

Ευχαριστίες

Αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω τον Καθηγητή μου, για τις όποιες λεπτομέρειες και στοιχεία μου παρείχαν για την εργασία μου καθώς και τον τρόπο που καθοδήγησαν τις σκέψεις μου στην ανάλυση των συγκεκριμένων στοιχείων.

Πρόλογος

Βασικός σκοπός της εν λόγω πτυχιακής εργασίας, αναφέρεται σχετικά η συλλογή, παρουσίαση και ανάλυση στοιχείων που οριοθετούνται στο πλαίσιο της συγκριτικής μελέης υπερσυμπιεστών (Compressor Turbo) για την αύξηση της απόδοσης μιας ΜΕΚ σε Πλοία.

Έτσι λοιπόν και προκειμένου η εν λόγω εργασία να θεωρείται ορθή και αντιπροσωπευτική ως προς τα στοιχεία που εξετάζει, διαχωρίζεται σχετικά σε δύο (2) βασικά κεφάλαια, όπου στο μεν πρώτο κεφάλαιο αναφέρονται και αναλύονται τα Είδη Μηχανών Πλοίων και Λειτουργία Υπερσυμπιεστών (Compressor Turbo) με Σκοπό την Βέλτιστη Συμπεριφορά των Πλοίων και στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται οι Παράγοντες που Επηρεάζουν την Λειτουργία των Πλοίων με τη Χρήση Υπερσυμπιεστών Καθώς και Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα Αυτών.

Abstract:

This final year project refers to the collection and presentation of data relative to the study of super charging methods that aim to increase the efficiency of internal combustion engine of ships.

The project is divided into two main sections.

The first one deals with the different types of ship engines and their operation. The aim is to get the best performance of the ship.

In the second on the parameters that influence the operation of ship engines having already a super charging system fitted to them, are analysed.

Advantages and disadvantages related to such a configuration are drawn.

Εισαγωγή

Τα πλοία όπως και τα αυτοκίνητα σύγχρονης τεχνολογίας, χρησιμοποιούν 2 ειδών υπερσυμπιεστές, τους υπερσυμπιεστές καυσαερίων (turbo) και τους μηχανικούς υπερσυμπιεστές (compressor, supercharger) (Woodyard, 1995). Το Turbo ή υπερσυμπιεστής καυσαερίων, αποτελείται από δύο φτερωτές, συνδεδεμένες μεταξύ τους με έναν άξονα. Η πρώτη φτερωτή γυρίζει από τα καυσαέρια, μεταδίδοντας την κίνηση στην άλλη φτερωτή, η οποία συμπιέζει τον αέρα και στέλνει μεγαλύτερες ποσότητες αέρα στην εισαγωγή του κινητήρα.

Η συμπίεση του αέρα, αυξάνει την θερμοκρασία του. Έτσι πριν ο αέρας φτάσει στην εισαγωγή του κινητήρα, περνάει από το intercooler (εναλλάκτης θερμότητας), το οποίο είναι στην ουσία ένα ψυγείο και ψύχεται. Έτσι με την μεγαλύτερη μάζα αέρα (περισσότερο οξυγόνο), γίνεται καλύτερη καύση αυξάνεται η πίεση και σε συνδυασμό με την παροχή μεγαλύτερης ποσότητας καυσίμου, ο κινητήρας παράγει περισσότερη δύναμη και ροπή, διαθέσιμη σε χαμηλότερες στροφές απ' ότι σ' ένα ατμοσφαιρικό κινητήρα.

Όταν η μηχανή των πλοίων, φτάσει την πίεση για την οποία είναι προορισμένος, τα επιπλέον καυσαέρια που παράγονται, παρακάμπτουν το turbo μέσω της βαλβίδας διαφυγής (wastegate). Ο αέρας που μένει μέσα στο turbo εκτονώνεται στο περιβάλλον μέσω της βαλβίδας εκτόνωσης (Alderton, Winchester, 2002). Λόγω της πολύ μεγαλύτερης ροπής και δύναμης, η μηχανή πλοίων περιστρέφεται σε πολύ λιγότερες στροφές με αποτέλεσμα να καταναλώνει λιγότερο καύσιμο απ' ότι ένας αντίστοιχος ατμοσφαιρικός κινητήρας. Βέβαια σε περιπτώσεις μεγάλης πίεσης, καταναλώνει περισσότερο καύσιμο.

Τα υπερτροφοδοτούμενα πλοία σε σχέση με τα ατμοσφαιρικά, χρειάζονται διαφορετική αντιμετώπιση. Στην εκκίνηση της μηχανής χρειάζεται εγκράτεια μέχρι το turbo και ο κινητήρας να αποκτήσουν την ιδανική

θερμοκρασία λαδιού. Δεν πρέπει να πιέζουμε τον κινητήρα μέχρι να ζεσταθεί.

Το turbo εφευρέθηκε το 1905 από τον Ελβετό Alfred Büchi. Στην αρχή τοποθετούνταν σε πλοία, τρένα και αεροπλάνα. Το πρώτο turbo αυτοκίνητο ήταν το Oldsmobile της General motors το 1962. Το πρώτο sport αυτοκίνητο με turbo ήταν το 911 Turbo που παρουσίασε η PORSCHE το 1974. Τα πρώτα αυτοκίνητα τα οποία χρησιμοποίησαν turbo με diesel κινητήρες ήταν τα Mercedes 300SD και Peugeot 604 τα οποία παρουσιάστηκαν το 1978.

Στα πλοία δε, ο μηχανικός υπερσυμπιεστής, κάνει την ίδια δουλειά με το turbo, με εντελώς διαφορετικό τρόπο. Έχει άμεση απόκριση αλλά και μεγαλύτερες φθορές, κατανάλωση και απώλειες από το turbo.

1. Κεφάλαιο Πρώτο – Είδη Μηχανών Πλοίων και Λειτουργία Υπερσυμπιεστών (Compressor Turbo) με Σκοπό την Βέλτιστη Συμπεριφορά των Πλοίων

1.1 Τύποι Μηχανών Πλοίων

Γενικά Μηχανή ή μηχανήμα ονομάζεται οποιοδήποτε εργαλείο ή μέσον που μπορεί να διευκολύνει την ανθρώπινη εργασία ή που μπορεί να αυξήσει τη δύναμή της. Επίσης οποιαδήποτε συσκευή που χρησιμοποιείται για τη παραγωγή έργου, είτε μεταδίδοντας είτε μετατρέποντας άλλη μορφή ενέργειας (δύναμης) σε παραγωγή έργου. Ακόμη μπορεί να εννοείται και κάθε ευφυής επιινόηση (Woodyard, 1995).

Κατά τη μηχανολογία, ως μηχανή νοείται ένα σύνολο μηχανικών μερών και μηχανισμών ικανών να μετατρέψουν μια ενέργεια τροφοδότησης σε μία διαφορετικού ή ίδιου τύπου αλλά με διαφορετικές παραμέτρους τελική ενέργεια, προκειμένου να την χορηγήσουν σε άλλες μηχανές ή να την χρησιμοποιήσουν άμεσα για να πραγματοποιήσουν συγκεκριμένες διαδικασίες παραγωγής έργου. Γενικά οι μηχανές πλοίων διαιρούνται σε (Φραγκόπουλος, 2005):

- *Μηχανές κίνησης ή κινητήριες μηχανές: που παράγουν μηχανικό έργο.*
- *Μηχανές ενεργειακές: που απορροφούν μηχανική ενέργεια, δηλαδή κινούνται από έναν κινητήρα και εκτελούν ένα έργο επιδρώντας πάνω στην ύλη, με τρόπο τέτοιο ώστε να αλλάξει η μορφή ή η θέση ή η ενέργεια (σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι βιομηχανικές μηχανές, οι αγροτικές κ.λ.π.) και*
- *Μηχανές μετάδοσης: που μεταδίδουν έναν συγκεκριμένο τύπο ενέργειας διαφοροποιώντας μόνο τα χαρακτηριστικά της.*

1.1.1 Κινητήριες Μηχανές

Κινητήρια μηχανή ονομάζεται γενικά κάθε μηχανή που παράγει κινητήριο ωφέλιμο μηχανικό έργο. Τέτοιες μηχανές είναι των σιδηροδρόμων, των πλοίων, των αυτοκινήτων, διαφόρων αντλιών, καθώς και οι μηχανές γεννητριών παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Η διάταξη της σύγχρονης γενικά μηχανής είναι τέτοια ώστε να επιτυγχάνεται τελικά η κίνηση του λεγόμενου άξονα της μηχανής, από τον οποίο και παραλαμβάνεται το κινητήριο ή ωφέλιμο έργο (Alderton, Winchester, 2002).

Όλες οι κινητήριες μηχανές κατά την λειτουργία τους παραλαμβάνουν κατά κανόνα ενέργεια κάποιας μορφής π.χ. θερμική, ηλεκτρική ή υδραυλική κλπ. και την μετατρέπουν (ορθότερα μέρος αυτής) σε μηχανική ή κινητήριο έργο. Ανάλογα της μορφής της ενέργειας που παραλαμβάνουν οι κινητήριες μηχανές πετρελαιοφόρων πλοίων διακρίνονται σε (Alderton, Winchester, 2002):

- *Θερμικές μηχανές ή θερμοκινητήρες: Στη κατηγορία αυτή ανήκουν οι ατμομηχανές, οι ατμοστρόβιλοι, οι αεριοστρόβιλοι, οι βενζινοκινητήρες ή βενζινομηχανές, οι αεριομηχανές, οι πετρελαιομηχανές ή κινητήρες Diesel κ.ά.*
- *Υδραυλικοί κινητήρες. Στην κατηγορία αυτή οι μηχανές καταναλίσκουν υδραυλική ενέργεια.*
- *Ηλεκτρικοί κινητήρες ή ηλεκτροκινητήρες.*
- *Θερμικές μηχανές ή θερμοκινητήρες ονομάζονται οι μηχανές, οι οποίες μετατρέπουν την θερμότητα που παράγεται από την χημική ενέργεια της καύσης σε μηχανικό έργο.*

Ανάλογα με τον τρόπο πραγματοποίησης της καύσης εμπορικών πλοίων, αυτές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες : στις μηχανές εσωτερικής καύσεως (Μ.Ε.Κ.) και στις μηχανές εξωτερικής καύσεως ή ατμομηχανές. Εσωτερικής καύσεως ονομάζονται οι μηχανές που ως μέσο για την παραγωγή έργου χρησιμοποιούν τον αέρα και κατά κάποιο τρόπο το ίδιο το καύσιμο, δηλαδή καυσαέρια π.χ εμβολοφόρος κινητήρας αυτοκινήτου, αεροστρόβιλος αεροπλάνου (Alderton, Winchester, 2002).

Εξωτερικής καύσεως ονομάζονται οι μηχανές όπου η καύση δεν λαμβάνει μέρος στο χώρο παραγωγής έργου, αλλά έξω από αυτόν και στις οποίες το μέσο παραγωγής έργου δεν είναι το καυσαέριο, αλλά κάποιο άλλο στοιχείο όπως π.χ. νερό. Σε αυτήν την κατηγορία, ανήκουν οι ατμοστρόβιλοι, οι ατμομηχανές (Woodyard, 1995).

Ανάλογα με τον τρόπο μετατροπής της θερμικής ενέργειας σε μηχανικό έργο, οι θερμικές μηχανές διακρίνονται σε εμβολοφόρους ή παλινδρομικές (ισχύουν τόσο για τις μηχανές εσωτερικής όσο και για τις εξωτερικής καύσεως) και σε περιστροφικές ή στροβίλους (στις μηχανές εσωτερικής καύσης ονομάζονται αεριοστρόβιλοι και στις εξωτερικής καύσεως ατμοστρόβιλοι).

Ειδικότερα, όμως στις εμβολοφόρους - παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης, η έναυση στον κύλινδρο μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με τη βοήθεια εξωτερικού μέσου (π.χ. σπινθήρα), είτε αυτόματα, λόγω μεγάλης θέρμανσης του καυσίμου πετρελαιοφόρων πλοίων. Έτσι, στην πρώτη περίπτωση υπάγονται οι «Κινητήρες Όπο», που διακρίνονται σε αεριομηχανές και σε βενζινομηχανές, και στη δεύτερη οι μηχανές ντήζελ, ή πετρελαιομηχανές.

1.1.2 Υδραυλικές Μηχανές

Οι υδραυλικές μηχανές μετατρέπουν την κινητική ενέργεια ενός υγρού σε κίνηση, κυρίως του νερού σε ενέργεια μηχανική και αντίστροφα. Στην πρώτη περίπτωση έχουμε τις *κινητήριες υδραυλικές μηχανές* (υδραυλικές τουρμπίνες, υδραυλικούς τροχούς, κινητήρες με στήλη νερού), στη δεύτερη περίπτωση έχουμε τις *ενεργειακές υδραυλικές μηχανές* (αντλίες με πιστόνι, αντλίες περιστροφής). Ανάμεσα στις υδραυλικές μηχανές μετάδοσης συγκαταλέγονται οι πρέσες, οι στριφτές και οι υδραυλικοί γρύλοι, μεταξύ των μετασχηματιστών οι εγχυτήρες και οι υδραυλικοί δριοί (Alderton, Winchester, 2002).

1.1.3 Ηλεκτρικές Μηχανές Πλοίων

Οι ηλεκτρικές μηχανές μετατρέπουν την μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική (γεννήτριες) ή αντίστροφα (κινητήρες) ή μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά σε ηλεκτρική διαφορετικών χαρακτηριστικών.

Η αρχή λειτουργίας βασίζεται πάνω στην παραγωγή ηλεκτροκινητικών δυνάμεων για ηλεκτρομαγνητική επαγωγή. Γι' αυτό το σκοπό μετατρέπεται στο ένα μέρος της μηχανής, που ονομάζεται επαγωγίμο, η μαγνητική ροή που παράγεται από ένα άλλο μέρος που παίρνει το όνομα επαγωγέας. Η μετατροπή της ροής επιτυγχάνεται μέσω μιας περιστροφικής κίνησης μεταξύ του επαγωγίμου και του επαγωγέα. Το σταθερό τμήμα της μηχανής ονομάζεται στάτορας, το κινητό ρότορας. Οι λειτουργίες του επαγωγίμου ή του επαγωγέα μπορούν να αποδοθούν ανάλογα με τις περιπτώσεις είτε στον στάτορα, είτε στον ρότορα ().

1.2 Μ.Ε.Κ. – Μηχανές Εσωτερικής Καύσης που Χρησιμοποιούν Υπερσυμπιεστές

Μια μηχανή εσωτερικής καύσης ή κινητήρας εσωτερικής καύσης είναι ένας κινητήρας στον οποίο η καύση του καυσίμου γίνεται σε ένα θάλαμο καύσης που βρίσκεται ολόκληρος μέσα στο κινητήρα. Με τον όρο μηχανές εσωτερικής καύσης συνήθως εννοούνται κυρίως οι παλινδρομικές–εμβολοφόρες μηχανές και οι κινητήρες Βάνκελ (*Wankel*). Μια δεύτερη κατηγορία των κινητήρων εσωτερικής καύσης είναι οι κινητήρες τζετ, κάποιοι πύραυλοι και ορισμένες τουρμπίνες ώσης και ισχύος που κάνουν χρήση συνεχούς καύσης (Φραγκόπουλος, 2005).

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 είναι πάντα η εκτόνωση της πίεσης των αερίων που

παράγονται όπου εφαρμόζουν δύναμη στο κινητό μέρος του κινητήρα, όπως τα έμβολα ή πτερύγια (Woodyard, 1995).

Η μηχανή εσωτερικής καύσης (ή MEK) 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 MEK 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 κινητές εφαρμογές και κυριαρχούν στα αυτοκίνητα, αεροσκάφη και πλοία, από το μικρότερο έως το μεγαλύτερο. Οι τετράχρονοι κινητήρες εσωτερικής καύσης έχουν 4 φάσεις λειτουργίας («χρόνους») ():

- *Εισαγωγή.* Το καύσιμο μείγμα εισέρχεται στο θάλαμο καύσης από την ανοιχτή βαλβίδα εισαγωγής
- *Συμπίεση.* Το έμβολο κινείται προς το άνω νεκρό σημείο και συμπιέζει το καύσιμο μείγμα
- *Ανάφλεξη.* Η ακαριαία αύξηση της θερμοκρασίας, σε συνδυασμό με τον ηλεκτρικό σπινθήρα που δίνεται από το μπουζί, προκαλούν την ανάφλεξη του καύσιμου μείγματος. Η έναυση δεν γίνεται στο άνω νεκρό σημείο αλλά λίγο πιο πριν (προπορεία ανάφλεξης, «αβάνς»)
- *Καύση / Εκτόνωση.* Το μείγμα καίγεται και εκτονώνεται, πιέζοντας το έμβολο προς το κάτω νεκρό σημείο, παράγοντας ωφέλιμο έργο
- *Εξαγωγή.* Το έμβολο, που λόγω της πίεσης των αερίων της καύσης έχει φτάσει στο κάτω νεκρό σημείο, λόγω της αδράνειας του συστήματος έμβολο-στροφαλοφόρος-σφόνδυλος, αρχίζει να κινείται προς τα επάνω σπρώχνοντας τα αέρια προς την ανοιχτή βαλβίδα εξαγωγής. Έτσι τα προϊόντα της καύσης εξέρχονται από το θάλαμο καύσης.

Πολλοί κινητήρες επικαλύπτουν αυτά τα βήματα στο χρόνο, οι αεριοστροβιλοκινητήρες κάνουν όλα τα βήματα ταυτόχρονα σε διάφορα μέρη του κινητήρα, ενώ ορισμένοι κινητήρες εσωτερικής καύσης έχουν επιπλέον βήματα, ενώ άλλοι έχουν μόνο δύο χρόνους (δίχρονοι κινητήρες) (Alderton, Winchester, 2002).

1.3 Οι Τάσεις της Εποχής μας Σχετικά με τα Συστήματα Ναυτικών Μηχανών Προώσεων Πλοίων

Τα πλοία καταναλώνουν μόλις 10% της ενέργειας που καταναλώνουν τα οχήματα και 20% της ενέργειας που καταναλώνουν τα τραίνα. Μέσα στις δύο τελευταίες δεκαετίες η ναυτιλία έχει μειώσει την κατανάλωση ενέργειας της κατά 30%. Παράλληλα, ενώ μεταφέρει 80% του παγκόσμιου εμπορίου, παράγει μόνο το 2% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα παγκοσμίως. Λιγότερο από 1% παγκοσμίως των διαρροών πετρελαίου οφείλονται στην επιβατηγό ναυτιλία ενώ τα επιβατηγά-οχηματαγωγά πλοία προκαλούν τη χαμηλότερη θαλάσσια ρύπανση από όλα τα είδη πλοίων.

Η κάθε ναυτιλιακή εταιρία προσπαθεί να επιβάλει αυστηρά μέτρα για τη διασφάλιση της προστασίας του περιβάλλοντος, την ποιότητα του στόλου, και την παροχή του υψηλότερου επιπέδου παροχής υπηρεσιών στους επιβάτες από την αρχή της δραστηριότητάς της. Στόχος της κάθε εταιρίας είναι να διατηρήσει τον ηγετικό της ρόλο στον κλάδο, και θα συνεχίσει να αναπτύσσει και να υιοθετεί μέτρα που θα διασφαλίζουν την παροχή της καλύτερης δυνατής ποιότητας υπηρεσιών προς τους επιβάτες.

Η ανάπτυξη μίας εταιρικής πολιτικής εναρμονισμένης με τους περιβαλλοντολογικούς κανόνες τόσο για τα γραφεία όσο και για τα πλοία της εταιρίας είναι σοβαρή πρόκληση για αυτήν. Γι' αυτό το σκοπό η κάθε εταιρία συνεργάζεται με τα πιο σύγχρονα ναυπηγεία για να διασφαλίσει ότι όλα τα πλοία της διαθέτουν τα πιο σύγχρονα τεχνολογικά μέσα ώστε η λειτουργία

τους να σέβεται και να προστατεύει την ανεκτίμητη αλυσίδα ζωής, τόσο της θάλασσας όσο και του αέρα. Παράλληλα, τα πλοία του στόλου πιστοποιούνται σύμφωνα με τα αυστηρότερα κριτήρια για την προστασία του περιβάλλοντος.

Παράλληλα, πολλά από τα πλοία των εταιριών είναι πιστοποιημένα κατά τον κώδικα Ασφαλούς Διαχείρισης ISM σύμφωνα με τις απαιτήσεις του SOLAS για την ασφάλεια της ανθρώπινης ζωής στη θάλασσα. Επιπροσθέτως η κάθε ναυτιλιακή εταιρία μπορεί να έχει πλοία τα οποία είναι πιστοποιημένα κατά τα πρότυπα του κώδικα Διαχείρισης Ποιότητας ISO 9001:2000 και οι μηχανές τους λειτουργούν με τις αντίστοιχες νομοθεσίες. Οι πιστοποιήσεις έγιναν από τον Αμερικανικό Φορέα Πιστοποίησης ABS Quality Evaluations του διεθνούς Ομίλου Εταιριών American Bureau of Shipping.

Η πιστοποίηση κατά τον κώδικα Διαχείρισης Ποιότητας ISO 9001:2000 αποτελεί αναγνώριση του υψηλού επιπέδου υπηρεσιών που προσφέρει η εταιρία. Τα νεότευκτα πλοία γραμμών θα πρέπει να είναι πλοία με μηχανές τελευταίας τεχνολογίας οι προδιαγραφές των οποίων διασφαλίζουν τη συμμόρφωση προς τους ισχύοντες διεθνείς κανόνες προστασίας περιβάλλοντος Marine Pollution (Marpol) όπως αυτοί ορίζονται από το διεθνή οργανισμό International Maritime Organization (IMO).

Επιπλέον, η σχεδίαση των υφάλων όλων των νεότευκτων πλοίων γίνεται με στόχο τα κύματα που παράγονται στην επιφάνεια της θάλασσας κατά το ταξίδι, να επηρεάζουν το λιγότερο δυνατό τις διάφορες παράκτιες και άλλες θαλάσσιες δραστηριότητες. Στόχος της κάθε εταιρίας είναι να προσφέρει στους επιβάτες υψηλής ποιότητας υπηρεσίες περιορίζοντας παράλληλα όποιες επιπτώσεις μπορεί να έχει η λειτουργία των πλοίων, όπως κάθε άλλη ανθρώπινη δραστηριότητα άλλωστε, στο περιβάλλον. Η πολιτική της εταιρίας για την ελάχιστη επιβάρυνση του περιβάλλοντος από τη λειτουργία των πλοίων της επιτυγχάνεται μέσα από ένα συνδυασμό ενεργειών :

- *Εξασφάλιση και διατήρηση της υψηλής απόδοσης κατά τη λειτουργία των μηχανών και των διαφόρων άλλων μηχανημάτων, μέσα από ένα σύστημα προληπτικής συντήρησης,*
- *συνεχής επένδυση σε σύγχρονη τεχνολογία, φιλική προς το περιβάλλον,*

➤ *αυστηρή τήρηση διεθνών και τοπικών κανονισμών.*

1.3.1 Χαρακτηριστικά και Λειτουργία Μηχανών Βραδύστροφων Κινητήρων Μεγάλης Ισχύος σε Πλοία

Οι μηχανές diesel για πλοία που σχεδιάζουν και παράγουν οι κατασκευάστριες επιχειρήσεις στις μέρες μας, διακρίνονται σε δίχρονες και τετράχρονες, βάσει των στροφών τους σε χαμηλών, μεσαίων και υψηλών στροφών και βάσει της ισχύος τους σε μικρή, μεσαία και μεγάλη ιπποδύναμη. Οι δίχρονες μηχανές συνδυάζουν χαμηλές στροφές λειτουργίας (μικρότερη των 250 rpm) με υψηλή απόδοση και χρησιμοποιούνται ως προωθητικές μηχανές σε σχετικώς μεγάλα πλοία όπως τα bulk carriers ή τα tankers.

Οι τετράχρονες μηχανές λειτουργούν σε στροφές μεγαλύτερες των 250 rpm και χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο ως προωθητικές μηχανές σε πλοία μεσαίου μεγέθους ή σε πλοία που χρειάζονται μηχανές που λειτουργούν χωρίς κραδασμούς, όπως τα κρουαζιερόπλοια. Επιπλέον, οι τετράχρονες μηχανές χρησιμοποιούνται και ως βοηθητικές μηχανές για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος πάνω σε πλοία.

Οι υψηλόστροφες μηχανές χρησιμοποιούνται αποκλειστικά σχεδόν στα πολεμικά πλοία. Οι μηχανές diesel μπορούν επίσης να παράγουν ρεύμα στρέφοντας μία γεννήτρια αντί μίας έλικας, γι' αυτό και οι μηχανές αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εγκαταστάσεις που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια είτε διαρκώς είτε περιοδικώς ή σε περιπτώσεις ανάγκης. Η WARTSILA αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα των παραπάνω αφού σχεδιάζει και παράγει τετράχρονες μηχανές diesel με την ονομασία SULZER για πλοία τονάζ πάνω από 100 grt και τετράχρονες μηχανές diesel για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, σχετικές αγορές των μηχανών βραδύστροφων κινητήρων Diesel (ισχύς 4000 PS) που αφορά σε λειτουργία μηχανών πλοίων, είναι εκείνες των: α) δίχρονων μηχανών diesel για πλοία, β) τετράχρονων μηχανών diesel για πλοία και γ) μηχανών diesel για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, συμπεριλαμβανομένων και των ανταλλακτικών τους.

Είναι προφανές ότι οι μηχανές diesel βραδύστροφων κινητήρων Diesel (ισχύς 4000 PS) για πλοία δεν θα μπορούσαν να υποκατασταθούν από μηχανές που χρησιμοποιούν άλλες μορφές ενέργειας. Κάτι τέτοιο θα ήταν πρακτικά αδύνατο με βάση τις υπάρχουσες τεχνοοικονομικές συνθήκες.

Η αυτονομία και μόνον στην κίνηση του πλοίου, σε συνδυασμό με τη διεθνή τιμή του πετρελαίου, δεν επιτρέπει άλλη τεχνολογία για την πρόωση ενός πλοίου εκτός της μηχανής diesel τύπου βραδύστροφων κινητήρων Diesel (ισχύς 4000 PS). Αλλά ούτε υποκατάσταση μεταξύ δίχρονων και τετράχρονων θα μπορούσε να γίνει, αφού χρησιμοποιούνται σε διαφορετικό τύπο πλοίου η κάθε μία. Όσον αφορά στις μηχανές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι μηχανές diesel δεν χρησιμοποιούνται στις κεντρικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τουλάχιστον στα ανεπτυγμένα κράτη του κόσμου, όπου προτιμώνται άλλες μορφές ενέργειας.

Θα πρέπει αντίστοιχα να σημειωθεί πως οι βραδύστροφοι κινητήρες Diesel (ισχύς 4000 PS) έχουν μελετηθεί, σχεδιαστεί και κατασκευαστεί ειδικά ως ναυτικές μηχανές πρόωσης, αφού διαθέτουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά.

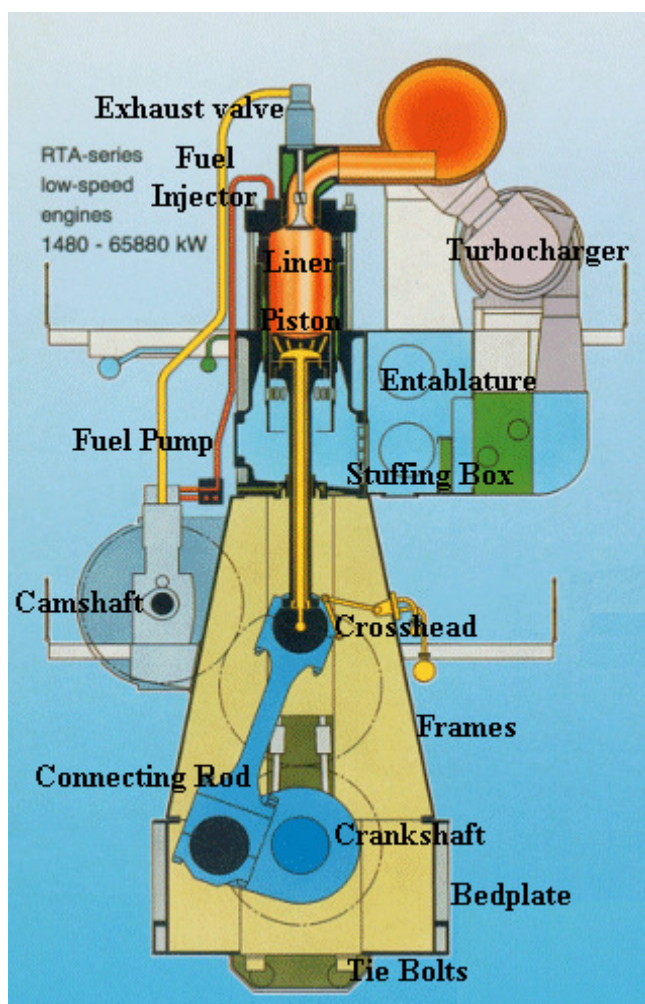
- Υψηλή απόδοση
- Απλότητα κατασκευής
- Μεγάλη αξιοπιστία
- Συνήθως με δυνατότητα αναστροφής

Πολλοί μεσόστροφοι και ταχύστροφοι κινητήρες έχουν υποστεί κατάλληλες μετατροπές ώστε να προσαρμοστούν στις απαιτήσεις μιας ναυτικής μηχανής όπως εκείνη της SULZER RTA. Τέτοιες μετατροπές περιλαμβάνουν:

- Προσθήκη διάταξης για την μείωση στροφών (μειωτήρας)
- Δυνατότητα αναστροφής της φοράς περιστροφής (μειωτήρας και συμπλέκτης ή αναστροφή της μηχανής)
- Αντικατάσταση του ψυγείου αέρα με ψυγείο θάλασσας
- Αναπροσαρμογή της ονομαστικής ισχύος του κινητήρα για αυξημένη αξιοπιστία σε ναυτικές εφαρμογές

Η σειρά κινητήρων βραδύστροφων κινητήρων Diesel (ισχύς 4000 PS) εμφανίστηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1980 και γνώρισε μεγάλη αποδοχή πρωτίστως στη ναυτιλία, αλλά και στην ηλεκτροπαραγωγή. Οι κινητήρες RTA κατασκευάζονται, αναπτύσσονται και εξελίσσονται μέχρι σήμερα εφοδιαζόμενοι με την τελευταία λέξη της τεχνολογίας για τους αργόστροφους δίχρονους κινητήρες, τα ψηφιακά ελεγχόμενα συστήματα τροφοδοσίας τύπου Common-Rail και τον ψηφιακά ελεγχόμενο μεταβλητό χρονισμό για τις βαλβίδες εξαγωγής.

Σχήμα Νο.1 – Απεικόνιση Λειτουργίας Μηχανής τύπου βραδύστροφων κινητήρων Diesel (ισχύς 4000 PS)

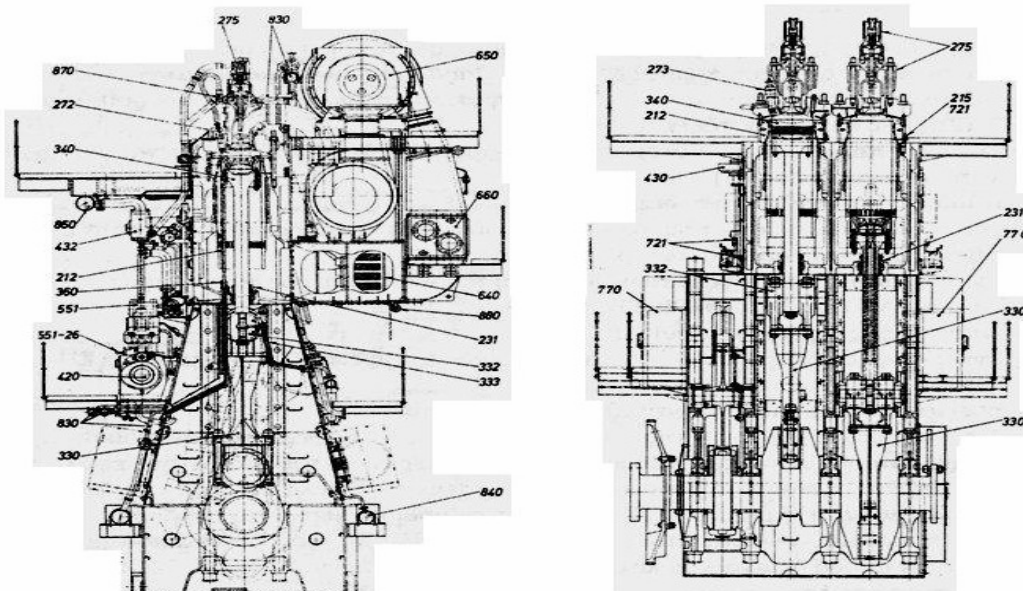


Η μηχανή βραδύστροφων κινητήρων Diesel (ισχύς 4000 PS) (Σχήμα Νο.1) είναι δίχρονη, με κυλίνδρους διατεταγμένους σε σειρά, με σύστημα ροής κατά μία διεύθυνση (διαμήκους αποπλύσεως), με βαλβίδα στην κεφαλή και με

υπερπληρωτές που λειτουργούν με σύστημα σταθερής πίεσης ή παλμών. Ο αέρας σάρωσης ψύχεται με γλυκό ή θαλασσινό νερό και μπαίνει στους κυλίνδρους μέσω ανεπίστροφων βαλβίδων, όταν το έμβολο βρίσκεται κοντά στο ΚΝΣ. Στα χαμηλά φορτία τον αέρα συμπληρώνουν βοηθητικοί ηλεκτροκίνητοι φυσητήρες ανεξάρτητης κίνησης.

Οι βαλβίδες εξαγωγής ανοίγουν υδραυλικά και οι κύλινδροι συνδέονται με τη βάση της μηχανής με εντατήρες κοχλίες. Οι κεφαλές, τα χιτώνια και τα έμβολα ψύχονται με γλυκό νερό. Οι αντλίες λαδιού και νερού είναι 36 ανεξάρτητης κίνησης επίσης και ο εκκεντροφόρος κινείται από τον στροφαλοφόρο, μέσω οδοντωτών τροχών. Ο ωστικός τριβέας και ο κρίκος, τοποθετούνται στο άκρο του σφονδύλου και η μηχανή ξεκινάει με αέρα πίεσεως, που ανοίγει τις βαλβίδες αέρα των κυλίνδρων, μέσω διανομέα.

Στο ακόλουθο σχήμα (No.2) παρουσιάζεται το σχέδιο τυπικού κινητήρα της σειράς βραδύστροφων κινητήρων Diesel (ισχύς 4000 PS) και σε αυτό διακρίνονται τα βασικά εξαρτήματα που τον απαρτίζουν. Τα κυριότερα από αυτά αναλύονται στη συνέχεια συνοδευμένα από σχετικά επιμέρους σχέδια, αλλά και με αναφορά του καθενός στο σχέδιο No. 2.

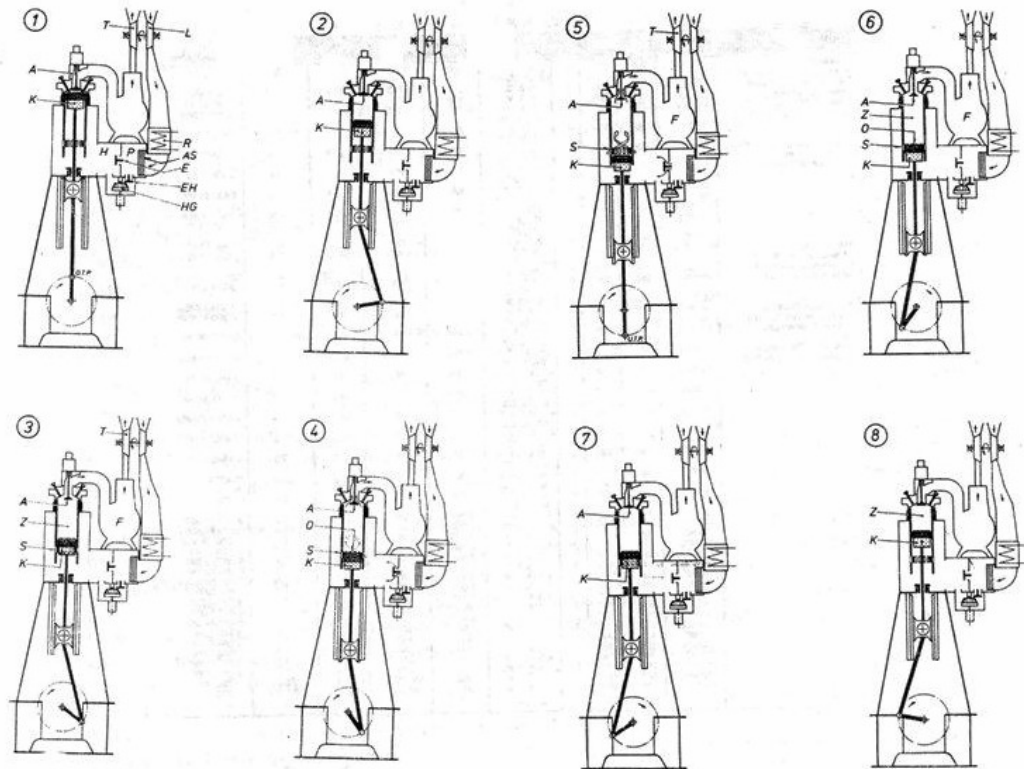


Σχήμα No. 2 : Η μηχανή βραδύστροφων κινητήρων Diesel μεγάλης ισχύος (πάνω από 4000 PS)

Η λειτουργία μιας μηχανής βραδύστροφων κινητήρων Diesel (ισχύς 4000 PS) παριστάνεται σχηματικά στο σχήμα Νο.3 και περιλαμβάνει δύο διαδρομές, την εκτόνωση και τη συμπίεση, στα πλαίσια κάθε μιας από τις οποίες εκτελούνται οι διεργασίες που περιγράφονται στη συνέχεια και παριστάνονται στα επιμέρους σχήματα του σχήματος Νο. 3

- Διαδρομή 1η (Εκτόνωση): Το έμβολο Κ είναι στο ΑΝΣ και η βαλβίδα εξαγωγής Α είναι κλειστή. Γίνεται έγχυση καυσίμου στην περιοχή αυτή.
- Καύση: Το Κ κατέρχεται με την πίεση των αερίων, η Α κλειστή και ο στροφαλοφόρος στρέφεται.
- Εκτόνωση: Η βαλβίδα Α ανοίγει και φεύγουν αέρια από τον κύλινδρο Ζ προς τον οχετό εξαγωγής Ε.
- Προεξαγωγή: Οι θυρίδες εισαγωγής είναι ακόμα κλειστές από το έμβολο Κ. Κατερχόμενο παραπέρα το Κ ανοίγει την άνω άκρη Ο των θυρίδων σάρωσης Ν. Η σάρωση αρχίζει και ο αέρας διώχνει τα καυσαέρια από τον Ζ.
- Διαδρομή 2η: Με το έμβολο στο ΚΝΣ η σάρωση συνεχίζεται και τα αέρια δια της Α και του οχετού καυσαερίων Ε έρχονται στο στρόβιλο.
- Σχ. 3 (6): Το Κ ανέρχεται και κλείνει το Ο των θυρίδων σάρωσης S, αλλά η πίεση των αερίων στον Ε δεν αφήνει τον αέρα να φύγει από τον κύλινδρο Ζ μέσω της Α.
- Σχ. 3 (7): Το έμβολο Κ κινείται προς τα άνω και η Α κλείνει.
- Σχ. 3(8): Παραπέρα ανύψωση του Κ συμπιέζει τον αέρα. Πριν το ΑΝΣ γίνεται έγχυση και ανάφλεξη.

Επίσης, όπως φαίνεται στο σχήμα 3 (1), ο οχετός σάρωσης χωρίζεται διαμήκως με διάφραγμα με ανεπίστροφες βαλβίδες Ε στο χώρο Η και Ρ και για αυτό ο χώρος Η είναι ανοικτός σε όλους τους κυλίνδρους. Ο συμπιεστής L καταθλίβει τον αέρα, ο οποίος οδηγείται μέσω του ψυγείου R και του διαχωριστή νερού AS, στο χώρο Ρ και μέσω των Ε στον Η. Ο ανεξάρτητος ηλεκτροφυσητήρας ΗG λειτουργεί μόνον πριν από την εκκίνηση της μηχανής, στα χαμηλά φορτία και στην εκτέλεση κινήσεων(στα πλοία), όταν ο συμπιεστής L στέλνει λίγο ή καθόλου αέρα. Αυτός αναρροφά αέρα μέσω της βαλβίδας ΕΗ από τον χώρο Ρ και τον καταθλίβει στο χώρο Η.



Σχήμα Νο. 3 : Λειτουργία κινητήρα βραδύστροφων κινητήρων Diesel (ισχύς 4000 PS).

1.4 Η Έννοια και τα Χαρακτηριστικά των Υπερσυμπιεστών (Compressor Turbo) στα Πλοία

Ο υπερσυμπιεστής (turbo) χρησιμοποιείται, προκειμένου να αυξηθεί η ιπποδύναμη ενός κινητήρα. Τα καυσαέρια, μέσω της εξαγωγής, οδηγούνται σε μία φτερωτή, προκαλώντας την περιστροφή της. Μέσω ενός μικρού άξονα, η περιστροφική κίνηση μεταβιβάζεται σε μία άλλη έλικα, που είναι τοποθετημένη στην αντίθετη άκρη του και η οποία συμπιέζει αέρα στο σύστημα εισαγωγής του κινητήρα (Alderton, Winchester, 2002).

Πρακτικά, δηλαδή, ρουφάει με πολλή πίεση αέρα και τον οδηγεί στο θάλαμο καύσης, επιτυγχάνοντας έτσι καλύτερη αναλογία οξυγόνου και ποσότητας καυσίμου. Το κέλυφος του turbo είναι αρκετά ευαίσθητο επειδή συστέλλεται και διαστέλλεται ανάλογα με τη θερμοκρασία.

Οι υπερσυμπιεστές που χρησιμοποιούνται στις Μηχανές Εσωτερικής Καύσης στα πλοία, χρησιμοποιούν την ενέργεια των καυσαερίων του κινητήρα

για ν' αυξήσουν την ποσότητα του αέρα (κι επομένως και του καυσίμου) που εισέρχεται στον κινητήρα σε κάθε κύκλο λειτουργίας. Αυτό γίνεται με την κίνηση ενός μικρού στροβίλου (τουρμπίνας) από τα καυσαέρια, που με τη σειρά του μεταδίδει την κίνηση σ' ένα συμπιεστή που συμπιέζει τον αέρα εισαγωγής (Woodyard, 1995).

Έτσι στον ίδιο χώρο μπορούσε να έχουμε μεγαλύτερη μάζα αέρα, κι επομένως μπορούμε να τον αναμείξουμε με μεγαλύτερη μάζα καυσίμου. Οι υπερσυμπιεστές βέβαια δεν λύνουν όλα τα προβλήματα, ή καλύτερα λύνουν ορισμένα και δημιουργούν άλλα στην λειτουργία των μηχανών των πλοίων. Και πρώτα απ' όλα, πέρα από τα λειτουργικά προβλήματα, υπάρχουν τα προβλήματα αυξημένου κόστους και διαθέσιμου χώρου.

Πέρα όμως από τις προσπάθειες για συμπίεση του κόστους παραγωγής τους σε μηχανές πλοίων, πρέπει να υπάρξουν και άλλες για ουσιαστική μείωση των καταναλώσεων σε σχέση με τους συμβατικούς κινητήρες, ώστε η λειτουργία ενός πλοίου με κινητήρα με υπερσυμπιεστή να είναι συμφέρουσα.

Όσο για το κόστος πιστεύεται ότι, αφενός θα μειωθεί όταν η παραγωγή γίνει περισσότερο μαζική, αφετέρου είναι ήδη μειωμένο, από το γεγονός ότι για την ίδια ισχύ χρειαζόμαστε μικρότερους κι επομένως φτηνότερους κινητήρες. Από την άλλη πλευρά, σχετικά με το πρόβλημα του χώρου, η προσπάθεια είναι να μειωθεί το μέγεθος του υπερσυμπιεστή, αλλά και να είναι εύκολη η τοποθέτησή του κάτω από το καπό, ανάλογα με το είδος και τις απαιτήσεις του κινητήρα στα πλοία (Alderton, Winchester, 2002). □

Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η έρευνα που πραγματοποιήθηκε από την Forrester Consulting και απέδειξε ότι οι υπερσυμπιεστές της ABB βελτιώνουν περαιτέρω την απόδοση των μηχανών και μειώνουν την κατανάλωση καυσίμου στα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας η αναβάθμιση υπερσυμπιεστών της εταιρείας δημιουργούν απόδοση επί της επένδυσης (ROI) σε ποσοστό 64%, η οποία προέρχεται από την αύξηση της απόδοσης των μηχανών η οποία αποτιμήθηκε σε \$537.000 σε ετήσια βάση αλλά και από την μείωση της

κατανάλωσης καυσίμου που μπορεί να οδηγήσει σε εξοικονόμηση \$470.000 κατ' έτος (ή ποσοστό 1,6% επί της ετήσιας κατανάλωσης καυσίμων) (Woodyard, 1995).

Τα αποτελέσματα βασίστηκαν στην λειτουργία τριών μηχανών σε εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας στην Καραϊβική οι οποίες χρησιμοποιούσαν συνολικά έξι υπερσυμπιεστές. Η έρευνα καταλήγει ότι το κόστος της επένδυσης για την αναβάθμιση των υπερσυμπιεστών μπορεί να αποσβεστεί μέσα σε 11 μήνες.

Οι υπερσυμπιεστές χρησιμοποιούν τα καυσαέρια της μηχανής προκειμένου να τροφοδοτήσουν τους κυλίνδρους με περισσότερο αέρα βελτιώνοντας την απόδοσή τους. Η αναβάθμιση αφορά την αντικατάσταση παλαιών υπερσυμπιεστών ή τμημάτων τους, με νέα καλύτερης τεχνολογίας (Φραγκόπουλος, 2005).

Ωστόσο άλλα προβλήματα των κινητήρων με υπερσυμπιεστή είναι η καθυστέρηση απόκρισης στη ταχύτητα του πλοίου και η αδυναμία για επίπεδη καμπύλη ροπής. Το ιδανικό θα ήταν να μπορούσαμε να έχουμε μεγάλες ταχύτητες περιστροφής του υπερσυμπιεστή σ' όλη την κλίμακα των στροφών κατά την διάρκεια λειτουργίας των μηχανών στα πλοία. Αν όμως μεγιστοποιήσουμε την ταχύτητα του συμπιεστή στις χαμηλές στροφές σε αυτά, η υπερτροφοδοσία θα είναι υπερβολική στις πολλές στροφές, με αποτέλεσμα πολύ μεγάλες πιέσεις, που θα ξεπερνούν την αντοχή του κινητήρα ή υπερβολική ταχύτητα και κατά συνέπεια καταστροφή του υπερσυμπιεστή.

Ο συμβιβασμός που γίνεται συνήθως σήμερα είναι να διαλέγεται ο υπερσυμπιεστής για βέλτιστη λειτουργία στις μεσαίες στροφές και να περιορίζεται η ροή των καυσαερίων στις πολλές στροφές με βαλβίδα διαφυγής (waste gate) που «διακλαδώνει» μέρος της ροής και δεν το αφήνει να περάσει από την τουρμπίνα. Φυσικά έτσι χάνεται μέρος της ενέργειας των καυσαερίων στα πλοία.

Μια διαφορετική αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος θα ήταν η ρύθμιση της διατομής της ροής στο κέλυφος της τουρμπίνας στη μηχανή των πλοίων. Η ταχύτητα της τουρμπίνας θα μπορούσε να διατηρηθεί ψηλά και στις χαμηλές στροφές του κινητήρα, μειώνοντας τη διατομή του κελύφους. Όταν ο κινητήρας αύξανε τις στροφές του, η διατομή θα άνοιγε για να αποφευχθεί η υπερβολική υπερτροφοδοσία.

Έτσι θα είχαμε σταθερή ταχύτητα υπερσυμπιεστή κι επομένως σταθερή πίεση εισαγωγής σ' όλο το πεδίο λειτουργίας του κινητήρα, λύνοντας έτσι πολλά προβλήματα και βελτιώνοντας τα χαρακτηριστικά του κινητήρα (κατανάλωση, εκπομπές, καμπύλη ροπής, καθυστέρηση απόκρισης κ.λπ.) (Woodyard, 1995).

Ο έλεγχος της ροής θα μπορούσε επίσης να γίνεται από την πλευρά του συμπιεστή αντί από την πλευρά της τουρμπίνας. μια άλλη από τις λύσεις που δοκιμάζονται είναι η υπερσυμπίεση δύο βαθμίδων. Συνήθως δύο υπερσυμπιεστές τοποθετούνται εν σειρά. Το αποτέλεσμα είναι μεγάλη ροπή, αλλά και ομαλότερη καμπύλη ροπής, χωρίς μεγάλη καταπόνηση των υπερσυμπιεστών. Συνήθως μία βαλβίδα διαφυγής (wastegate) τοποθετείται μεταξύ των δύο στροβίλων, όπως φαίνεται και στο σχήμα, για ν' αποφευχθούν υπερβολικά μεγάλες πιέσεις στη λειτουργία με πολλές στροφές (Φραγκόπουλος, 2005).

Έτσι όταν η πίεση από την πλευρά της εξόδου των καυσαερίων ξεπεράσει ένα όριο μετά την πρώτη τουρμπίνα, μέρος των καυσαερίων διακλαδώνεται για να μην περάσει από τη δεύτερη. με τον τρόπο αυτό ο αντίστοιχος συμπιεστής συμπιέζει λιγότερο τον αέρα και η συνολική υπερσυμπίεση είναι μικρότερη.

Για την αποφυγή προβλημάτων υπερθέρμανσης (κύρια του αλουμινένιου συμπιεστή υψηλής πίεσης) χρειάζεται ψύξη του συμπιεσμένου από την πρώτη βαθμίδα αέρα εισαγωγής. Θα ήταν δυνατό να χρησιμοποιηθούν άλλα υλικά με καλύτερη συμπεριφορά στις ψηλές θερμοκρασίες, αυτό όμως θα αύξανε, λόγω μεγαλύτερου βάρους, την

αδράνεια του περιστρεφόμενου μέρους (ρότορα) του συμπιεστή (κι επομένως και την καθυστέρηση απόκρισης) ().

Επίσης θα αύξανε και το κόστος υπερσυμπιεστή. Βασικό πρόβλημα στην υπερσυμπίεση δύο βαθμίδων είναι φυσικά ο όγκος του συστήματος. Το πρόβλημα του χώρου, που ήδη υπάρχει για την υπερσυμπίεση μίας βαθμίδας, γίνεται έτσι οξύτερο. μια άλλη εφαρμογή για τη διατήρηση μεγάλων ταχυτήτων της τουρμπίνας και στις χαμηλές στροφές του κινητήρα και για περισσότερη υπερσυμπίεση είναι το σύστημα Υπερμπάρ (Hyperbar).

Στο σύστημα αυτό χρησιμοποιείται υπερσυμπιεστής μίας βαθμίδας, που περιλαμβάνει όμως και βαθμίδα μετάκαυσης πριν την εκτόνωση των καυσαερίων στην τουρμπίνα. Ο καυστήρας αυτός μπαίνει σε λειτουργία κάτω από έναν ορισμένο αριθμό στροφών του κινητήρα διατηρώντας έτσι μεγάλη ταχύτητα της τουρμπίνας και του συμπιεστή, κι επομένως σταθερή υπερσυμπίεση και σταθερή ροπή και στις μικρές ταχύτητες του κινητήρα. Επιπλέον, για το ξεκίνημα, με μια διακλάδωση (by pass) του αέρα εισαγωγής το σύστημα μετατρέπεται προσωρινά σε αεριοστρόβιλο (Woodyard, 1995).

Έτσι ο συμπιεστής φτάνει σ' έναν αριθμό στροφών τέτοιο που να επιτρέπει ικανοποιητική παροχή του αέρα για να ξεκινήσει η λειτουργία του κινητήρα. Τότε η διακλάδωση κλείνει και ο αέρας διοχετεύεται πλέον στους κυλίνδρους, συμπιεσμένος και ζεστός αρκετά, για να γίνει το ξεκίνημα χωρίς προβλήματα.

Επίσης η διακλάδωση χρησιμοποιείται για να μπορεί να υπάρχει σταθερή ροή αέρα από το συμπιεστή, άσχετα με τις απαιτήσεις της μηχανής διοχετεύοντας τον περσσευόμενο αέρα προς την εξαγωγή. Τα πλεονεκτήματα του συστήματος είναι το πανεύκολο ξεκίνημα τού κρύου κινητήρα, η μεγάλη και σχετικά σταθερή σ' όλο το εύρος των στροφών ροπή και η γρήγορη απόκριση. Από την άλλη πλευρά η κατανάλωση αυξάνει, όταν λειτουργεί ο καυστήρας και το σύστημα παροχής καυσίμου που απαιτείται γι' αυτόν προσθέτει κόστος, πολυπλοκότητα και προβλήματα αξιοπιστίας (Alderton, Winchester, 2002).

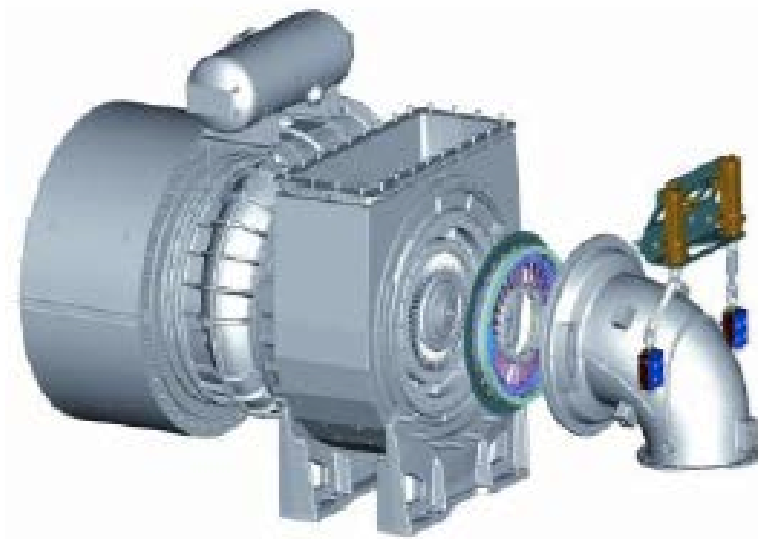
1.5 Παράγοντες που Επηρεάζουν την Λειτουργία τους στα Πλοία

1.5.1 Η Λειτουργία της VTA - Variable Turbine Area for TCA Turbochargers στις Μηχανές Πλοίων

Μια άλλη, διαφορετική καινούρια τεχνολογία προκειμένου να αυξηθεί η απόδοση του κινητήρα σε συνθήκες slow steaming είναι η τεχνολογία VTA (Variable Turbine Area). Η τεχνολογία αυτή βρίσκει εφαρμογή στις μηχανές της εταιρίας MAN. Με την εγκατάσταση αυτής της τουρμπίνας, ο αέρας που εισάγεται στον κύλινδρο είναι περίπου ίσος με το καύσιμο που εγχέεται (Kiyoko, Shiraishi, Ono, 2012).

Με αυτό τον τρόπο, η διαδικασία της καύσης βελτιστοποιείται σε όλα τα σημεία της δίνοντας μεγαλύτερη αποδοτικότητα στην λειτουργία της μηχανής σε χαμηλές ταχύτητες. Αυτό μπορεί να συμβεί με την αντικατάσταση των ελατηρίων μέσα στον υπερσυμπιεστή με ένα ελατήριο που έχει πτερύγια με μεταβλητό βήμα (Φραγκόπουλος, 2005).

Το ελατήριο αυτό τοποθετείται στην πλευρά της εξόδου των καυσαερίων του υπερσυμπιεστή. Ρυθμίζοντας την κλίση των πτερυγίων ελέγχεται η ταχύτητα του υπερσυμπιεστή και με τον τρόπο αυτό ελέγχεται η ποσότητα του αέρα, η οποία εισάγεται μέσα στον κύλινδρο. Στην εικόνα No.1 φαίνεται το ελατήριο με τα πτερύγια το οποίο εισάγεται στην πλευρά της εξόδου των καυσαερίων του υπερσυμπιεστή (Kiyoko, Shiraishi, Ono, 2012).



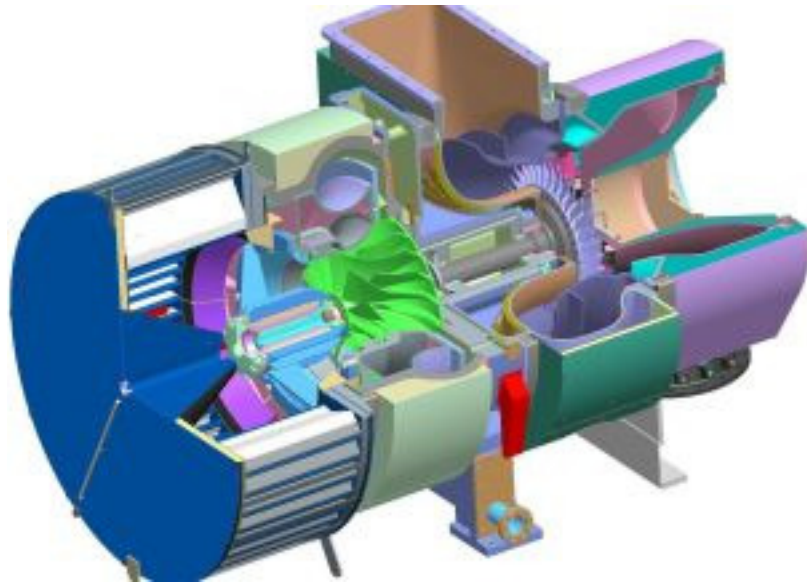
Εικόνα Νο.1 : Τεχνολογία VTA

Το σύστημα αυτό έχει το πλεονέκτημα, εκτός από το να αυξάνει την αποδοτικότητα της μηχανής μέσω της βελτιστοποίησης των συνθηκών καύσης των καυσαερίων, να ελαχιστοποιεί τον καπνό και την αιθάλη που παράγεται στις χαμηλές ταχύτητες. Το ελατήριο αυτό με τα πτερύγια μπορεί επίσης να εγκατασταθεί σε υπάρχοντες υπερσυμπιεστές με πολύ απλό και εύκολο τρόπο (Φραγκόπουλος, 2005).

1.5.2 Χρήση Electro-Assisted Turbocharger (MHI)

Μια από τις αναβαθμίσεις που μπορούν να γίνουν στις κύριες μηχανές των πλοίων προκειμένου αυτές να μπορούν να δουλεύουν σε συνθήκες χαμηλής πλεύσης είναι η εφαρμογή ενός υβριδικού ηλεκτροβοηθούμενου υπερσυμπιεστή. (turbocharger). Η μηχανή αυτή μπορεί να εξοικονομήσει μέχρι και 30% στην ηλεκτρική ενέργεια σε σχέση με τις συμβατικές μηχανές. Το υβριδικό turbocharger μπορεί να αυξήσει την ισχύ τις μηχανής πετυχαίνοντας μεγάλη οικονομία στα καύσιμα (Kiyoko, Shiraishi, Ono, 2012).

Η μηχανή αυτή, συνδυάζει έναν ηλεκτροκινητήρα ο οποίος παρέχει την ενέργεια στον υβριδικό υπερσυμπιεστή, ο οποίος χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα καυσαέρια του κινητήρα (Kiyoko, Shiraishi, Ono, 2012).



Εικόνα No.2 : Electro-assisted turbocharger

Ο κινητήρας αυτός, σύμφωνα με την κατασκευάστρια εταιρία παρέχει την μέγιστη απόδοση της μηχανής όταν αυτή λειτουργεί σε διαδικασία slow steaming βελτιώνοντας την καύση του καυσίμου στην κύρια μηχανή και ταυτόχρονα επιτρέπει την ίδια ή και καλύτερη απόδοση της μηχανής σε σχέση με τις συμβατικές μονάδες χρησιμοποιώντας την λιγότερη ενέργεια (Alderton, Winchester, 2002).

Ο υβριδικός υπερσυμπιεστής είναι απόλυτα συμβατός με τους περιβαλλοντικούς κανόνες σχετικά με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και μπορεί να εγκατασταθεί πολύ εύκολα στην κύρια μηχανή του πλοίου χωρίς να χρειάζονται σημαντικές αλλαγές σε αυτή, έχει μεγάλη διάρκεια ζωής και μπορεί να συντηρηθεί εύκολα (Kiyoko, Shiraishi, Ono, 2012).

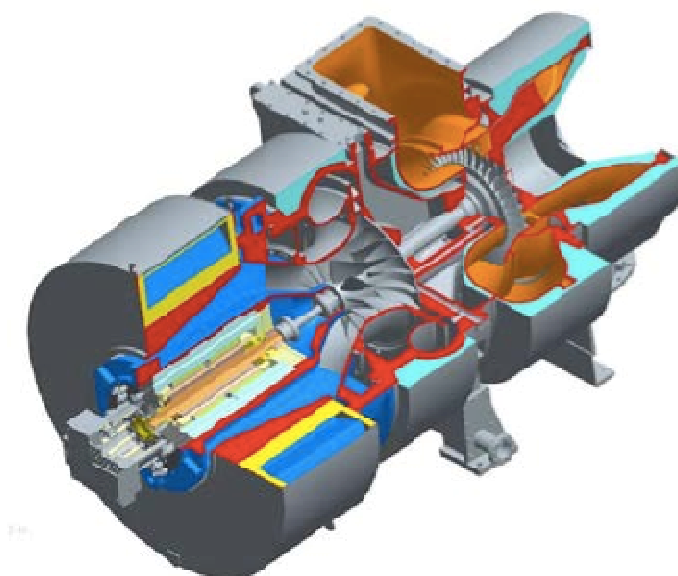
1.5.3 Hybrid Turbocharger (MHI)

Ο υβριδικός υπερσυμπιεστής χωρίς την ηλεκτροβοήθεια είναι μια άλλη εφαρμογή η οποία μπορεί να εφαρμοστεί στην κύρια μηχανή ενός πλοίου

προκειμένου αυτό να ταξιδεύει με χαμηλή ταχύτητα πλεύσης. Σύμφωνα με τον Ono, et.al, (2013) ο υπερσυμπιεστής είναι εξοπλισμένος με μια γεννήτρια η οποία χρησιμοποιεί την ενέργεια των καυσαερίων κατά τη θύρα εισόδου του υπερσυμπιεστή για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όπως ακριβώς κάνει και μια συμβατική τουρμπίνα. Παρόλα αυτά όμως, ο υβριδικός υπερσυμπιεστής έχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Kiyoko, Shiraishi, Ono, 2012):

- Χρειάζονται ελάχιστες τροποποιήσεις της κύριας μηχανής για την εγκατάσταση του υβριδικού υπερσυμπιεστή και η μετασκευή είναι σχετικά εύκολη.
- Το σύστημα δεν έχει θερμικές απώλειες και ο υπερσυμπιεστής παρέχει πολύ μεγάλη αποδοτικότητα
- Μπορεί να επιτευχθεί επιτάχυνση του υπερσυμπιεστή χρησιμοποιώντας την γεννήτρια ως κινητήρα

Εικόνα Νο.3: Υβριδικός υπερσυμπιεστής



Σύμφωνα με μελέτες της κατασκευάστριας εταιρίας ο υβριδικός υπερσυμπιεστής μπορεί να παρέχει (Kiyoko, Shiraishi, Ono, 2012):

- 10 % βελτίωση στην απόδοση των καυσίμων στις χαμηλές ταχύτητες πλεύσης

- 50% βελτίωση στην ροπή του κινητήρα στις χαμηλές ταχύτητες πλεύσης
- Μείωση κατά 70% της καθυστέρησης του κινητήρα κατά την επιτάχυνση
- Ο υβριδικός υπερσυμπιεστής εγκαθίσταται στο κάτω μέρος της μηχανής και συνδέεται με την κύρια μηχανή με εύκαμπτη σύζευξη.

1.5.4 Περίπτωση Αποκοπής Υπερσυμπιεστή (Turbocharger Cut-out)

Μια άλλη μέθοδος μετατροπής της κύριας μηχανής προκειμένου να επιτευχθεί, χωρίς προβλήματα, η χαμηλή ταχύτητα πλεύσης είναι η αποκοπή του ενός υπερσυμπιεστή (turbocharger) από την κύρια μηχανή, με αποτέλεσμα την αύξηση των στροφών ανά λεπτό των άλλων υπερσυμπιεστών (Kiyoko, Shiraishi, Ono, 2012).

Η αύξηση των στροφών των υπερσυμπιεστών αυξάνει και την θερμοκρασία του αέρα αλλά αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα στην όλη διαδικασία του slow steaming. Απο την άλλη αυτή η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα, αυξάνει την αποδοτικότητα των υπερσυμπιεστών και δίνει περισσότερο αέρα στην διαδικασία της καύσης του καυσίμου. Πρέπει να σημειωθεί πως αυτή η μέθοδος είναι κατάλληλη για μηχανές με περισσότερους υπερσυμπιεστές (Kiyoko, Shiraishi, Ono, 2012).

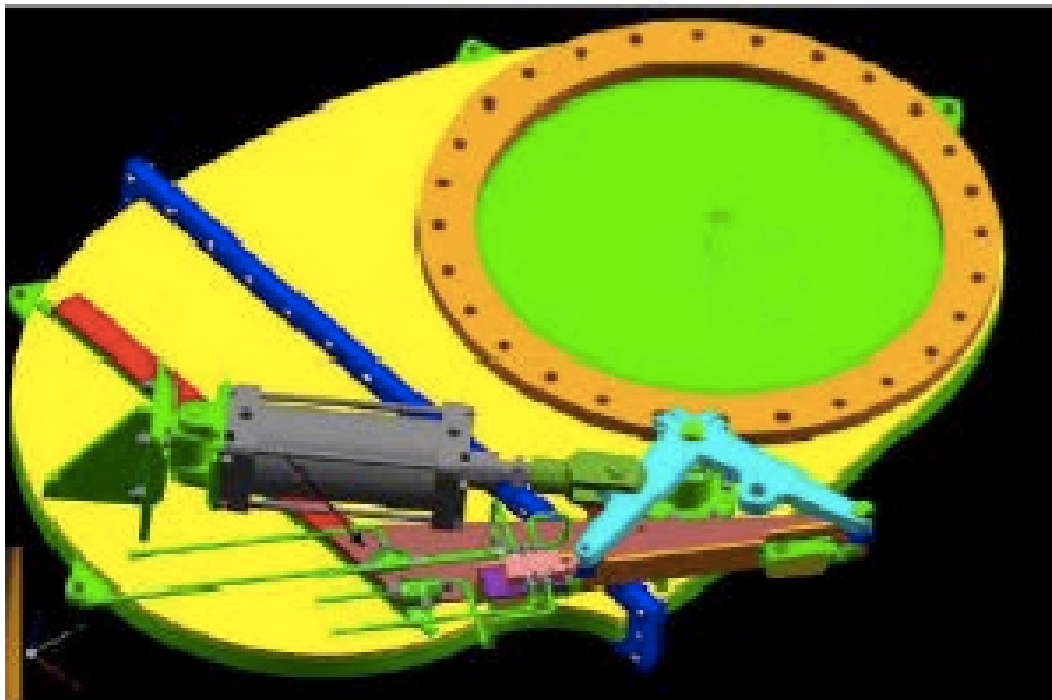


comparison of slide fuel valve before and after retrofitting

Εικόνα No.4 – Βαλβίδα Αποκοπής Υπερσυμπιεστή

Η ίδια διαδικασία μπορεί να επιτευχθεί με την αποκοπή ενός υπερσυμπιεστή από τις βαλβίδες. Αυτές οι βαλβίδες όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα έχουν ύψος 1,5 μέτρο και ζυγίζουν 850 κιλά και ανοιγοκλείνουν μέσω ενός πνευματικού κυλίνδρου ο οποίος κινείται από τον αέρα. Ο μοχλός ο οποίος ανοιγοκλείνει τις βαλβίδες, «κλειδώνει» και με αυτό τον τρόπο αποτρέπεται το ανοιγόκλειμα της βαλβίδας χωρίς λόγο.

Προκειμένου να επιτευχθεί η αποκοπή του υπερσυμπιεστή η βαλβίδα θα πρέπει να προσαρμοστεί μετά από τον συμπιεστή του αέρα και πριν από την έξοδο των καυσαερίων του υπερσυμπιεστή. Αυτή η προσαρμογή που επιτρέπει την αποκοπή του ενός υπερσυμπιεστή φαίνεται στην εικόνα No.5. (De Boer, et.al, 2011)



Εικόνα Νο.5 κα 6 – Περιπτώσεις Βαλβίδας Αποκοπής Υπερσυμπιεστή



Εικόνα Νο.7 : Προσαρμογή βαλβίδας για την αποκοπή του υπερσυμπιεστή

2. Κεφάλαιο Δεύτερο – Παράγοντες που Επηρεάζουν την Λειτουργία των Πλοίων με τη Χρήση Υπερσυμπιεστών Καθώς και Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα Αυτών

2.1 Στοιχεία Θεωρίας Χρήσης Υπερσυμπιεστών σε ΜΕΚ

2.1.1 Ενεργειακό ισοζύγιο συμπιεστή – στροβίλου

Ο στρόβιλος και ο υπερσυμπιεστής είναι συνδεδεμένοι σε κοινή άτρακτο και περιστρέφονται με την ίδια ταχύτητα. Η ισχύς που απορροφά ο στρόβιλος από τα καυσαέρια μετατρέπεται σε ισχύ στο συμπιεστή, ο οποίος τη χρησιμοποιεί για να αυξήσει την παροχή και την πίεση του αέρα σάρωσης του κινητήρα. Λόγω των απωλειών τριβής στα έδρανα του υπερπληρωτή η ισχύς στροβίλου και συμπιεστή διαφέρει, με την ισχύ του συμπιεστή να είναι φυσικά μικρότερη. Το ισοζύγιο ισχύος στην άτρακτο του στροβίλου \square υπερπληρωτή δίνεται απ' τον ακόλουθο τύπο:

$$P_{\text{στροβίλου}} = P_{\text{σμπιεστή}} \Rightarrow m \square c T_2 - T_1 = m \square c (T - T) \text{ ή } (5.1) \text{ CT απαη } GpG34mTmC$$

2.1.2 Ισεντροπικός Βαθμός Απόδοσης Υπερσυμπιεστή

Ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης ενός υπερσυμπιεστή μας δίνει το λόγο του απαιτούμενου έργου για αδιαβατική συμπίεση προς το πραγματικό έργο για την επίτευξη του ίδιου λόγου πίεσης ή με πιο απλά λόγια αποτελεί ένα μέτρο σύγκρισης μεταξύ της πραγματικής απόδοσης μιας θερμικής μηχανής και της απόδοσης που θα επιτυγχανόταν σε ιδανικές συνθήκες για την ίδια κατάσταση εισόδου και την ίδια πίεση εξόδου. Ορίζεται ως:

$$\eta_{\text{ισC}} = \frac{T_2 - T_1}{T_2 - T_1}$$

Ο βαθμός απόδοσης του υπερπληρωτή είναι το επιμέρους γινόμενο των ισεντροπικών βαθμών απόδοσης συμπιεστή και στροβίλου καθώς και των μηχανικών βαθμών απόδοσης αυτών. Με αυτό τον τρόπο δεν χρειάζεται να γνωρίζουμε τους επιμέρους ισεντροπικούς και μηχανικούς βαθμούς απόδοσης συμπιεστή και στροβίλου, ούτε τις θερμοκρασίες εξόδου. Έχουμε μια απευθείας εκτίμηση του βαθμού απόδοσης ολόκληρου του υπερ-

πληρωτή χωρίς να μας ενδιαφέρει πως μοιράζονται οι απώλειες στις συνιστώσες του.

2.2 Διαδικασία Slow Steaming στις Κύριες Μηχανές του Πλοίου και Λειτουργία Υπερσυμπιεστών

Η διαδικασία του slow steaming, έχει επιπτώσεις στην κύρια μηχανή του πλοίου και φυσικά στην λειτουργία των υπερσυμπιεστών. Εκτός από τις θετικές επιπτώσεις του slow steaming στην κατανάλωση καυσίμου αλλά και στην μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου υπάρχουν και κάποιες πτυχές, που αφορούν την κύρια μηχανή του πλοίου που θα πρέπει να προσεχτούν ιδιαίτερα στην λειτουργία των υπερσυμπιεστών (Kiyoko, Shiraishi, Ono, 2012).

Σε ένα πλοίο το οποίο ταξιδεύει σε διαδικασία slow steaming μπορούν να προκληθούν προβλήματα στην κύρια μηχανή του πλοίου με την λειτουργία των υπερσυμπιεστών όπως είναι:

- Η απώλεια θερμότητας
- Χαμηλή απόδοση του turbocharger
- Χαμηλή απόδοση λειτουργίας της προπέλας του πλοίου
- Αυξημένη ρύπανση του κύτους του πλοίου και της προπέλας που οφείλεται στην μειωμένη ταχύτητα και στις χαμηλές ταχύτητες ροής
- Τα βοηθητικά συστήματα μπορούν εν μέρει να ανακτήσουν την χαμένη θερμότητα αλλά και αυτά, δεν είναι σχεδιασμένα για να δουλεύουν συνεχόμενα και μπορεί να προκληθούν φθορές και σε αυτά
- Αύξηση της ανάγκης για λίπανση λόγω της χαμηλής ταχύτητας πλεύσης
- Αυξάνονται οι δονήσεις στην μηχανή εξαιτίας των χαμηλών στροφών στην οποία δουλεύει

- Μπορεί να προκληθεί το φαινόμενο της σπηλαίωσης στην προπέλα του πλοίου.

Σύμφωνα με την μελέτη των Faber, et.al (2012) οι περισσότερες από τις παραπάνω επιπτώσεις που μπορεί να προκληθούν στην κύρια μηχανή του πλοίου και στην λειτουργία των υπερσυμπιεστών από την πλεύση σε χαμηλές ταχύτητες, μπορούν να υπερκεραστούν με κάποιες μετασκευές της μηχανής ό. Κάποιες άλλες όπως είναι η μείωση της αποδοτικότητας της προπέλας μπορούν να αγνοηθούν, καθώς δεν παίζουν σημαντικό ρόλο στην συνολική απόδοση της μηχανής του πλοίου (Alderton, Winchester, 2002).

Παρ' όλα αυτά όμως, υπάρχουν και βλάβες και φθορές οι οποίες είναι σημαντικές για την συνολική λειτουργία του πλοίου όπως είναι οι βοηθητικές μηχανές που είναι απαραίτητες για την εκκίνηση ενός κινητήρα. Η συνεχόμενη λειτουργία των βοηθητικών μηχανών εξαιτίας της μειωμένης αποδοτικότητας των υπερσυμπιεστών, αυξάνει την συχνότητα συντήρησης που χρειάζονται σε συνδυασμό με την αύξηση των πιθανοτήτων για πιθανές φθορές που μπορεί να παρουσιάσουν (Φραγκόπουλος, 2005).

Για παράδειγμα, εάν όλες οι βοηθητικές μηχανές χαλάσουν, δεν θα είναι δυνατή η εκκίνηση της κύριας μηχανής του πλοίου και η λειτουργία των υπερσυμπιεστών. Για αυτό τον λόγο μια έξτρα βοηθητική μηχανή θα πρέπει να υπάρχει πάντα στο πλοίο σε περίπτωση μεγάλων και κρίσιμων φθορών των κανονικών βοηθητικών μηχανών (Woodyard, 1995).

2.3 Η Λειτουργία των Υπερσυμπιεστών στην Σχεδίαση και Λειτουργία των Πράσινων Πλοίων

Η σχεδίαση ενός πλοίου, είναι μια πολύπλοκη διαδικασία στην οποία πρέπει να συνεργαστούν πολλοί εξειδικευμένοι άνθρωποι διαφόρων ειδικοτήτων όπως ναυπηγοί, μηχανολόγοι, μηχανικοί, ηλεκτρολόγοι και σχεδιαστές. Είναι μια εργασία που απαιτεί ομαδική δουλειά και θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη μια σειρά από διαφορετικούς παράγοντες και παραμέτρους. Οι κανονισμοί των νηογνώμων από την άλλη, δημιουργούν μια σειρά από περιορισμούς, απαραίτητους όμως για την ασφαλή λειτουργία

του πλοίου. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι για να ικανοποιήσουμε μια απαίτηση, κάποια άλλη δεν θα εκπληρωθεί εξ' ολοκλήρου.

Ειδικά για την περίπτωση των πράσινων πλοίων και η λειτουργία των υπερσυμπιεστών, δεν είναι πάντοτε δυνατό να επιτύχουμε στο μέγιστο βαθμό τα οφέλη που απορρέουν από την χρήση μιας συγκεκριμένης τεχνολογίας.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η ναυτιλιακή και η ναυπηγική βιομηχανία έχει λάβει γνώση για τα μέτρα τα οποία πρέπει να ληφθούν προκειμένου να αντιμετωπίσουν το ζήτημα της μείωση αερίων εκπομπών (SOX, NOX, CO₂) και της θαλάσσιας ρύπανσης. Είναι γεγονός πάντως πως για όσο τα εμπορικά πλοία θα καταναλώνουν υδρογονάνθρακες για να παράγουν ενέργεια για την λειτουργία τους, θα συνεχίζεται η ρύπανση της ατμόσφαιρας. Έτσι γίνεται σαφές πως ο εταιρείες της βιομηχανίας σε συνδυασμό με τα ναυπηγεία έχουν επιτείνει την προσπάθεια τους ούτως ώστε να συμβάλλουν στο σχεδιασμό και τη λειτουργία πλοίων με μειωμένες εκπομπές αερίων και μειωμένο οικολογικό αποτύπωμα.

2.3.1 Μείωση Εκπομπών NO_x στις Ναυτικές Μηχανές Μέσω της Λειτουργίας των Υπερσυμπιεστών

Τα πλοία είναι από τις μεγαλύτερες πηγές εκπομπών οξειδίων του αζώτου (NO_x) και οξειδίων του θείου (SO_x) στον κόσμο. Οι εκπομπές αέριων ρύπων αποτελούν έναν από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που επιβαρύνουν το θαλάσσιο περιβάλλον αλλά και τη στεριά (Alderton, Winchester, 2002). Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO), έχει θεσπίσει συγκεκριμένους κανονισμούς που αφορούν στις εκπομπές οξειδίων του αζώτου από τα πλοία για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προκαλείται από αυτά. Τα πρότυπα τα οποία προβλέπονται από τον κανονισμό IMO Tier III απαιτούν από τα πλοία τα οποία θα ναυπηγηθούν το 2016 ή αργότερα να έχουν μειώσει τις εκπομπές NO_x κατά 80% σε σχέση με τα επίπεδα του 2010.

Προκειμένου να συμμορφωθούν με το νέο αυτό αυστηρό πρότυπο, οι κατασκευαστές μηχανών πλοίων αλλά και οι ναυπηγοί πρέπει να εργαστούν από κοινού για την ανάπτυξη και εφαρμογή των νέων τεχνολογιών όπως η

λειτουργία των υπερσυμπιεστών. Ένα σύστημα που έχει σχεδιαστεί και αναπτυχθεί είναι το SCR (Selective Catalytic Reduction) με τη λειτουργία των υπερσυμπιεστών.

Είναι ένα σύστημα το οποίο λειτουργεί με αναερόβια έγχυση ουρίας πολλαπλών σημείων που μειώνει τα παραγόμενα NOx. Η λογική λειτουργίας του εν λόγω συστήματος, είναι στο να ψεκάζει ένα μείγμα απιονισμένου νερού και ουρίας στα καυσαέρια του πλοίου. Η θερμότητα στο σύστημα εξαγωγής καυσαερίων, μετατρέπει την ουρία σε αμμωνία η οποία αντιδρά με τα οξειδία του αζώτου σε έναν καταλυτικό μετατροπέα. Από την αντίδραση προκύπτει άζωτο, το οποίο είναι αβλαβές, και ατμός. Τα αναπτυσσόμενα SCR μπορούν να τοποθετηθούν σε πολλούς τύπους ναυτικών μηχανών και σε διαφορετικούς τύπους πλοίων (Kiyoko, Shiraishi, Ono, 2012).

2.3.2 Εξοικονόμηση Ενέργειας Μέσω της Λειτουργίας των Υπερσυμπιεστών

Προκείμενου να υπάρχει εξοικονόμηση ενέργειας στα πλοία, έχουν αναπτυχτεί μια σειρά από νέες πράσινες τεχνολογίες όπως η λειτουργία των υπερσυμπιεστών. Οι πιο βασικές από αυτές είναι: η βελτιστοποίηση της μορφής της γάστρας του πλοίου, μείωση των εκπομπών αερίων μέσω της ανακυκλοφορίας αερίων ρύπων (EGR systems), μείωση της τριβής, μείωση της ταχύτητας του πλοίου.

2.3.3 Μείωση των Εκπομπών Αερίων Μέσω της Ανακυκλοφορίας Αερίων Ρύπων στους Υπερσυμπιεστές Πλοίων

Η Man Diesel ανέπτυξε ένα σύστημα ανακύκλωσης αερίων ρύπων (EGR) για δίχρονους κινητήρες, το οποίο μπορεί να συντελέσει στη μείωση των εκπομπών NOx από τα πλοία κατά 80%. Ένα μέρος των καυσαερίων φιλτράρεται και ανακυκλοφορείται πίσω στον θάλαμο καύσης. Ο σχηματισμός NOx μειώνεται αφού η θερμοχωρητικότητα των αρχικών συστατικών των καυσαερίων είναι μεγαλύτερη από αυτή του αέρα. Η μείωση παροχής οξυγόνου αποτρέπει επίσης το σχηματισμό NOx.

Ένα μειονέκτημα της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι τα αιωρούμενα

σωματίδια που προκύπτουν στο αέρα που ανακυκλοφορείται. Αυτό μπορεί να προκαλέσει εναπόθεση σωματιδίων στην μηχανή και αλλαγή της σύστασης του λιπαντικού λαδιού. Λόγω της ύπαρξης αέριων θειούχων, μπορεί να προκύψει διάβρωση εξαιτίας της δημιουργίας οξειδίων του θείου. Συνολικά δεν υπάρχει δυνατότητα αυτή την στιγμή να ανακυκλοφορεί πάνω από το 15-20% των καυσαερίων της μηχανής (Alderton, Winchester, 2002).

Από το 2002 και μετά, η τεχνολογία EGR βελτιώθηκε σημαντικά με την εισαγωγή δοχείων ψύξης όπου μειώνονται περαιτέρω οι εκπομπές NOx. Ειδικότερα σε ότι αφορά τους νέους κανονισμούς του IMO που θα τεθούν σε ισχύ το 2016, υπάρχει μεγάλη αισιοδοξία πως η τεχνολογία EGR θα αποτελέσει το έναυσμα για την ανάπτυξη και άλλων τεχνολογιών που μπορούν να μειώσουν τις εκπομπές NOx.

2.3.4 Σύστημα Ανάλτησης και Χρήσης Απολλυμένης Θερμότητας Μέσω της Χρήσης Υπερσυμπιεστών

Μια δίχρονη ναυτική μηχανή έχει σε γενικές γραμμές καλό βαθμό απόδοσης σε σχέση με την κατανάλωση καύσιμου. Όμως μπορεί να επέλθει βελτίωση, μέσω της εκμετάλλευσης της παραγόμενης θερμότητας των αερίων ρύπων. Για να συμβεί αυτό, θα πρέπει να τοποθετηθεί επί πλοίου ειδικό σύστημα, το οποίο θα χρησιμοποιεί την παραγόμενη θερμότητα από την μηχανή του πλοίου και θα την μετατρέπει σε ηλεκτρική ενέργεια (Φραγκόπουλος, 2005).

Όταν οι αέριοι ρύποι εκπέμπονται από την μηχανή του πλοίου, η θερμοκρασία τους είναι υψηλή. Αν απομονώσουμε αυτά τα αέρια που περιέχουν μεγάλη θερμότητα, σε έναν λέβητα, τότε είναι δυνατή η παραγωγή ατμού από αυτή την θερμότητα (Kiyoko, Shiraishi, Ono, 2012).

Τα συστήματα ανάκτησης και χρήσης της παραγόμενης θερμότητας (waste heat recovery systems – WHR) αποτελούνται από ένα λέβητα που διοχετεύονται τα καυσαέρια ο οποίος με την σειρά του τροφοδοτεί τον παραγόμενο ατμό σε έναν ατμοστρόβιλο. Εν συνεχεία, ο ατμοστρόβιλος είναι συνδεδεμένος με μια γεννήτρια από όπου παράγεται ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται για κατανάλωση στο πλοίο.

Λόγω της μεγάλης ισχύος των προωστήριων μηχανών, είναι σκόπιμο να ανακτηθεί ένα μέρος των απωλειών και να χρησιμοποιηθούν σε άλλες καταναλώσεις. Για να έχουμε μεγαλύτερη δυνατή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας υπάρχει η δυνατότητα χρήσης διπλού ή τριπλού συστήματος συμπίεσης του ατμού. Τέτοια συστήματα αυξάνουν την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια κατά 11-12% αν υπάρχει ατμοστρόβιλος ή κατά 7% περίπου αν δεν υπάρχει. Τα συστήματα ανάκτησης της απολλυμένης θερμότητας κατατάσσονται στον μηχανολογικό εξοπλισμό του πλοίου και επιφέρουν μείωση των αέριων ρύπων ως εξής: μείωση CO₂ κατά 7-14%, μείωση NO_x κατά 7-14% και τέλος μείωση SO_x επίσης κατά 7-14% (Φραγκόπουλος, 2005).

2.4 Μειονεκτήματα της Χρήσης Υπερσυμπιεστών Πλοίων σε ΜΕΚ

Τα μειονεκτήματα της λειτουργίας των υπερσυμπιεστών σε ΜΕΚ, αναφέρονται σχετικά ως εξής (Φραγκόπουλος, 2005):

- Το υψηλό κόστος επένδυσης. Αυτό γίνεται η προσπάθεια να μειωθεί κατά το δυνατόν, αξιοποιώντας σε συνδυασμό την υπάρχουσα τεχνολογία των ηπειρωτικών ηλεκτρικών δικτύων (Commercial Off The Shelf – COTS), ωστόσο το υψηλό κόστος των κινητήρων και των διατάξεων ελέγχου τους δεν δείχνει να υπερκερνάται εύκολα.
- Υψηλότερες απώλειες στο σύστημα μετάδοσης της κίνησης, σε σύγκριση με το μηχανικό σύστημα. Π.χ., σε ένα συμβατικό σύστημα κινητήρα Diesel – έλικας ρυθμιζομένου βήματος, οι απώλειες του συστήματος μετάδοσης είναι περίπου 4 %: 2 % στην έλικα και 2 % στον μειωτήρα, όταν η έλικα λειτουργεί στον βέλτιστο συνδυασμό ταχύτητας/βήματος. Σε εγκατάσταση ντιζελοηλεκτρικής πρόωσης, το σύστημα μετάδοσης προκαλεί απώλειες 7 – 8 %: 3 % στις γεννήτριες, 2 % στους μετασχηματιστές και μετατροπείς συχνότητας και 2 – 3 % στους προωστήριους ηλεκτροκινητήρες. Επομένως, ο ολικός βαθμός απόδοσης είναι υψηλότερος στο σύστημα ηλεκτρικής πρόωσης μόνον όταν κάθε μηχανή λειτουργεί σε σταθερή ταχύτητα περιστροφής και επί μεγάλα χρονικά διαστήματα στη βέλτιστη περιοχή.

- Ένα πρόβλημα που προκύπτει από την εκτεταμένη λειτουργία των υπερσυμπιεστών είναι ότι εμφανίζονται προβλήματα ποιότητας ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς πέραν των χρήσιμων συχνοτήτων αναπτύσσεται και μεγάλο πλήθος αρμονικών συνιστωσών ρεύματος και τάσης. Οι αρμονικές αυτές αφενός προσαυξάνουν τη συνολική κυκλοφορούσα άεργο ισχύ στο ηλεκτρικό δίκτυο αλλά επιπλέον δημιουργούν προβλήματα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας. Έτσι ο «ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος» που παράγεται επηρεάζει αρνητικά όλες τις ευαίσθητες ηλεκτρονικές διατάξεις, πρωτίστως τα κυκλώματα ελέγχου των ίδιων των ηλεκτρονικών ισχύος, ενώ σε περιπτώσεις στρατιωτικών εφαρμογών αυξάνει τα επίπεδα της ηλεκτρομαγνητικής υπογραφής των πλοίων. Τέλος, είναι δυνατόν οι αρμονικές παραμορφώσεις των ηλεκτρικών μεγεθών να διεγείρουν ιδιοσυχνότητες ηλεκτρομηχανικών ταλαντώσεων, όπως είναι τα φαινόμενα σιδηροσυντονισμού στους δρομείς των σύγχρονων γεννητριών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η σειρά αυτή των προβλημάτων λόγω της εξηλεκτρίσης των συστημάτων του πλοίου αντιμετωπίζεται με εξειδικευμένες αναλύσεις και μελέτες κυρίως κατά της φάση της σχεδίασης τους ηλεκτρολογικού συστήματος.
- Υψηλό κόστος επένδυσης αφού το κόστος των κινητήρων και των υπερσυμπιεστών τους δεν δείχνει να υπερκερνάται εύκολα, παρόλο που ένας μεγάλος αριθμός επιστημόνων στην ερευνητική κοινότητα ασχολούνται με τη δυνατότητα μείωσης του.
- Υψηλότερες απώλειες στο σύστημα μετάδοσης της κίνησης, σε σύγκριση με το μηχανικό σύστημα. Ο ολικός βαθμός απόδοσης είναι υψηλότερος στο σύστημα υπερσυμπιεστών μόνον όταν κάθε μηχανή λειτουργεί σε σταθερή ταχύτητα περιστροφής και επί μεγάλα χρονικά διαστήματα στη βέλτιστη περιοχή.
- Προβλήματα ποιότητας υπερσυμπιεστών λόγω της χρησιμοποίησης των διατάξεων ηλεκτρονικών ισχύος, αφού πέραν των χρήσιμων συχνοτήτων αναπτύσσεται και μεγάλο πλήθος αρμονικών συνιστωσών ρεύματος και τάσεως. Έτσι ο «ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος» που

παράγεται επηρεάζει αρνητικά όλες τις ευαίσθητες ηλεκτρονικές διατάξεις –πρωτίστως τα κυκλώματα ελέγχου των ίδιων των ηλεκτρονικών ισχύος. Τέλος, είναι δυνατόν οι αρμονικές παραμορφώσεις των ηλεκτρικών μεγεθών να διεγείρουν ιδιοσυχνότητες, όπως είναι τα φαινόμενα σιδηροσυντονισμού στους δρομείς των σύγχρονων γεννητριών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

2.5 Πλεονεκτήματα της Χρήσης Υπερσυμπιεστών

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της χρήσης υπερσυμπιεστών σε πλοία, είναι τα ακόλουθα:

- Περιορισμός των εκπεμπόμενων ρύπων. Αφενός η κατανάλωση καυσίμου είναι μικρότερη, αφ' ετέρου οι εκπομπές NOx (ιδιαίτερα) είναι αισθητά χαμηλότερες όταν λόγω χάρη ένας μεσόστροφος κινητήρας Diesel λειτουργεί με σταθερές στροφές πράγμα που συμβαίνει στα νέα συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης.
- Περιορισμός του κινδύνου ρύπανσης του περιβάλλοντος από ατυχήματα όπως αυτά των δεξαμενοπλοίων, χάρη στην ταχύτερη απόκριση του συστήματος κατά τους χειρισμούς και τη δυναμική τοποθέτηση του σκάφους.
- Συνεχής μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής της έλικας
- Συνεχής μεταβολή της ταχύτητας και της ταχύτητας του πλοίου σε όλο το πεδίο 0- 100 %.
- Γρήγορη απόκριση κατά τη διάρκεια των χειρισμών
- Χαμηλή στάθμη θορύβου και κραδασμών.
- Οικονομία καυσίμου αφού η κάθε μια μηχανή μπορεί να λειτουργεί κοντά στο βέλτιστο σημείο αν γίνει σωστή επιλογή.
- Εξοικονόμηση ωφέλιμου χώρου, άρα ευελιξία στον σχεδιασμό του σκάφους αφού υπάρχει ελευθερία στην τοποθέτηση των επιμέρους μηχανημάτων του ενεργειακού συστήματος, που προσφέρει ευελιξία στον σχεδιασμό του σκάφους και εξοικονόμηση ωφέλιμου χώρου.
- Πλήρης εκμετάλλευση της στρεπτικής ροπής σε όλο το πεδίο λειτουργίας.

- Ευκολία αυτοματισμού.
- Αυξημένη αξιοπιστία (πολλά συστήματα συνδεδεμένα παράλληλα) και, επομένως, αυξημένη ασφάλεια.

2.6 Λειτουργία Υπερσυμπιεστών σε Πλοία και Μονάδα Azipod

Η κατοχυρωμένη ευρεσιτεχνία του συστήματος πρόωσης της ABB είναι μία αρθρωτή μονάδα η οποία είναι προσαρμοσμένη εξωτερικά του πλοίου και έχει δυνατότητα περιστροφής πάνω από 360°. Προσφέρει δε μεγάλη δυνατότητα ελιγμών και σημαντική μείωση της κατανάλωσης καυσίμου σε συνδυασμό με τη λειτουργία των υπερσυμπιεστών, θορύβου, δονήσεων και εσωτερικών χώρων σε περίπτωση που χρειάζονται να τοποθετηθούν συμβατικά συστήματα οδήγησης. Πρόκειται για ένα rod προώσεως, που η ABB πρότεινε, ένα σύστημα στο οποίο μια πηδαλιουχούμενη Azipod μονάδα τοποθετείται αμέσως πίσω από τον κύριο έλικα (Kiyoko, Shiraishi, Ono, 2012).

Τοποθετημένο στον ίδιο άξονα, αλλά χωρίς καμία φυσική σύνδεση, το σύστημα rod περιστρέφεται ανάποδα σε σχέση με την κύρια έλικα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ρύθμιση σε βελτίωση κατά 10% περίπου στην υδροδυναμική απόδοση της πρόωσης. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο τελικά με τη χρήση του Azipod η έλικα μπορεί να έχει ευέλικτη προσαρμογή. Η κύρια έλικα έχει 60 - 70% του φορτίου και η έλικα Azipod το 40 - 30% φορτίο (ABB Marine, 2000).

Η διάμετρος της έλικας του Azipod είναι μικρότερη από αυτή της κύριας έλικας για να αποτρέψει μια πιθανή δίνη από σπηλαίωση. Ο αριθμός των λεπίδων της έλικας είναι διαφορετικός από αυτόν της κύριας έλικας, η ταχύτητα της έλικας Azipod είναι μεγαλύτερη από αυτή της κύριας έλικας, η γωνία περιστροφής της έλικας Azipod είναι 100 βαθμοί (μια άλλη επιλογή είναι ελεύθερη περιστροφή 360°).

Ο πρώτος υπερπληρωτής ABB μπήκε σε παραγωγή το 1923. Αποτέλεσμα της συνεχούς έρευνας και ανάπτυξης είναι οι καινούργιοι τύποι υπερπληρωτών οι οποίοι υπερέχουν σε τομείς όπως ο εντυπωσιακά

αυξημένος βαθμός απόδοσης και η μεγάλη δυνατότητα εφαρμογών τους με ταυτόχρονη μείωση των ανταλλακτικών από τα οποία αποτελούνται. Για τον χρήστη αυτό μεταφράζεται σε μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, απλούστερη και σπανιότερη συντήρηση δηλαδή μείωση των λειτουργικών εξόδων. Στα πλεονεκτήματα συμπεριλαμβάνονται (ABB Marine, 2000):

- Υψηλή απόδοση στη πρόωση που προσφέρει μεγαλύτερη οικονομία καυσίμου.
- Το ναυπηγικό κόστος είναι λογικό, καθώς απαιτείται λιγότερη εγκατεστημένη ισχύς.
- Καλύτερο χρόνο ελλιμενισμού (είσοδο – έξοδο από το λιμάνι), καθώς οι ελιγμοί είναι ευκολότεροι και απαιτείται λιγότερη βοήθεια ρυμουλκού.
- Αύξηση της ικανότητας μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (τόσο σε χώρο όσο και σε βάρος).

Επίλογος – Συμπεράσματα

Βασικός σκοπός της εν λόγω πτυχιακής εργασίας, αναφέρεται σχετικά η συλλογή, παρουσίαση και ανάλυση στοιχείων που οριοθετούνται στο πλαίσιο της συγκριτικής μελέτης υπερσυμπιεστών (Compressor Turbo) για την αύξηση της απόδοσης μιας ΜΕΚ σε Πλοία.

Γενικά Μηχανή ή μηχανήμα ονομάζεται οποιοδήποτε εργαλείο ή μέσον που μπορεί να διευκολύνει την ανθρώπινη εργασία ή που μπορεί να αυξήσει τη δύναμή της. Επίσης οποιαδήποτε συσκευή που χρησιμοποιείται για τη παραγωγή έργου, είτε μεταδίδοντας είτε μετατρέποντας άλλη μορφή ενέργειας (δύναμης) σε παραγωγή έργου. Ακόμη μπορεί να εννοείται και κάθε ευφυής επινόηση (Woodyard, 1995).

Μια μηχανή εσωτερικής καύσης ή κινητήρας εσωτερικής καύσης είναι ένας κινητήρας στον οποίο η καύση του καυσίμου γίνεται σε ένα θάλαμο καύσης που βρίσκεται ολόκληρος μέσα στο κινητήρα. Με τον όρο μηχανές εσωτερικής καύσης συνήθως εννοούνται κυρίως οι παλινδρομικές-εμβολοφόρες μηχανές και οι κινητήρες Βάνκελ (*Wankel*). Μια δεύτερη κατηγορία των κινητήρων εσωτερικής καύσης είναι οι κινητήρες τζετ, κάποιοι πύραυλοι και ορισμένες τουρμπίνες ώσης και ισχύος που κάνουν χρήση συνεχούς καύσης (Φραγκόπουλος, 2005).

Ο υβριδικός υπερσυμπιεστής χωρίς την ηλεκτροβοήθεια είναι μια άλλη εφαρμογή η οποία μπορεί να εφαρμοστεί στην κύρια μηχανή ενός πλοίου προκειμένου αυτό να ταξιδεύει με χαμηλή ταχύτητα πλεύσης. Σύμφωνα με τον Ono, et.al, (2013) ο υπερσυμπιεστής είναι εξοπλισμένος με μια γεννήτρια η οποία χρησιμοποιεί την ενέργεια των καυσαερίων κατά τη θύρα εισόδου του υπερσυμπιεστή για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όπως ακριβώς κάνει και μια συμβατική τουρμπίνα.

Η διαδικασία του slow steaming, έχει επιπτώσεις στην κύρια μηχανή του πλοίου και φυσικά στην λειτουργία των υπερσυμπιεστών. Εκτός από τις θετικές επιπτώσεις του slow steaming στην κατανάλωση καυσίμου αλλά και

στην μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου υπάρχουν και κάποιες πτυχές, που αφορούν την κύρια μηχανή του πλοίου που θα πρέπει να προσεχτούν ιδιαίτερα στην λειτουργία των υπερσυμπιεστών (Kiyoko, Shiraishi, Ono, 2012).

Τέλος, προκείμενου να υπάρχει εξοικονόμηση ενέργειας στα πλοία, έχουν αναπτυχτεί μια σειρά από νέες πράσινες τεχνολογίες όπως η λειτουργία των υπερσυμπιεστών. Οι πιο βασικές από αυτές είναι: η βελτιστοποίηση της μορφής της γάστρας του πλοίου, μείωση των εκπομπών αερίων μέσω της ανακυκλοφορίας αέριων ρύπων (EGR systems), μείωση της τριβής, μείωση της ταχύτητας του πλοίου.

Βιβλιογραφία

Αγγλική Βιβλιογραφία

- ✓ ABB Marine, 2000, Azimuthing Electric Propulsion Drive
- ✓ Bose B.K., 1997, Power Electronics and Variable Frequency Drives: Technology and Applications, IEEE Press, New York
- ✓ Harrington R. L., 1992, ed., Marine Engineering, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Jersey City, N.J.
- ✓ Sallabank P. H., Whitehead A. J., 1996, "The practical application of modern simulation tools throughout the design and trials of a diesel electric propulsion system, Trans ImarE, Vol. 107, Part 2
- ✓ Woodyard D., 1995, Electric Propulsion Charges Ahead in Marine Propulsion, April
- ✓ Yacamini R., Smith K. S., 1996, Noise generation in marine motors, Trans ImarE, Vol. 107, Part 4
- ✓ Alderton, T. and Winchester, N., 2002, Globalization and Deregulation in the Maritime Industry, Marine Policy 26 (1)
- ✓ Kiyoko S, Shiraishi K, Ono Y, 2012, Development of Large Marine Hybrid Turbocharger for Generating Electric Power with Exhaust Gas from the Main Engine, Mitsubishi Industry

Ελληνική Βιβλιογραφία

- ✓ Μαλατέστας Π, Μανιάς Σ., 1995, Συστήματα Οδήγησης Ηλεκτρικών Κινητήρων, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα
- ✓ Μπατιστάτος Ν. 1999, Ανάλυση Συστημάτων Δηζελοηλεκτρικής Πρόωσης Πλοίων, Διπλωματική Μεταπτυχιακή Εργασία ΔΠΜΣ Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας, Αθήνα, Οκτώβριος
- ✓ Φραγκόπουλος Χ., 2005, Ενεργειακά Συστήματα Πλοίου – Τόμος Α': Ηλεκτρολογικό μέρος, Διδακτικές σημειώσεις για φοιτητές της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ

- ✓ Χατζηλάου Ι.Κ, Γύπαρης Ι.Κ., 2001, Ηλεκτροπρόωση Μηχανών Πολεμικών Πλοίων', Μονογραφία ΣΝΔ, Πειραιάς, Μάρτιος