ευστάθειας.

Το μικρότερο μηχανοστάσιο αφήνει περισσότερο εκμεταλλεύσιμο χώρο στο πλοίο για εμπορικούς σκοπούς.

Τα χαμηλά επίπεδα θορύβου και κραδασμών βελτιώνουν την άνεση των επιβατών και του πληρώματος επιτρέποντας την τοποθέτηση του μηχανοστασίου πιο κοντά στους χώρους ενδιαίτησης.

5.8. Σχεδίαση εγκατάστασης πρόωσης

Οι αεριοστροβίλοι έχουν σημαντικές εκπομπές μάζας και θερμοκρασίας καυσαερίων, πράγμα που καθιστά την ανάκτηση θερμότητας τόσο τεχνικά όσο και οικονομικά εφαρμόσιμη.

5.9. Εγκατάσταση

Ο αεριοστροβίλος, το σύστημα ελέγχου και τα βοηθητικά μηχανήματα είναι συσκευασμένα σε τροχούς, έτοιμα προς εγκατάσταση στη ναυπηγική κλίνη, επιταχύνοντας τη διαδικασία ναυπήγησης.

Το κιβώτιο του αεριοστροβίλου με τα βοηθητικά συναρμολογούνται και ελέγχονται στο εργοστάσιο από εξειδικευμένο προσωπικό, έτσι μειώνεται ο χρόνος παράδοσης στο ναυπηγείο αφού αποφεύγονται προβλήματα συναρμολόγησης και καθυστερήσεις.

Οι αεριοστροβίλοι είναι αερόψυκτοι έτσι δεν είναι απαραίτητη η χρήση συστημάτων ψύξης νερού υψηλής και χαμηλής θερμοκρασίας.

6. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

6.1. Εμπορικά πλοία

Μόλις πρόσφατα έγινε πιο διαδεδομένη η χρήση των αεριοστρόβιλων σε εμπορικά πλοία καθώς οι συμπαγείς και ελαφριές μηχανές ικανοποίησαν μία συγκεκριμένη ανάγκη. Η ανάπτυξη της αγοράς των ταχύπλοων σκαφών, που συνήθως είναι πλοία που μεταφέρουν πάνω από 50 επιβάτες με ταχύτητα πάνω από 25 κόμβους, δημιούργησε έναν αναπτυσσόμενο τομέα πλοίων όγκου που μεταφέρουν φορτίο χαμηλής πυκνότητας, όπως είναι οι επιβάτες και τα αυτοκίνητα, τα οποία χρειάζονται συστήματα πρόωσης στιβαρά και με μικρό βάρος. Ομοίως, η αγορά των κρουαζιερόπλοιων όπου ενδιαφέρει, κατά κύριο λόγο, η αποδοτική χρήση του εσωτερικού όγκου του πλοίου, αντιπροσωπεύει ένα όλο και πιο κατάλληλο περιβάλλον για τη χρήση των αεριοστρόβιλων.

6.1.1. *Κρουαζιερόπλοια*

Η λειτουργία συνδυασμένου κύκλου μειώνει την ειδική κατανάλωση καυσίμου σε πιο ανταγωνιστικά επίπεδα. Συνήθως με έναν αεριοστρόβιλο μπορούν να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις ισχύος ολόκληρου του πλοίου.

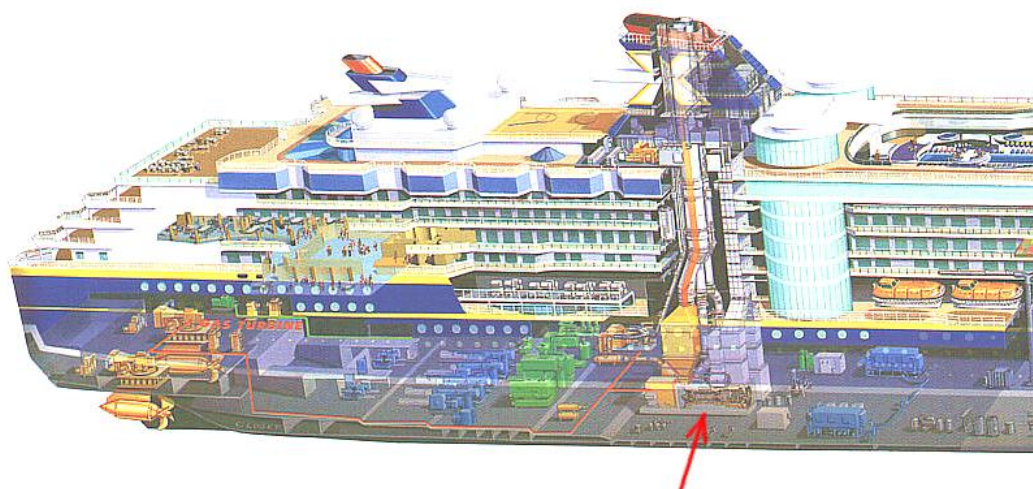
Για χώρο μηχανοστασίου επιτρέπει την αύξηση μεταφορικής ικανότητας επιβατών με τις ίδιες διαστάσεις. Τα χαμηλά επίπεδα κραδασμών και θορύβου αυξάνουν την άνεση των επιβατών.

Χωρίς ορατό καπνό στα καυσαέρια καθιστούν δυνατή την πλεύση στα νερά της Αλάσκας, ενώ οι χαμηλές εκπομπές NO_x και SO_x επιτρέπουν τη λειτουργία σε περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές.

1. C/S “MILLENNIUM”¹: Κατασκευασμένο από το ναυπηγείο Chantier de l’Atlantique το κρουαζιερόπλοιο με ολικό μήκος 294 m και πλάτος 32,2 m μεταφέρει 2,449 επιβάτες και έχει



Σχ. 6-1: Cruise Ship “MILLENNIUM”, LOA = 294m, B = 32,2m, 2xGELM 2500+



Σχ. 6-2: Με το κόκκινο βέλος φαίνεται η θέση του ενός αεριοστρόβιλου στο κρουαζιερόπλοιο MILLENNIUM².

¹ Ανασύρθηκε από την ιστοσελίδα <http://www.ship-technology.com/project/millennium/> στις 22/11/09

² Πηγή: Chantiers de l’Atlantique

Η προωστήρια εγκατάσταση αποτελείται από ζεύγος ναυτικών αεριοστρόβιλων GE LM2500 και έναν ατμοστρόβιλο οι οποίοι ο κάθε ένας κινούν από μία ηλεκτρογεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος (AC). Το σύστημα συνδυασμένου κύκλου αεριοστρόβιλων και ατμοστρόβιλων, το ολοκληρωμένο σύστημα ηλεκτρικής πρόωσης (COGES) της GE παρέχει ισχύ σε δύο ηλεκτρικές μονάδες ελικοπηδαλίων πρόωσης¹. Καθώς κάθε ελικοπηδάλιο μπορεί να περιστρέφεται οριζόντια κατά 360° δεν είναι απαραίτητη η ύπαρξη για γραμμές πηδαλίου, πρυμναίες έλικες, έδρανα μηχανισμού πηδαλίου κλπ.

Ο ατμοστρόβιλος του συστήματος ανακτά θερμότητα από τα καυσαέρια, και παρέχει ενέργεια για ζεστό νερό και άλλες ηλεκτρικές ανάγκες όπως παραγωγή νερού, αναθέρμανση του κλιματισμού, κουζίνες, καθαριστήρια κλπ.

Η κατανάλωση καυσίμου της εγκατάστασης COGES είναι κατά 7% μικρότερη από μία αντίστοιχη εγκατάσταση με μεσόστροφο κινητήρα Diesel ενώ οι εκπομπές οξειδίων του Αζώτου (NOx) μειώθηκαν κατά 80% και διοξειδίου του Θείου (SO₂) κατά 98%.

¹ Electrically driven podded propulsion units, Mermaids. Cegelic Kamewa

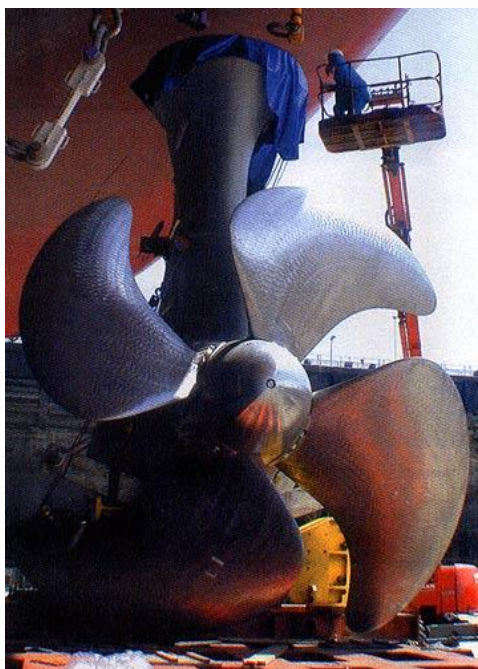
2. *O/L “QUEEN MARY 2”¹*: Κατασκευασμένο από το ναυπηγείο Chantier de l’Atlantique το επιβατηγό πλοίο με ολικό μήκος 345,03m και πλάτος 40m(45m στη γέφυρα).



Σχ. 6-3: Ocean Liner “QUEEN MARY 2” Εικόνα από τις δοκιμές θαλάσσης

Η προωστήρια εγκατάσταση αποτελείται από τέσσερις κινητήρες Diesel, Wartsila, και συμπληρώνεται από δύο αεριοστρόβιλους. Η συνολική ισχύς είναι 118MW. Το σύστημα πρόωσης περιλαμβάνει τέσσερα ελικοπηδάλια, δύο σταθερά και δύο περιστρεφόμενα κατά 360°.

¹ Ανασύρθηκε από την ιστοσελίδα http://www.ship-technology.com/project/queen_mary/ στις 22/11/09



Σχ. 6-4: Τοποθέτηση ελικοπηδαλίου με έλικα σταθερού βήματος¹ με πτερύγια υψηλής λοξότητας (highly skew blades) για χαμηλά επίπεδα θορύβου και κραδασμών

6.1.2. Ταχύπλοα επιβατηγά πλοία

Το μικρό βάρος και μέγεθος των αεριοστρόβιλων καθώς και η απλή διάταξη των βοηθητικών μηχανημάτων, αφήνουν περισσότερο χώρο για εμπορική εκμετάλλευση. Η αποδιδόμενη υψηλή ισχύς των αεριοστρόβιλων καθιστά δυνατή την επίτευξη της απαιτούμενης υψηλής ταχύτητας. Σε κάποιες περιπτώσεις ένα ταχύπλοο σκάφος μπορεί να αντικαταστήσει δύο συμβατικά επιβατηγά πλοία.

Η τάση στην αγορά των ταχύπλοων σκαφών είναι για μεγαλύτερα σκάφη με περισσότερη μεταφορική ικανότητα και ταχύτητα υπηρεσίας άνω των 40 κόμβων. Η ανάγκη αυτή για μεγαλύτερα δίγαστρα (καταμαράν) πλοία απαιτεί συνολική ισχύ πάνω από 50 MW, που μοιράζεται σε δύο συστήματα για τις δύο γάστρες του σκάφους. Ένα

¹ Fixed – pitch propeller.

σημαντικό πλεονέκτημα σε όγκο, βάρος και κόστος μπορεί να υπάρξει αν η ισχύς αυτή παρέχεται από ένα μόνο αεριοστρόβιλο σε κάθε γάστρα.

Ε/Γ Ο/Γ ΚΑΤΑΜΑΡΑΝ:

Για παράδειγμα, ένα ταχύπλοο σκάφος κατασκευασμένο από την Austal είναι καταμαράν και φέρει δύο GE LM2500 αεριοστρόβιλους, πρόσφατα έκανε ρεκόρ απόστασης που έχει διανυθεί ποτέ από εμπορικό επιβατηγό πλοίο. Ταξίδεψε 1.060 ναυτικά μίλια με μέση ταχύτητα 44 κόμβους και μέγιστη ταχύτητα 47 κόμβους. Το ίδιο πλοίο ταξιδεύει μεταξύ Δανίας και Σουηδίας από το καλοκαίρι του 2000, έχει μήκος 86 μέτρα και μπορεί να μεταφέρει 1.037 επιβάτες και 186 αυτοκίνητα.

Stena AB HSS semi-swath (Stena Explorer, Stena Voyager, Stena Discovery):

Πρόκειται για μία μορφή δίγαστρου σκάφους με μικρή επιφάνεια ισάλου. Κάθε πλοίο έχει δύο αεριοστρόβιλους LM 1600 και δύο LM2500 σε διάταξη GOGAG. Έχουν μήκος 126 μέτρα και πλάτος 40 μέτρα, η ταχύτητα τους μπορεί να ξεπεράσει του 40 κόμβους και η μεταφορική τους ικανότητα είναι 1500 επιβάτες και 375 αυτοκίνητα ή 50 φορτηγά και 100 αυτοκίνητα



Σχ. 6-5: Πλοίο μικρής επιφάνειας ισάλου (Semi swath)

Ε/Γ Ο/Γ MONOHULL “CORSAIRE 14000”: Το ταχύπλοο αυτό έχει μήκος 140m και ταχύτητα υπηρεσίας 42 kn. Χρησιμοποιεί δύο αεριοστρόβιλους LM2500+ κατασκευασμένους από την MTU σε μία διάταξη. Πρόκειται για το πρώτο ταχύπλοο το οποίο έχει ως κύριο μέσω πρόωσης αεριοστρόβιλους που δρομολογήθηκε στην Ελλάδα από την Ναυτιλιακή Εταιρεία Λέσβου.



Σχ. 6-6: Ταχύπλοο Επιβατηγό – Οχηματαγωγό μίας γάστρας (monohull) τύπου CORSAIRE 14000

MDV 3000 MONOHULL: πρόκειται για τα μεγαλύτερα ταχύπλοα σκάφη στον κόσμο σχεδιασμένα στα ναυπηγεί FICANTIERI της Ιταλίας. Ως κύριο μέσω πρόωσης φέρουν δύο αεριοστρόβιλους LM2500 και τέσσερις κινητήρες diesel σε διάταξη CODAG. Η συνολική αποδιδόμενη ισχύς του σκάφους είναι 70 MW και μπορεί να φτάσει ταχύτητες πάνω από 40 κόμβους, ενώ η μεταφορική του ικανότητα είναι 1.800 επιβάτες και 460 οχήματα.



Σχ. 6-7: Ταχύπλοο Επιβατηγό – Οχηματαγωγό μίας γάστρας (monohull) τύπου MDV 3000

6.1.3. Φορτηγά πλοία

Οι ναυτικοί αεριοστρόβιλοι, δεν συναντώνται σε εμπορικά φορτηγά πλοία και η προοπτική της αλλαγής σε μία τόσο συντηρητική βιομηχανία συναντά σημαντικές αντιδράσεις οι οποίες, κατά μία έννοια, είναι κατανοητές. Όταν αποσυνδεθούν από μη ρεαλιστικούς περιορισμούς (πχ η έλλειψη σχέσης με τη μεταφορική ικανότητα) τα τεχνικά και οικονομικά επιχειρήματα για χρήση αεριοστρόβιλων στα πλοία μεταφοράς φυσικού αερίου μιλούν από μόνα τους. Με την ύπαρξη αεριοστρόβιλων φυσικού αερίου που κινούν τα μηχανήματα υγροποίησης και αεριοποίησης κατά την άφιξη ή την αναχώρηση του πλοίου η υιοθέτηση των αεριοστρόβιλων σε μελλοντικά LNG είναι το επόμενο λογικό βήμα.



Σχ. 6-8: Πλοίο μεταφοράς φυσικού αερίου (LNG)

Τα πλοία μεταφοράς φυσικού αερίου (LNG) είναι μοναδικά για διάφορους λόγους. Είναι το μοναδικό είδος πλοίου που έχει τη δυνατότητα (και το κάνει) να χρησιμοποιήσει το φορτίο του ως πηγή καυσίμου. Ακόμα περισσότερο αφού το καύσιμο αυτό είναι φτηνότερο από το πετρέλαιο, ενώ είναι πολύ πιο φιλικό προς το περιβάλλον ακόμα και από τα αέρια προϊόντα διύλισης του τελευταίου. Ιστορικά, υπήρχε πάντα μία επωφελής διαφορά τιμής για τη βενζίνη και όλες οι σχεδιάσεις διπλού καυσίμου (είτε παλινδρομικές μηχανές είτε στρόβιλοι) κάνουν ξεκάθαρη χρήση αυτού του πλεονεκτήματος κόστους για την υιοθέτηση της αλλαγής, με τον περιβαλλοντικό παράγοντα και τον παράγοντα ζωής του κινητήρα ως επιθυμητά και ισχυρά πλεονεκτήματα.

Ο στρόβιλος ισχύος κινεί την ηλεκτρογεννήτρια η οποία παρέχει ρεύμα στον κύριο πίνακα μέσω του οποίου διανέμεται σε όλους τους ηλεκτρικούς καταναλωτές. Η έλικα κινείται από ηλεκτροκινητήρα με έλεγχο της συχνότητας. Τα καυσαέρια χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία ατμού οποίος χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με αμοστρόβιλο ο οποίος επίσης τροφοδοτεί τον κύριο ηλεκτρικό πίνακα.



Σχ. 6-9: Ενδεικτική εγκατάσταση αεριοστρόβιλου σε πλοίο μεταφοράς φυσικού αερίου (LNG)

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι η υψηλή θερμική απόδοση, μεγαλύτερη μεταφορική ικανότητα έως 13,8%, πλεόνασμα ισχύος πρόωσης και ηλεκτρικής ενέργειας, ικανότητα χρήσης διπλού καυσίμου, δεν απαιτείται κόστος επανασχεδίασης της γάστρας, ή έλικα σταθερού βήματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς μειωτήρα στροφών για αναπόδοση, χαμηλό κόστος συντήρησης, απλοποιημένη διάταξη μηχανοστασίου, μικρότερα συστήματα παραγωγής ατμού και νερού ψύξης, μικρότερος χρόνος προμήθειας και τοποθέτησης στη ναυπηγική κλίνη λόγω ελέγχου και συναρμολόγησης στο εργοστάσιο.

Παρόλα αυτά όμως υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα όπως οι απώλειες μετατροπής ενέργειας στο ηλεκτρικά κινούμενο σύστημα, απαιτείται συμπιεστής αερίου για την παροχή αερίου καυσίμου σε πίεση 30 bar στον αεριοστρόβιλο, το σύστημα είναι πιο περίπλοκο και ακριβό από το μηχανικό, το λειτουργικό προφίλ της εγκατάστασης ισχύος μπορεί να χωριστεί σε μερικούς διακριτούς τρόπους λειτουργίας.

6.2. Άλλες χρήσεις (Πολεμικά πλοία)

Στον στρατιωτικό τομέα, οι ανάγκες ισχύος αλλάζουν για διαφορετικούς λόγους. Αντί για συνεχόμενη ανάπτυξη μεγαλύτερων πλοίων με μεγαλύτερες απαιτήσεις ισχύος διαφαίνεται η τάση για μικρότερου μεγέθους πλοία. Αντί για τις μεγάλες φρεγάτες, τα αντιτορπιλικά και τα καταδρομικά των πρόσφατων χρόνων αυξάνεται το ενδιαφέρον για σκάφη μεγέθους περιπολικών και κορβέτας με μικρότερο εκτόπισμα αλλά παρόμοιες ικανότητες. Το μικρότερο μέγεθος στα πλοία δεν συνεπάγεται, απαραίτητα, και μικρότερες επιχειρησιακές δυνατότητες. Οι τελευταίες στα μικρά πλοία είναι, κατά κάποιο τρόπο πιο δύσκολο να επιτευχθούν από ότι σε μεγαλύτερα πλοία καθώς το ωφέλιμο φορτίο εξοπλισμού είναι εκτενές. Επιπλέον οι απαιτήσεις ταχύτητας των νεότευκτων πλοίων πρέπει να ταιριάζει με αυτή του υπάρχοντος στόλου. Σε μεγαλύτερα πλοία έχουν χρησιμοποιηθεί πολλαπλοί αεριοστρόβιλοι για να φτάσουν την απαιτούμενη ταχύτητα, η οποία είναι συνήθως 30 κόμβοι ή και μεγαλύτερη. Τα μικρά πλοία με εκτόπισμα 1200 τόνους μπορούν να φτάσουν την ταχύτητα αυτή με μονό αεριοστρόβιλο σε διάταξη CODOG. Για τη μεγιστοποίηση του ωφέλιμου φορτίου επιτυγχάνοντας παράλληλα και την απαιτούμενη ταχύτητα, σε αυτά τα πλοία είναι επιθυμητό σύστημα CODOG απλού αεριοστρόβιλου λόγω των πλεονεκτημάτων βάρους, χώρου και κόστους.

Στη ναυπήγηση πολεμικών πλοίων επανέρχεται το σύστημα CODAG. Ο συνδυασμός αυτός επιτρέπει την ταυτόχρονη λειτουργία κινητήρα Diesel και αεριοστρόβιλου. Επομένως, η συνολική ισχύς είναι το άθροισμα της ισχύος των εγκατεστημένων μηχανών.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εφαρμογή των ναυτικών αεριοστρόβιλων έχει εξελιχθεί σημαντικά από το 1970 σε ένα ευρύ πεδίο εμπορικών και άλλων ναυτικών εφαρμογών. Η εξέλιξη αυτή προκύπτει από τις βελτιώσεις των τεχνικών δυνατοτήτων των αεριοστρόβιλων καθώς επίσης και από την ευφυή χρήση συνδυασμένων συστημάτων τα οποία βελτιστοποιούν την απόδοση. Αυστηροί περιβαλλοντικοί περιορισμοί στα πλοία έχουν ενισχύσει τη χρήση των αεριοστρόβιλων παράλληλα με την εφαρμογή νέων τεχνολογιών συντήρησης. Συμβόλαια πλήρους υποστήριξης, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης απομακρυσμένης διάγνωσης, επιτρέπουν στους operators να απολαμβάνουν τα πλεονεκτήματα της προηγμένης τεχνολογίας χωρίς να απαιτείται επένδυση σε υποδομή υποστήριξης.

Η εφαρμογή των ναυτικών αεριοστρόβιλων θα επεκταθεί και σε άλλους τύπους πλοίων καθώς φαίνονται τα πλεονεκτήματα σε υπάρχουσες εγκαταστάσεις. Τα χαρακτηριστικά που έκαναν τους αεριοστρόβιλους ελκυστικούς σε ναυτικές εφαρμογές, το χαμηλό βάρος και ο μικρός όγκος, η υψηλή αξιοπιστία, το χαμηλό κόστος συντήρησης, και οι χαμηλές εκπομπές, εφαρμόζονται σε περισσότερες εμπορικές κατηγορίες.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

8.1. Έγγραφα

1. Ιωαννίδης Ι.Π., Ναυτικές Μηχανές Τεύχος 1 Γενικά Κινητήρες Diesel, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Τμήμα Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, Αθήνα 1996.
2. Φραγκόπουλος Χρ., Ενεργειακά Συστήματα Πλοίου Τεύχος Α' Ηλεκτρολογικές Εγκαταστάσεις Εισαγωγή στον Αυτοματισμό, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Τμήμα Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, Αθήνα 1996.
3. Φραγκόπουλος Χρ., Ενεργειακά Συστήματα Πλοίου Τεύχος Β', Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Τμήμα Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, Αθήνα Οκτώβριος 1996.
4. Κλουδάς Στ., Αεριοστρόβιλοι, Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα 2003.
5. Lee S. Langston, Gas Turbine Industry Overview: The return of Gaslight, University of Connecticut, ASME
6. Planning for LNG ships powered by gas turbines, GAS CARRIERS Design & Operation, A supplement to the Naval Architect, September 2004.
7. Jari Nurmi, M. Sc. (Mech. and El. Eng.) Manager, R&D, Propulsion in the New Millennium, Presented at the 21st Marine Propulsion Conference, Athens, Greece on 23.3.1999
8. Fredrik Haglind, A review on the use of gas and steam turbine combined cycles as prime movers for large ships. Part I: Background and design, Energy Conversion and Management 49 (2008) 3458-3467.

9. Fredrik Haglind, A review on the use of gas and steam turbine combined cycles as prime movers for large ships. Part II: Previous work and implications, Energy Conversion and Management 49 (2008) 3468-3475.
10. Kenneth Jofs, Gas Turbine Technology for Advanced Cruise Ships, Shipbuilding & Repair, 2004

8.2. World Wide Web

1. [http: www.ship-technology.com/projects/millennium/](http://www.ship-technology.com/projects/millennium/), ανασύρθηκε στις 22 Νοεμβρίου 2009.
2. [http: www.dieselduck.net](http://www.dieselduck.net), available online at Martin's Marine Engineering Page, The future of LNG transportation: Various Propulsion Alternatives by B. Gupta & K. Prasad,
3. [http: www.dieselduck.ca/](http://www.dieselduck.ca/)
4. [http: www.en.wikipedia.org/](http://www.en.wikipedia.org/)
5. [http: www.cogeneration.net/Simple_Cycle_Power_Plant/](http://www.cogeneration.net/Simple_Cycle_Power_Plant/)