

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ ΣΤΗΝ ΛΙΠΑΝΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ**Θ. Τυροβολά^{1*}, Η. Ηλιόπουλος¹, Γ. Σ. Ντόντος¹, Φ. Ζαννίκος¹**¹Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα, Ελλάδα(* theodoratirovola@yahoo.com)**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Από την 1^η Ιανουαρίου 2020, βάσει του παραρτήματος VI της Διεθνούς Σύμβασης για την Πρόληψη της Ρύπανσης από τα πλοία (MARPOL), σε παγκόσμιο επίπεδο η μέγιστη επιτρεπόμενη περιεκτικότητα σε θείο των ναυτιλιακών συμβατικών καυσίμων θα μειωθεί από 3,5% m/m σε 0,5% m/m, εφόσον δεν υφίστανται εν πλω διατάξεις επεξεργασίας των αέριων ρύπων. Ως συνέπεια των νέων κανονισμών που αναμένεται να τεθούν σε εφαρμογή, το ενδιαφέρον των εμπλεκόμενων φορέων επικεντρώνεται πλέον στα ναυτιλιακά καύσιμα με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο (< 0.5% m/m), και συγκεκριμένα στα αποστάγματα (marine distillate fuels), όπως επίσης και στις δυνατότητες αξιοποίησης των βιοκαυσίμων όπως του βιοντήζελ (μεθυλεστέρες των λιπαρών οξέων – FAME) και των υδρογονωμένων φυτικών ελαίων (HVO). Στην παρούσα μελέτη εξετάζεται η επίδραση της ταυτόχρονης προσθήκης δύο τύπων βιοκαυσίμων στις φυσικοχημικές ιδιότητες του ναυτιλιακού πετρελαίου, με έμφαση στην διερεύνηση της λιπαντικής ικανότητας. Μια σειρά από δείγματα συμβατικών ναυτιλιακών καυσίμων χαμηλού θείου αναμιγνύονται συγχρόνως με FAME και HVO σε διάφορες περιεκτικότητες και αναλογίες και ακολουθεί συγκριτική αξιολόγηση των επιδράσεων τους. Ο προσδιορισμός της λιπαντικής ικανότητας πραγματοποιείται μέσω της πρότυπης συσκευής HFRR (High Frequency Reciprocating Rig) κατά ISO 12156-1. Περαιτέρω εξετάζονται και οι μεταβολές σε έτερες βασικές ιδιότητες όπως η ροή σε χαμηλές θερμοκρασίες και η οξειδωτική σταθερότητα ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για τις βέλτιστες αναλογίες ανάμιξης. Από τα αποτελέσματα προκύπτει πως η ταυτόχρονη προσθήκη του μίγματος βιοκαυσίμων σε συμβατικά ναυτιλιακά καύσιμα βελτιώνει σε μεγαλύτερο βαθμό τόσο τη λιπαντική ικανότητα όσο και τις υπόλοιπες εξεταζόμενες ιδιότητες σε σύγκριση με τις περιπτώσεις εκείνες όπου τα δύο βιοκαύσιμα προστίθενται διακριτά.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ: ΟΙ ΕΚΠΕΜΠΟΜΕΝΟΙ ΡΥΠΟΙ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ ΚΑΙ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Οι περισσότεροι από τους υφιστάμενους θαλάσσιους κινητήρες έχουν σχεδιαστεί ειδικά ώστε το καύσιμο που χρησιμοποιείται να είναι το βαρύ μαζούτ (HFO/Heavy Fuel Oil) ή το ναυτιλιακό πετρέλαιο ντήζελ (MDO/Marine Diesel Oil) το οποίο αποτελεί μίγμα πετρελαίου εσωτερικής καύσης και βαρέως μαζούτ. Η καύση του συμβατικού καυσίμου στον ναυτικό κινητήρα έχει ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό ενός πολύπλοκου μίγματος καυσαερίων και σωματιδίων. Η ναυτιλία αντιπροσωπεύει το 2-3% των παγκόσμιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), το 4-9% των συνολικών εκπομπών οξειδίων του θείου (SO_x) και το 10-15% των συνολικών εκπομπών οξειδίων του αζώτου (NO_x) ^[1]. Οι εκπομπές SO_x προέρχονται κυρίως από τα καυσαέρια των βαρέων υπολειμματικών καυσίμων που χρησιμοποιεί η πλειοψηφία των πετρελαιοκίνητων πλοίων της εμπορικής ναυτιλίας ^[2]. Οι χημικές αντιδράσεις μεταξύ των εκπομπών SO_x και NO_x δημιουργούν υψηλά επίπεδα αιωρούμενων σωματιδίων (PM/Particulate Matter) στην ατμόσφαιρα, τα οποία συντελούν στην μόλυνση των παράκτιων περιοχών και ευθύνονται για την εμφάνιση πνευμονικών νόσων και τον πρόωρο θάνατο ^[3].

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO/International Maritime Organization), μέσω του 6^{ου} Παραρτήματος (Annex VI) της Διεθνούς Συμβάσεως για την Πρόληψη της Ρύπανσης από τα πλοία (MARPOL/Marine Pollution), θέτει σε ισχύ από την 1^η Ιανουαρίου 2020 τον περιορισμό της περιεκτικότητας σε θείο του βαρέως υπολειμματικού καυσίμου (μαζούτ) από 3,5% (m/m) στο ανώτατο όριο των 0,5% (m/m). Το παράρτημα VI της σύμβασης MARPOL, που εγκρίνεται για πρώτη

φορά το 1997 και τίθεται σε ισχύ στις 19 Μαΐου 2005, θεσπίζει όρια που αφορούν την περιεκτικότητα σε θείο των καυσίμων των πλοίων και οριοθετεί τις περιοχές ελεγχόμενων εκπομπών θείου ECA-SO_x (Emission Control Areas). Η περιεκτικότητα σε θείο των ναυτιλιακών καυσίμων των πλοίων που πλέουν ή βρίσκονται στις ECA-SO_x (Βαλτική Θάλασσα, Βόρεια Θάλασσα, ορισμένες περιοχές της Βόρειας Αμερικής-συμπεριλαμβανομένων των περισσότερων ακτών των ΗΠΑ, Καναδάς και Καραϊβική), περιορίζεται σε μόλις 0,1% (m/m) από την 1^η Ιανουαρίου 2020 [4]. Το ανώτατο όριο θείου που τίθεται για το 2020 θεωρείται ορόσημο για τις ναυτιλιακές δραστηριότητες, δεδομένου ότι αναμένεται να αποτελέσει ένα από τα πρώτα σημαντικά βήματα για την έναρξη μιας νέας πράσινης εποχής, με απώτερο στόχο την από-ανθρακοποίηση (decarbonization) της ναυτιλιακής βιομηχανίας. Οι πλοιοκτήτες υποχρεώνονται να συμμορφωθούν με τους κανονισμούς του IMO και να περιορίσουν τους ατμοσφαιρικούς ρύπους, είτε εγκαθιστώντας συστήματα καθαρισμού των καυσαερίων στα πλοία τους (scrubbers), είτε χρησιμοποιώντας φιλικότερα προς το περιβάλλον καύσιμα που περιέχουν χαμηλή ή μηδενική περιεκτικότητα σε θείο.

ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΑ ΑΠΟΣΤΑΓΜΑΤΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Ο Διεθνής Οργανισμός Πιστοποίησης ISO εφαρμόζει το πρότυπο ISO 8217 ώστε να καθορίσει τις απαιτήσεις των καυσίμων που χρησιμοποιούνται στους ναυτικούς κινητήρες πετρελαίου πριν από την συμβατική τους επεξεργασία επί του σκάφους, πριν τη χρήση τους. Τα ναυτιλιακά καύσιμα χωρίζονται σε υπολειματικά (residuals) και αποστάγματα καυσίμου (distillates). Τα ναυτιλιακά αποστάγματα καυσίμου περιλαμβάνουν το πετρέλαιο εσωτερικής καύσης (MGO/Marine Gas Oil) και το ναυτιλιακό ντήζελ (MDO/Marine Diesel Oil). Το MGO είναι ταξινομημένο διεθνώς ως DMA (Distillate Marine A) και το ναυτιλιακό ντήζελ MDO είναι ταξινομημένο ως DMB (Distillate Marine B). Το DMZ (Distillate Marine Z) αποτελεί επίσης βαθμίδα του MGO, ταυτόσημη με το DMA αλλά διαθέτει υψηλότερο ελάχιστο ιξώδες από αυτό. Σύμφωνα με τους νέους κανονισμούς του IMO τα σκάφη που πλέουν ή βρίσκονται στις οριοθετημένες περιοχές ECA-SO_x οφείλουν να συμμορφώνονται με τα νέα περιβαλλοντικά όρια εκπομπών αέριων ρύπων [5]. Μέχρι στιγμής την μια από τις ασφαλέστερες επιλογές καυσίμων που να πληρούν το ανώτατο όριο εκπομπών θείου που απαιτούν οι περιοχές ECA-SO_x, αποτελούν οι βαθμίδες των ναυτιλιακών αποσταγμάτων: DMA, DMB και DMZ.

Στην πιο πρόσφατη αναθεώρηση του προτύπου ISO 8217:2017, καθίσταται πλέον επιτρεπτή η ενσώματωση των μεθυλεστέρων των λιπαρών οξέων (Fatty Acid Methyl Esters/FAME) σε συγκεκριμένες βαθμίδες των ναυτιλιακών αποσταγμάτων καυσίμων (Distillate FAME/DF Grades). Οι καινούργιες βαθμίδες DFA, DFB, DFZ με μέγιστη επιτρεπτή περιεκτικότητα σε FAME ως 7% v/v, ανταποκρίνονται στην αυξημένη ζήτηση για ναυτιλιακά καύσιμα με ελάχιστη περιεκτικότητα σε θείο. Τα υπόλοιπα καύσιμα ναυτιλίας πρέπει να είναι απαλλαγμένα από βιοκαύσιμα εκτός από το επίπεδο «de minimis» των μεθυλεστέρων των λιπαρών οξέων. Η ποσότητα «de minimis» για τα ναυτιλιακά αποστάγματα καυσίμου, καθορίζεται σε μέγιστο επιτρεπόμενο όριο 0,5% v/v και είναι τέτοια ώστε να μην καθιστά το καύσιμο ακατάλληλο για χρήση σε ναυτιλιακές εφαρμογές [6]. Τέλος, τα ναυτιλιακά αποστάγματα καυσίμου επιτρέπεται να περιλαμβάνουν υδρογονάνθρακες προερχόμενους από συνθετικές ή ανανεώσιμες πηγές παρόμοιους στην σύνθεση των αποσταγμάτων καυσίμου πετρελαίου.

ΛΙΠΑΝΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

Η λιπαντική ικανότητα του καυσίμου ντήζελ αναφέρεται στην ικανότητα του να δημιουργήσει ένα στρώμα οριακής λίπανσης το οποίο θα συμβάλλει στη μείωση της φθοράς των μεταλλικών κινούμενων τμημάτων του κινητήρα και συγκεκριμένα των εξαρτημάτων που αφορούν το σύστημα έγχυσης καυσίμου (αντλίες, εγχυτήρες). Η αποτελεσματική λίπανση του κινητήρα βοηθά στην αποδοτική λειτουργία του, με λιγότερο θόρυβο και χαμηλότερες θερμοκρασίες. Η εφαρμογή των

ολοένα και πιο αυστηρών περιβαλλοντικών κανονισμών που τίθενται με στόχο την κλιμακωτή μείωση της περιεκτικότητας σε θείο του καυσίμου ντήζελ, έχουν ως αποτέλεσμα την μείωση της λιπαντικής του ικανότητας και την δημιουργία πολλαπλών προβλημάτων και βλαβών στα μεταλλικά μέρη του κινητήρα. Η λιπαντική ικανότητα του πετρελαίου κίνησης και του ναυτιλιακού αποστάγματος καυσίμου προσδιορίζεται μέσω της διαδικασίας μέτρησης των χαρακτηριστικών πρόληψης φθοράς με χρήση εξέδρας υψηλών συχνοτήτων παλινδρόμησης/High Frequency Reciprocating Rig (HFRR) σύμφωνα με την πρότυπη μέθοδο EN ISO12156-1. Το αποτέλεσμα της μέτρησης είναι η διορθωμένη - ως προς την πρότυπη τάση ατμών του νερού σε 1.4 kPa - διάμετρος φθοράς ($WS_{1.4}$) και ορίζει την λιπαντική ικανότητα του καυσίμου. Η προδιαγραφή για την λιπαντική ικανότητα του ναυτιλιακού αποστάγματος - με περιεκτικότητα σε θείο (S) < 500 ppm - βάσει προτύπου ISO 8217, είναι τα 520μm και για το πετρέλαιο κίνησης (S < 10 ppm) βάση προτύπου EN 590 είναι τα 460μm [7].

ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ ΣΤΗΝ ΝΑΥΤΙΛΙΑ

Είναι πλέον σαφές πως η ναυτιλιακή βιομηχανία στρέφεται σε ένα μέλλον με καθαρότερα καύσιμα. Τα καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο καθιστούν την λειτουργία του ναυτικού κινητήρα ομαλότερη, με λιγότερα λειτουργικά προβλήματα και με μειωμένο κόστος συντήρησης. Η χρήση των βιοκαυσίμων αποτελεί ασφαλή και αποτελεσματική επιλογή τόσο για την επίτευξη χαμηλότερης έντασης άνθρακα στην πρόωση των πλοίων όσο και για τον περιορισμό των εκπομπών θείου από τα καυσαέρια τους. Τα βιοκαύσιμα είναι σχεδόν απαλλαγμένα από θειούχες ενώσεις, παρέχοντας ένα ισχυρό πλεονέκτημα έναντι των συμβατικών ορυκτών καυσίμων ναυτιλίας [8]. Τα υγρά βιοκαύσιμα που μελετώνται είναι το βιοντήζελ ή FAME (δεύτερης γενιάς βιοκαύσιμο) και το υδρογονωμένο φυτικό έλαιο ή HVO (Hydrotreated Vegetable Oil). Το βιοντήζελ ως συστατικό ανάμιξης του ντήζελ βελτιώνει αποδεδειγμένα την λιπαντική ικανότητα του καυσίμου καθώς οι μεθυλεστέρες των λιπαρών οξέων λόγω της πολικότητας και της δυνατότητας προσρόφησης τους στις μεταλλικές επιφάνειες, διαθέτουν άριστα τριβολογικά χαρακτηριστικά. Μειώνει τις εκπομπές καπνού και αιθάλης (C) και ελατώνει τις εκπομπές οξειδίων του θείου (SO_x), μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και των αιωρούμενων σωματιδίων (PM). Η υψηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο του FAME οδηγεί στην μείωση της οξειδωτικής του σταθερότητας και με την πάροδο του χρόνου στον σχηματισμό υπεροξειδίων, οξέων και άλλων αδιάλυτων ενώσεων. Το HVO αποτελεί ένα drop-in καύσιμο (όπως το FAME) που μπορεί να αναμειχθεί με το συμβατικό καύσιμο ναυτιλίας και είναι συμβατό με τους ήδη υπάρχοντες αλλά και τους νέους ναυτικούς κινητήρες. Το HVO διαθέτει υψηλότερο αριθμό κετανίου από το FAME γεγονός που οδηγεί σε σημαντική μείωση των εκπομπών οξειδίων του αζώτου (NO_x) και των υδρογονανθράκων (HC) και συνιστά καύσιμο με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, καθώς υπάρχει ελάχιστη πιθανότητα πρόωρης οξείδωσης του καυσίμου.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Στην παρούσα μελέτη διερευνάται η ταυτόχρονη προσθήκη των βιοκαυσίμων FAME και HVO σε τρία διαφορετικά ναυτιλιακά αποστάγματα καυσίμου με στόχο την μελέτη των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των μιγμάτων τους. Εξετάζονται η λιπαντική ικανότητα των καυσίμων, οι μεταβολές της ροής τους σε χαμηλές θερμοκρασίες και η οξειδωτική τους σταθερότητα.

Καύσιμα που χρησιμοποιήθηκαν:

- **Καύσιμα Βάσης:** τρία ναυτιλιακά απόσταγματα καυσίμου, τύπου MGO/βαθμίδας DMA – DMA₁, DMA₂, DMA₃. Οι προδιαγραφές των ναυτιλιακών αποσταγμάτων ακολουθούν το πρότυπο ISO 8217:2017.
- **Βιοκαύσιμο:** βιοντήζελ-FAME/Προδιαγραφές κατά EN 14214. *Συμβολίζεται στην μελέτη ως B.*
- **Βιοκαύσιμο:** HVO (NEXBTL™)/δεύτερης γενιάς βιοκαύσιμο. Το HVO ακολουθεί το πρότυπο EN 15940:2016 για τα παραφινικά καύσιμα ντήζελ.

Πίνακας 1. Βασικές Φυσικοχημικές ιδιότητες DMA₁ & μιγμάτων

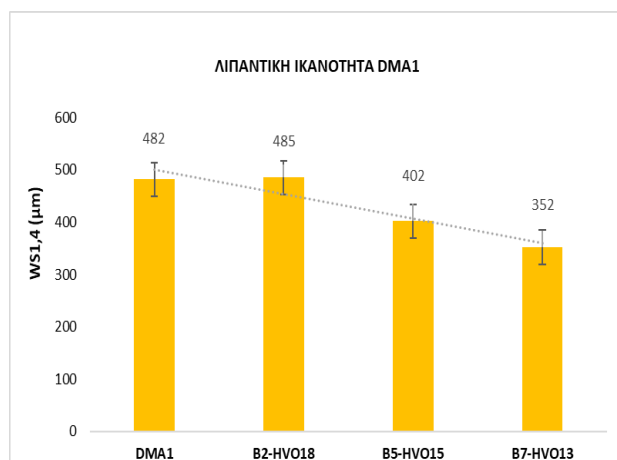
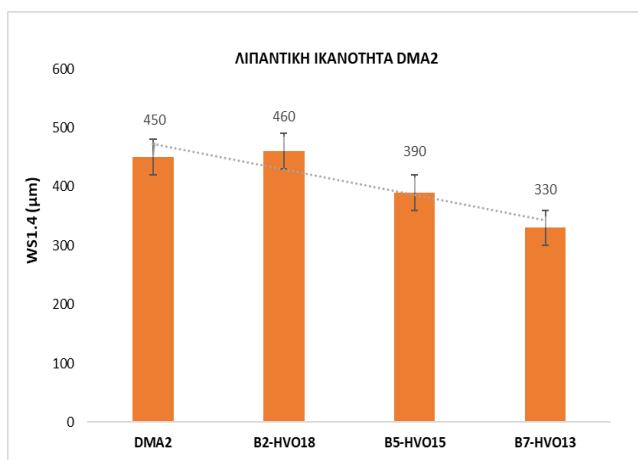
ΤΥΠΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ		DMA1	B2-HVO18	B5-HVO15	B7-HVO13
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	Μέθοδος	Μέτρηση			
Κινηματικό Ιξώδες@40°C, mm ² /s	ISO 3104	3,6615	3,5550	3,5691	3,6844
Πυκνότητα @15°C, kg/m ³	ISO 3675	860,4	845,2	848,3	851,2
Περιεκτικότητα σε θείο, m/m%	ISO 14596	0,097	0,081	0,080	0,079
Σημείο Θόλωσης (CP), °C	ISO 3015	3	1	0	0
Σημείο Ροής (PP), °C	ISO 3016	-7	-12	-12	-12
Σημ. Απόφρ. Ψυχρού Φίλτρου (CFPP), °C	IP 309	-4	-4	-3	-3
Λιπαντική Ικανότητα, WS1.4 @60°C, μm	ISO 12156-1	482	485	402	352
Οξειδωτική Σταθερότητα (RSSOT), min	ASTM D7545	102	77	52	48

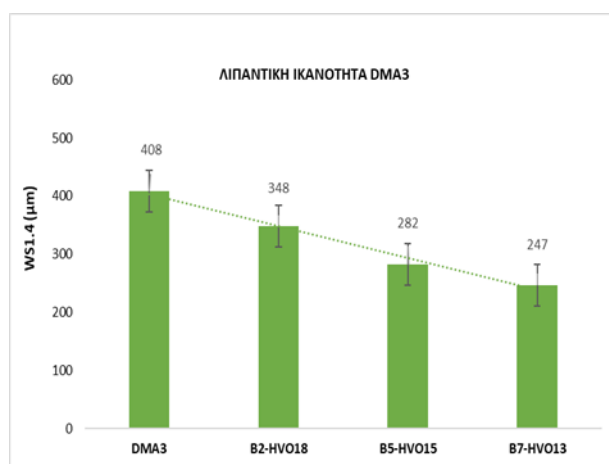
Πίνακας 2. Βασικές Φυσικοχημικές ιδιότητες DMA₂ & μιγμάτων

ΤΥΠΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ		DMA2	B2-HVO18	B5-HVO15	B7-HVO13
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	Μέθοδος	Μέτρηση			
Κινηματικό Ιξώδες@40°C, mm ² /s	ISO 3104	3,5851	3,4704	3,5145	3,5249
Πυκνότητα @15°C, kg/m ³	ISO 3675	845,5	834,0	837,1	840,1
Περιεκτικότητα σε θείο, m/m%	ISO 14596	0,085	0,067	0,066	0,065
Σημείο Θόλωσης (CP), °C	ISO 3015	-	-	-	-
Σημείο Ροής (PP), °C	ISO 3016	-16	-17	-16	-14
Σημ. Απόφρ. Ψυχρού Φίλτρου (CFPP), °C	IP 309	-11	-12	-11	-10
Λιπαντική Ικανότητα, WS1.4 @60°C, μm	ISO 12156-1	450	460	390	330
Οξειδωτική Σταθερότητα (RSSOT), min	ASTM D7545	94	64	51	34

Πίνακας 3. Βασικές Φυσικοχημικές ιδιότητες DMA₃ & μιγμάτων

ΤΥΠΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ		DMA3	B2-HVO18	B5-HVO15	B7-HVO13
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	Μέθοδος	Μέτρηση			
Κινηματικό Ιξώδες@40°C, mm ² /s	ISO 3104	2,7124	2,8086	2,8285	2,8163
Πυκνότητα @15°C, kg/m ³	ISO 3675	830,8	822,4	825,5	827,4
Περιεκτικότητα σε θείο, m/m%	ISO 14596	0,090	0,072	0,070	0,063
Σημείο Θόλωσης (CP), °C	ISO 3015	-3	-1	-5	-4
Σημείο Ροής (PP), °C	ISO 3016	-24	-21	-21	-20
Σημ. Απόφρ. Ψυχρού Φίλτρου (CFPP), °C	IP 309	-19	-18	-17	-17
Λιπαντική Ικανότητα, WS1.4 @60°C, μm	ISO 12156-1	408	348	282	247
Οξειδωτική Σταθερότητα (RSSOT), min	ASTM D7545	609	613	437	363

**Σχήμα 1.** Λιπαντική Ικανότητα DMA₁ & μιγμάτων**Σχήμα 2.** Λιπαντική Ικανότητα DMA₂ & μιγμάτων



Σχήμα 3. Λιπαντική Ικανότητα DMA₃ & μιγμάτων

Το βιοντήζελ ως συστατικό ανάμιξης ακόμα και σε πολύ μικρό ποσοστό (2%) ενισχύει σημαντικά την λιπαντική ικανότητα των συμβατικών ναυτιλιακών καυσίμων, γεγονός που επιφέρει σημαντική βελτίωση τόσο στην λειτουργία όσο και στην διάρκεια ζωής του συστήματος έγχυσης καυσίμου. Με την αύξηση του ποσοστού ανάμιξης των ναυτιλιακών αποσταγμάτων με βιοντήζελ ελαττώνεται η περιεκτικότητα τους σε θείο και αυξάνεται ο αριθμός κετανίου τους. Οι ιδιότητες ψυχρής ροής των μιγμάτων - σημείο θόλωσης (Cloud Point/CP), σημείο ροής (Pour Point/PP) και σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου (Cold Filter Plugging Point/CFPP) - υποβαθμίζονται από την αυξανόμενη προσθήκη βιοντήζελ (B₂, B₅, B₇) καθιστώντας τα καύσιμα πιο ευάλωτα σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Το HVO, στον αντίποδα, αποτελεί βιοκαύσιμο με εξαιρετική συμπεριφορά σε ψυχρές συνθήκες, συνεπώς καθώς προστίθεται περισσότερη ποσότητα HVO στα ναυτιλιακά αποστάγματα βελτιώνονται σημαντικά οι ιδιότητες ψυχρής ροής των καυσίμων. Η περιεκτικότητα σε θείο των ναυτιλιακών αποσταγμάτων μειώνεται κατά πολύ καθώς αυξάνεται το ποσοστό ανάμιξης με HVO, εφόσον το HVO είναι ένα καύσιμο σχεδόν μηδενικής περιεκτικότητας σε θείο, απαλλαγμένο από αρωματικές και οξυγονούχες ενώσεις. Χωρίς καθόλου πρόσθετα λιπαντικότητας, το HVO συνιστά καύσιμο με κακή λιπαντική ικανότητα ($WS_{1.4}=635\mu\text{m} > 520\mu\text{m}$). Καθώς αυξάνεται το ποσοστό ανάμιξης των αποσταγμάτων καυσίμων με το HVO η λιπαντική τους ικανότητα επηρεάζεται αρνητικά και μειώνεται.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η προσθήκη FAME αποδεικνύεται ότι ενισχύει τις τριβολογικές ιδιότητες των ναυτιλιακών καυσίμων ακόμα και σε πολύ μικρό ποσοστό ανάμιξης. Το βιοντήζελ όμως έχει την τάση να οξειδώνεται - γεγονός που οφείλεται στην παρουσία δις-/αλλυλικών θέσεων στις αλυσίδες των λιπαρών οξέων οι οποίες αντιδρούν ευχερώς με το οξυγόνο - όταν έρχεται σε επαφή με τον αέρα ή το νερό. Καθώς η συγκέντρωσή του αυξάνεται, δημιουργούνται προβλήματα που σχετίζονται με την σταθερότητα αποθήκευσης του, με τον σχηματισμό επικαθίσεων στο καύσιμο, λόγω ανάπτυξης μικροβιακού φορτίου και με την συμβατότητα του με το καύσιμο του κινητήρα.

Το επιστημονικό ενδιαφέρον έγκειται πλέον στην ανάμιξη των ναυτιλιακών κλασμάτων DMA με καθορισμένες περιεκτικότητες και αναλογίες και των δύο βιοκαυσίμων (FAME & HVO) ώστε να προκύψουν τα βέλτιστα μίγματα καυσίμων. Κατά την ανάμιξη των ναυτιλιακών αποσταγμάτων καυσίμου [DMA₁, DMA₂, DMA₃], υδρογονωμένου φυτικού ελαίου (παραφινών) και βιοντήζελ, ακολουθείται η εξής διαδικασία: πρώτα αναμιγνύεται το καύσιμο ναυτιλίας και οι παραφίνες (HVO) και στη συνέχεια προστίθεται το βιοντήζελ στο μίγμα αυτών. Οι ιδιότητες ψυχρής ροής των μειγμάτων DMA₁BHVO, DMA₂BHVO, DMA₃BHVO είναι αξιοσημείωτα βελτιωμένες καθώς με την βαθμιαία ανάμιξη των ναυτιλιακών αποσταγμάτων με μίγμα υδρογονωμένου φυτικού ελαίου και βιοντήζελ σε τρεις διαφορετικούς συνδυασμούς περιεκτικότητας (B₂HVO₁₈, B₅HVO₁₅, B₇HVO₁₃), τα DMA₁, DMA₂, DMA₃ εμφανίζουν φανερά βελτιωμένες ψυχρές ιδιότητες και καθίστανται πλέον

περισσότερο ανθεκτικά σε δρυμείς καιρικές συνθήκες με πολικές θερμοκρασίες (Πίνακες 1-3). Στα Σχήματα 1-3 φαίνεται καθαρά πως καθώς αυξάνεται η περιεκτικότητα σε βιοντήζελ του τριαδικού μίγματος παρατηρείται μικρότερη μέση διάμετρος φθοράς των καυσίμων και συνεπώς σημαντική βελτίωση της λιπαντικής τους ικανότητας. Το καύσιμο βιοντήζελ παρέχει εξαιρετική αντοχή στη φθορά που υπερβαίνει αυτή των καλύτερων συμβατικών καυσίμων ντήζελ. Η περιεκτικότητα σε θείο των συμβατικών ναυτιλιακών καυσίμων μειώνεται αισθητά όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα σε ΗVO στα τριαδικά μίγματα. Η προθήκη ΗVO, παρατηρείται στους Πίνακες 1-3 ότι ενισχύει την αντοχή στην οξείδωση του ναυτιλιακού καυσίμου. Η οξειδωτική σταθερότητα του πλέον οξειδωτικά ασταθούς παράγοντα (βιοντήζελ) αντισταθμίζεται και επομένως η ανθεκτικότητα στην οξείδωση των καυσίμων βελτιώνεται σε μεγάλο βαθμό.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ενώ οι περιβαλλοντικές αλλαγές έχουν ήδη επηρεάσει την ποικιλία των διαθέσιμων καυσίμων σε όλο τον κόσμο, η πλειοψηφία του στόλου εξακολουθεί να χρησιμοποιεί βαρέα υπολειματικά καύσιμα. Οι πραγματικές προκλήσεις για την ευρεία χρήση των καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, αποτελούν η σωστή πρόβλεψη των διαφόρων τύπων διαθέσιμων καυσίμων και η κατανόηση του τρόπου χρησιμοποίησής τους, τόσο μεμονωμένα όσο και σε συνδυασμό με τα συμβατικά καύσιμα ναυτιλίας ^[9]. Τα βιοκαύσιμα αποτελούν μια λύση που προσφέρει καθαρή μείωση του αποτυπώματος άνθρακα και των εκπομπών οξειδίων του θείου. Η παραγωγή όμως βιοκαυσίμων συμβατών με τα συμβατικά καύσιμα σε μεγάλη κλίμακα, προϋποθέτει την κατευθυνόμενη προσπάθεια των κατασκευαστών κινητήρων, των προμηθευτών βιοκαυσίμων, των πλοιοκτητών και των φορέων υποδομής λιμένων. Η αντικατάσταση του εξοπλισμού του πλοίου αποτελεί μια δαπανηρή υπόθεση και οι πλοιοκτήτες παραμένουν διστακτικοί στο να κάνουν μεγάλες επενδύσεις. Τα drop-in βιοκαύσιμα είναι συμβατά με τις υφιστάμενες υποδομές, περιορίζοντας συνεπώς την ανάγκη σημαντικών τροποποιήσεων στο πλοίο. Οι κατασκευαστές ναυτικών κινητήρων εκτιμούν ότι το πρόσθετο κόστος για τις τροποποιήσεις των κινητήρων που χρησιμοποιούν συμβατό βιοκαύσιμο είναι λιγότερο από το 5% του συνολικού κόστους του κινητήρα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Corbett, J., et al. (2007), *“Mortality from ship emissions: A global assessment”*, Environmental Science and Technology, Vol. 41 (24), pp 8512–8518.
- [2] Eyring, V. et al. (2005), *“Emissions from international shipping: 1. The last 50 years”*, Journal of Geophysical Research, Vol. 110, D117305, DOI:10.1029/2004JD005619.
- [3] Corbett, J., et al. (2007), *“Mortality from ship emissions: A global assessment”*, Environmental Science and Technology, Vol. 41 (24), pp 8512–8518.
- [4] MARPOL 73/78. 2015. *“International Convention for the Prevention of Pollution from Ships” Practical Guide 38: 1-57.*
- [5] Maria Zetterdahl Jana Moldanova, Xiangyu Pei, Ravi Kant Pathak, Benjamin Bemirdjian (November 2016), *“Impact of the 0.1% fuel sulphur content limit in SECA on particle and gaseous emissions from marine vessels”*, Atmospheric Environment, Vol. 145, p. 338-345.
- [6] Petroleum products—Fuels (Class F)—Specifications of Marine Fuels, International Standard ISO/FDIS 8217:2016, Final Draft.
- [7] Automotive fuels - Diesel - Requirements and test methods EN 590:2013.
- [8] Chia-wen Carmen Hsieh, University of Copenhagen & Claus Felby (Oct. 2017), University of Copenhagen, *“Biofuels for the marine shipping sector”*, An overview and analysis of sector infrastructure, fuel technologies and regulations.
- [9] Antoine Halff, Lara Younes, Tim Boersma (March 2019), *“The Likely Implications of the new IMO standards on the shipping industry”*, Energy Policy, Vol. 126, p. 277-286.