



**Η ΝΕΑ ΜΕΓΑΛΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΚΛΙΝΗ ΔΟΚΙΜΩΝ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΡΩΣΗΣ ΠΛΟΙΩΝ ΜΕ
ΘΕΡΜΙΚΟΥΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΠΟΡΡΥΠΑΝΣΗΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ, ΤΟΥ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΝΑΥΤΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ ΕΜΠ**

N. Κυρτάτος, Καθηγητής ΕΜΠ, Δ/ντής ΕΝΜ,

Γ. Παπαλάμπρου, Λέκτορας ΕΜΠ,

Σ. Τοπάλογλου, ΥΔ ΣΝΜΜ/ΕΜΠ

Το Εργαστήριο Ναυτικής Μηχανολογίας (ΕΝΜ) της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ δραστηριοποιείται στην έρευνα για ναυτικούς κινητήρες και συστήματα προώσεως πλοίου, για τη βελτίωση της απόδοσης ναυτικών κινητήρων (συνεπώς τη μείωση κατανάλωσης καυσίμου) και τη μείωση αέριων ρύπων. Το ΕΝΜ δίνει έμφαση στην ανάπτυξη μεγάλων πειραματικών διατάξεων και την εκτέλεση μετρήσεων ακριβείας, που επιτρέπουν την αξιολόγηση θεωρητικών υπολογισμών και μαθηματικών μοντέλων.

Πειραματική εγκατάσταση υβριδικού συστήματος πρόωσης πλοίων

Το έργο HIPPO (Hybrid Integrated Propulsion Power train facility) έχει στόχο την ανάπτυξη πειραματικής εγκατάστασης πολλαπλών κινητήρων στο ΕΝΜ, έργο που θα εκτελεστεί σε δύο φάσεις σε έξι χρόνια, με χρηματοδότηση από διάφορα επιμέρους ερευνητικά προγράμματα. Στην πρώτη φάση, κινητήρας diesel και ηλεκτρικός κινητήρας συνδέονται μαζί σε υδραυλική πέδη. Η υδραυλική πέδη μπορεί να προσομοιάζει λειτουργία έλικας ή προωθητήρα waterjet, χρησιμοποιώντας στοιχεία φορτίσεως και χρονοσειρών ισχύος από μετρήσεις πεδίου σε πραγματικές συνθήκες κανονικών δρομολογίων πλοίων. Αρχικός στόχος είναι η μελέτη βέλτιστων αλγορίθμων ελέγχου για τη λειτουργία υβριδικών συστημάτων πρόωσης πλοίων σε μεταβατικές καταστάσεις.

Η πειραματική εγκατάσταση του ολοκληρωμένου υβριδικού ηλεκτρικού συστήματος πρόωσης (HIPPO) του ΕΝΜ περιλαμβάνει μια υδραυλική πέδη ισχύος 1200 kW, έναν κινητήρα πετρελαίου Caterpillar 3176Bmarine ισχύος 448 kW και έναν ηλεκτρικό κινητήρα ισχύος 110 kW, ο οποίος ελέγχεται από ένα μετατροπέα συχνότητας (frequency inverter). Για την παρακολούθηση και τον έλεγχο της εγκατάστασης, αναπτύχθηκε σύστημα ελέγχου κλειστού βρόχου από Η/Υ πραγματικού χρόνου με βάση την πλατφόρμα DSpace. Στην Εικόνα 1 παρουσιάζεται το υβριδικό σύστημα HIPPO του ΕΝΜ, όπως αρχικά σχεδιάστηκε και κατόπιν κατασκευάστηκε.



Μετρούνται και καταγράφονται παράμετροι λειτουργίας, όπως επιβαλλόμενη ροπή, ροπή ηλεκτρικού κινητήρα, ταχύτητα περιστροφής άξονα, αέριοι ρύποι όπως NO_x και αδιαφάνεια καπνού (θολότητα), καθώς και ειδικότερες παράμετροι, όπως πιέσεις, θερμοκρασίες εξαρτημάτων, στροφές υπερπληρωτή και ο λόγος αέρα/καυσίμου στην εξαγωγή του θερμικού κινητήρα.

Όταν το υβριδικό σύστημα πρόωσης λειτουργεί με έλεγχο κλειστού βρόχου, ο ελεγκτής μεταβάλλει τη ροπή του ηλεκτρικού κινητήρα κατά τέτοιο τρόπο, ώστε ο θερμικός κινητήρας να λειτουργεί σε αποδοτικότερα σημεία, το οποίο οδηγεί σε μικρότερη κατανάλωση καυσίμου και λιγότερες εκπομπές ρύπων. Ακόμα, στην περίπτωση μεταβατικών συνθηκών λειτουργίας, το σύστημα υβριδικής πρόωσης παράγει τη ζητούμενη ροπή γρηγορότερα, σε σύγκριση με ένα συμβατικό σύστημα πρόωσης, καθώς ο ηλεκτρικός κινητήρας μπορεί να αποδίδει τη μέγιστή του ροπή ταχύτατα, σε αντίθεση με τον κινητήρα εσωτερικής καύσης. Το υβριδικό σύστημα πρόωσης δοκιμάστηκε σε διάφορες συνθήκες λειτουργίας για να αξιολογηθεί η αρχική ιδέα χρήσης δύο διαφορετικών τύπων κινητήρων για τη βέλτιστη παραλαβή μεταβαλλόμενων φορτίων, π.χ. κατά την επιτάχυνση ή τους ελιγμούς του πλοίου.

Στην Εικόνα 2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα τέτοιων δοκιμών στο HIPPO. Στο πρώτο διάγραμμα παρουσιάζεται η συνολική στιγμιαία ζήτηση ροπής από το σύστημα πρόωσης και η συνεισφορά ροπής από τον ηλεκτρικό και θερμικό κινητήρα αντίστοιχα. Στο δεύτερο διάγραμμα παρουσιάζεται η ποσοστιαία μετρούμενη θολότητα στον οχετό εξαγωγής, με το 0% να είναι διαυγή καυσαέρια και 100% μαύρος καπνός. Το υβριδικό σύστημα, για το προφίλ φόρτισης της συγκεκριμένης δοκιμής, παράγει περίπου 25 % λιγότερο καπνό.

Σύστημα μεταβλητής όδευσης καυσαερίων για απορρύπανση

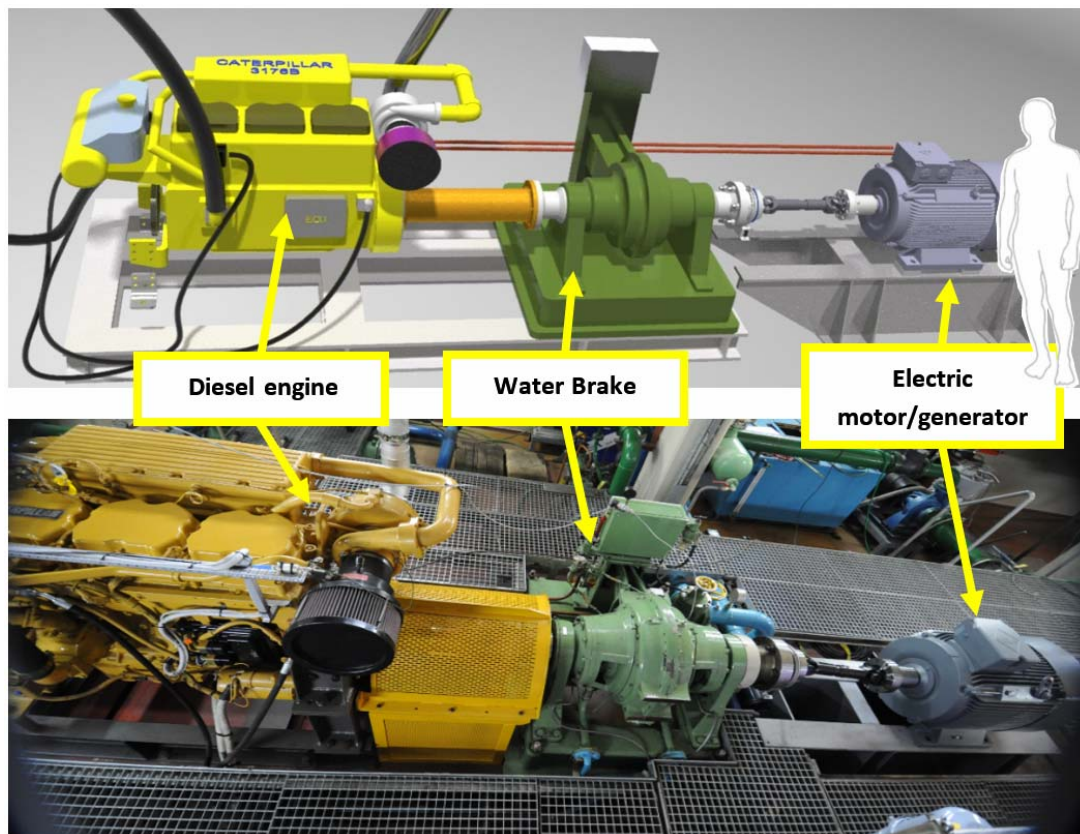
Το πρόβλημα εκπομπών καπνού κατά την επιτάχυνση ενός ναυτικού κινητήρα Diesel υπό φορτίο παρουσιάζεται λόγω της προσωρινής αδυναμίας του υπερπληρωτή να παροχετεύσει ικανή ποσότητα αέρα, ώστε να καεί πλήρως η ποσότητα καυσίμου που απαιτείται για να αντεπεξέλθει ο κινητήρας πρόωσης στο αυξανόμενο φορτίο από το σύστημα πρόωσης, καθώς το πλοίο επιταχύνει. Το πρόβλημα εμφανίζεται συχνά στα ταχύπλοα επιβατηγά, που εκτελούν υπό πίεση χρόνου δρομολόγια με πολλές στάσεις σε νησιωτικά λιμάνια.

Στις εγκαταστάσεις του ENM, έχει αναπτυχθεί και κατασκευασθεί πρωτότυπο σύστημα μετ-επεξεργασίας καυσαερίων για τη μείωση των εκπομπών του καπνού κατά τη φάση επιτάχυνσης ναυτικών κινητήρων. Στο σύστημα αυτό χρησιμοποιούνται φίλτρα αιθάλης στον οχετό καυσαερίων για κατακράτηση των σωματιδίων αιθάλης. Το πρόβλημα με τη χρήση φίλτρων αιθάλης σε μία εγκατάσταση πρόωσης πλοίου είναι ότι φράσσουν πιο γρήγορα, λόγω του ναυτιλιακού καυσίμου και χρειάζεται συχνά έναυση για

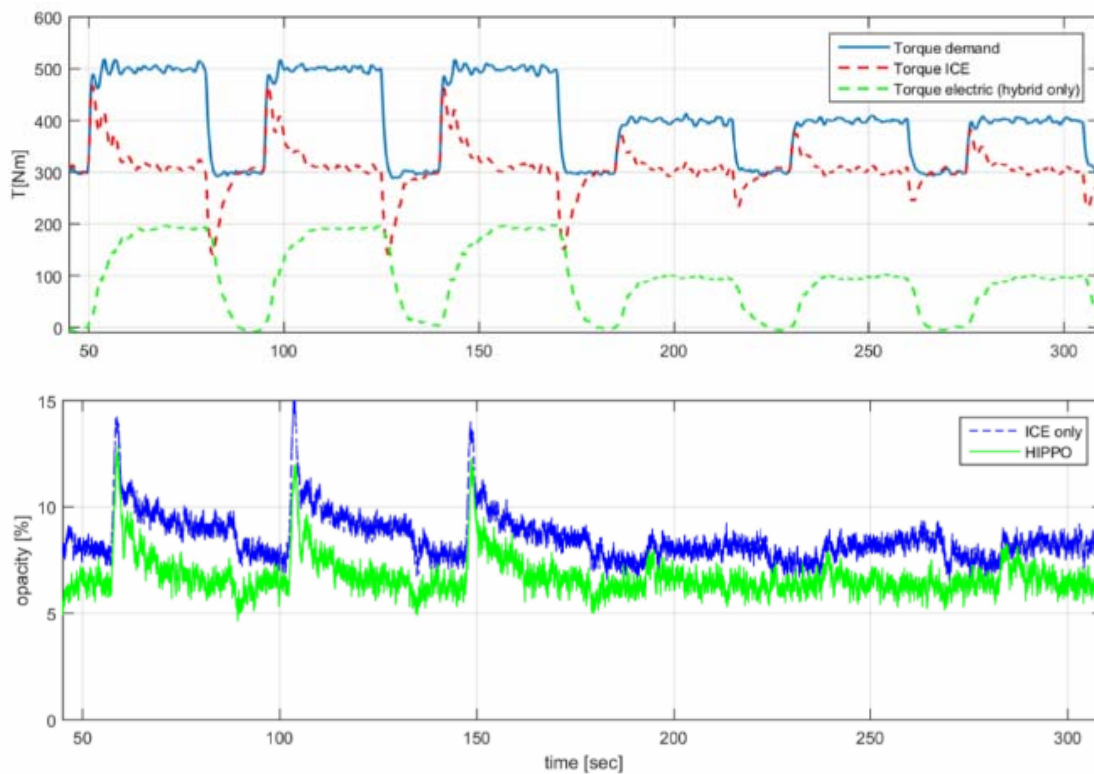
αναγέννηση, η οποία επιπλέον δεν μπορεί να είναι πλήρης λόγω των υπολειμμάτων του ναυτιλιακού καυσίμου. Επίσης, αναφορικά με εφαρμογές επί πλοίου, προκύπτουν προβλήματα ασφαλείας για την έναυση φίλτρου στο μηχανοστάσιο. Προκειμένου να ξεπεραστούν τα προβλήματα, έχει σχεδιαστεί μια παράκαμψη του κυρίως οχετού εξαγωγής στην οποία τοποθετούνται οι παγίδες αιθάλης και η οποία διαθέτει κατάλληλες ηλεκτρο-πνευματικά ελεγχόμενες βαλβίδες ελέγχου όδευσης των καυσαερίων. Τα καυσαέρια διοχετεύονται προς την παγίδα, κυρίως κατά τη φάση επιτάχυνσης του ναυτικού κινητήρα, που αποτελεί μόνο 5% του συνολικού χρόνου λειτουργίας. Έτσι το φίλτρο φράσσει με αργό ρυθμό και μπορεί να αντικαθίσταται με νέο σε τακτά διαστήματα, οπότε η έναυση και αναγέννηση του χρησιμοποιημένου να γίνονται με ασφάλεια σε ειδικές εγκαταστάσεις στην ξηρά. Επίσης η ευθεία όδευση καυσαερίων κατά τη φάση της σταθερής λειτουργίας δεν επιβάλλει επιβαρυντική αντίθλιψη στον κινητήρα. Η Εικόνα 3 παρουσιάζει την τρισδιάστατη απεικόνιση του αγωγού καυσαερίων, με τις θέσεις των φίλτρων αιθάλης, των δύο ελεγχόμενων βαλβίδων παράκαμψης, καθώς και των σημείων τοποθέτησης οργάνων μέτρησης.

Η τελική μορφή του αγωγού καυσαερίων παρουσιάζεται παρακάτω. Στην Εικόνα 4α παρουσιάζεται ο αγωγός καυσαερίων, όπως έχει κατασκευασθεί στο χώρο του ENM, και στην Εικόνα 4β ο αγωγός με τη μόνωση. Το σύστημα παράκαμψης καυσαερίων ενεργοποιείται από έλεγχο κλειστού βρόχου, όπου, με βάση τη μέτρηση θολότητας στην εξαγωγή, δίνεται εντολή για κατάλληλο χειρισμό των δύο βαλβίδων, ώστε αυξανόμενο τμήμα των καυσαερίων να οδηγείται μέσα από τα φίλτρα αιθάλης, έως ότου η τιμή της θολότητας να πέσει κάτω από ένα προκαθορισμένο όριο.

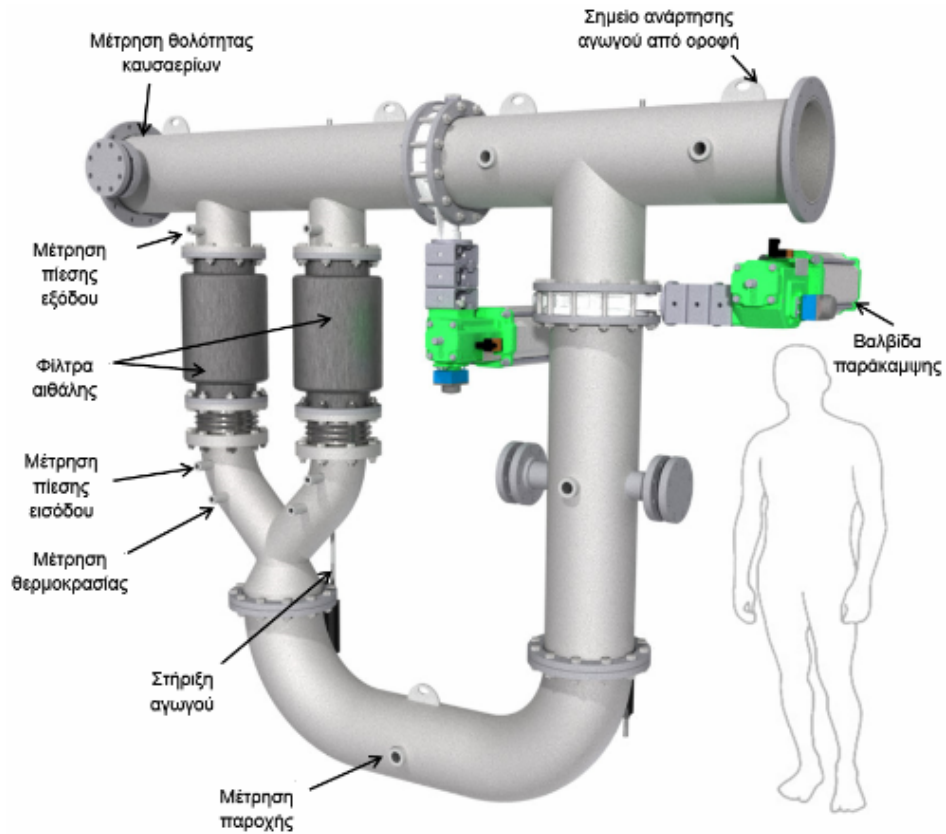
Στην Εικόνα 5 παρουσιάζονται η αδιαφάνεια (opacity), η στιγμιαία ροπή κινητήρα (T), η μέτρηση θέσης των βαλβίδων παράκαμψης (valve position) και η αντίθλιψη του συστήματος (back pressure) στον οχετό εξαγωγής.



Εικόνα 1. Η πειραματική εγκατάσταση υβριδικού ηλεκτρικού συστήματος πρόωσης HIPPO του Εργαστηρίου Ναυτικής Μηχανολογίας ΕΜΠ.



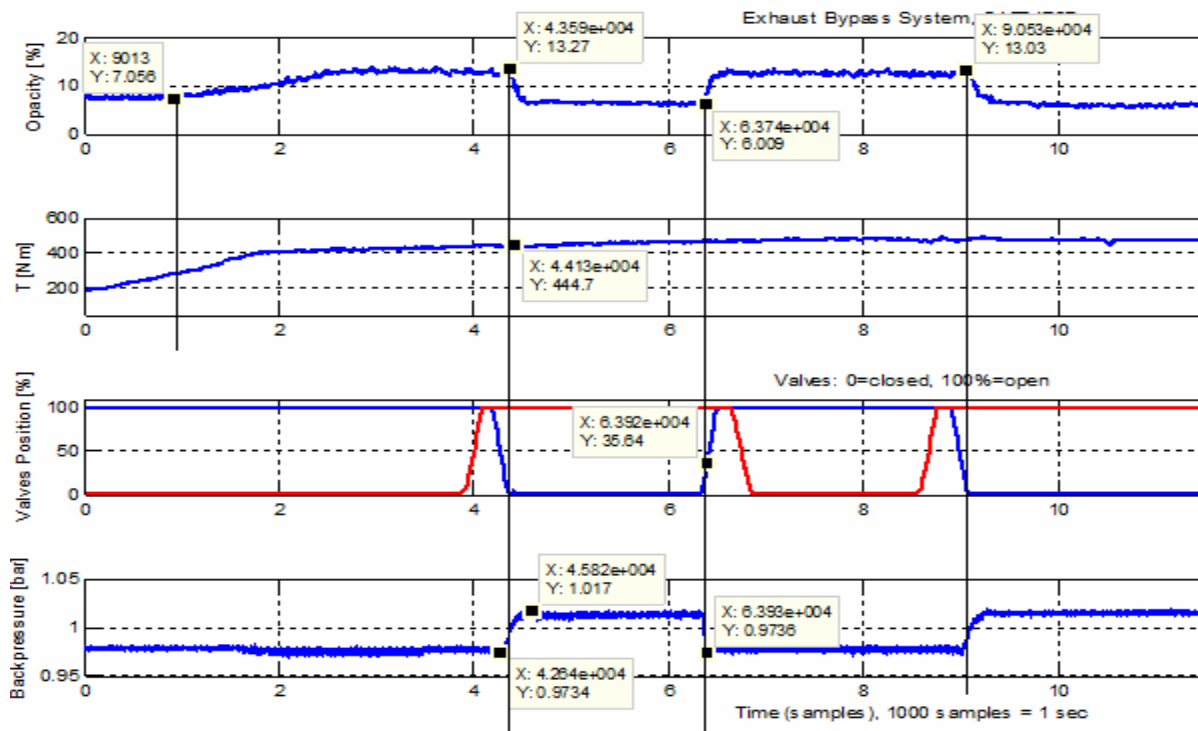
Εικόνα 2. Αποτελέσματα μετρήσεων από τα πειράματα του υβριδικού συστήματος πρόωσης HIPPO σε σύγκριση με το συμβατικό, στο ENM – ΕΜΠ.



Εικόνα 3. Τελικό σχέδιο διάταξης αγωγού καυσαερίων του ENM με παράκαμψη, ηλεκτρονικά ελεγχόμενες βαλβίδες και φίλτρα αιθάλης.



Εικόνα 4. Η πειραματική διάταξη μεταβλητής όδευσης και καθαρισμού καυσαερίων στο ENM. (α) η σωλήνωση όπου διακρίνονται όλες οι επιμέρους συνδέσεις, (β) ο αγωγός στην τελική του μορφή με τη μόνωση.



Εικόνα 5. Μετρήσεις θολότητας, ροπής, θέσεων βαλβίδων και αντίθλιψης στον αγωγό μεταβλητής όδευσης καυσαερίων.