

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ ΑΠΟ ΦΥΤΙΚΑ ΕΛΑΙΑ**Δ. Φίλων¹, Γ. Αναστόπουλος¹, Δ. Καρώνης¹**¹Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα, Ελλάδα**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Ο κλάδος των λιπαντικών είναι πολύ σημαντικός για τη λειτουργία όλων των συστημάτων που περιλαμβάνουν κινούμενα μέρη. Τα λιπαντικά χρησιμοποιούνται για τη μείωση της τριβής και την πρόληψη της φθοράς του εξοπλισμού. Τα λιπαντικά αποτελούνται από μίγματα βασικών ελαίων με πρόσθετα. Τα βασικά έλαια παράγονται είτε από την επεξεργασία βαρέων κλασμάτων του πετρελαίου είτε από χημικές αντιδράσεις και είναι στο μεγαλύτερο μέρος τους μη βιοαποικοδομήσιμα.

Αντικείμενο της παρούσας ερευνητικής εργασίας αποτελεί η αξιολόγηση της παραγωγής βασικών λιπαντικών ελαίων βιολογικής προέλευσης χρησιμοποιώντας ως πρώτη ύλη φυτικά έλαια, όπως το αραβοσιτέλαιο, το βαμβακέλαιο, το ηλιέλαιο και το πυρηνέλαιο. Η παραγωγική διαδικασία περιελάμβανε εξευγενισμό των πρώτων υλών με διήθηση υπό κενό και όξινη εστεροποίηση προς απομάκρυνση στερεών και εξουδετέρωση των ελεύθερων λιπαρών οξέων αντίστοιχα. Κατόπιν, μέσω μεθανόλυσης (μετεστεροποίηση 1^{ου} σταδίου) παρελήφθησαν μεθυλεστέρες των λιπαρών οξέων, που αξιοποιήθηκαν ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιολιπαντικών. Η παραλαβή αυτών επιτεύχθηκε μέσω αλκαλικής μετεστεροποίησης 2^{ου} σταδίου με κατάλληλη μεγαλομοριακή πολυόλη, όπως η τριμεθυλοπροπανόλη (TMP). Οι παραγόμενοι ελαιοχημικοί εστέρες (τριμεθυλοπροπυλεστέρες) αξιολογήθηκαν ως προς τη ρευστότητά και την οξειδωτική και θερμική σταθερότητά τους, καθώς και ως προς την ικανότητά τους να αποτελέσουν ανανεώσιμα υποκατάστατα των παραδοσιακών λιπαντικών ελαίων, όπως τα ορυκτέλαια SN-150 και SN-500.

Η αξιολόγηση αυτή κατέδειξε τις αξιοσημείωτες φυσικοχημικές ιδιότητες των βιολιπαντικών όπως το ιξώδες, τον Δείκτη Ιξώδους και το σημείο ροής, τα οποία σε συνδυασμό με την υψηλή βιοαποικοδομησιμότητα καθιστούν τα λιπαντικά αυτά ιδανικά για αξιοποίησή τους σε ειδικές εφαρμογές μη ανακτώμενης λίπανσης ή υψηλής επικινδυνότητας, αλλά χαμηλού θερμικού φορτίου και οξειδωτικού δυναμικού.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Φυτικά Έλαια, Μετεστεροποίηση, Μεθυλεστέρες, Βιολιπαντικά, Τριμεθυλοπροπυλεστέρες

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τις τελευταίες δεκαετίες το πρόβλημα της ρύπανσης του περιβάλλοντος με μη βιοαποικοδομήσιμα συστατικά όπως είναι τα συμβατικά (πετρελαϊκής προέλευσης) λιπαντικά και οι διαρκώς εντονότερες πολιτικές στρατηγικής απεξάρτησης από τα πετρελαϊκής βάσης προϊόντα έχουν αναδείξει την τεχνολογία ανάπτυξης βιολιπαντικών σε σημαντικό ερευνητικό πεδίο. Τα παραπάνω σε συνδυασμό με την ανάγκη στήριξης της αγροτικής οικονομίας μέσω της αξιοποίησης ενεργειακών καλλιεργειών και καλλιεργειών ειδικών εφαρμογών, αλλά και οι ελκυστικές οικονομικές προοπτικές λόγω της υψηλής προστιθέμενης αξίας τους στην αγορά των λιπαντικών καθιστούν τα βιολιπαντικά μία πολλά υποσχόμενη πηγή οικονομικής δραστηριότητας σε εθνικό επίπεδο.

Θεωρητικά, τα βιολιπαντικά μπορούν να παραχθούν από οποιοδήποτε φυτικό προϊόν από το οποίο με τις κατάλληλες διεργασίες μπορεί να παραχθεί έλαιο. Πρακτικά ωστόσο

υπάρχει μια πληθώρα από τέτοιες πρώτες ύλες, οι οποίες δεν είναι κατάλληλες για την παραγωγή ελαίων. Τα κριτήρια για την καταλληλότητα ενός προϊόντος προκειμένου να αποτελέσει ένα υψηλής ποιότητας βιολιπαντικό συνίστανται στα παρακάτω:

- ✚ Διαθεσιμότητα πρώτων υλών
- ✚ Απόδοση πρώτων υλών (για την παραγωγή ικανοποιητικής ποσότητας ελαίου)
- ✚ Κόστος πρώτων υλών
- ✚ Ποιότητα πρώτων υλών (για την καλή ποιότητα του ελαίου και κατά συνέπεια του παραγόμενου βιολιπαντικού)^[1]

Συνοπτικά, η παραγωγή υψηλής προστιθέμενης αξίας βιολιπαντικών βασιζόμενη κατά κόρον σε εγχώριες πρώτες ύλες δύναται να ενισχύσει σημαντικά τον πρωτογενή τομέα παραγωγής προσφέροντας αναπτυξιακές δυνατότητες με γνώμονα την αειφορία. Παρά το γεγονός ότι ακόμη λόγω των τεχνολογικών ζητημάτων δεν αποτελούν το μερίδιο αγοράς λιπαντικών που θα αναμενόταν, η δυναμική διεύρυνση τους στην ευρωπαϊκή αγορά την επόμενη δεκαετία θα πρέπει να θεωρείται αρκετά πιθανή. Αυτό βέβαια προϋποθέτει την πρόσδοση κινήτρων, τη θεσμοθέτηση κοινού ευρωπαϊκού πλαισίου για την παραγωγή προϊόντων βιολογικής προέλευσης και την κατάρτιση προτύπων με τις τεχνικές προδιαγραφές που διέπουν τις διάφορες κατηγορίες βιολιπαντικών.

Συνολικά, το αντικείμενο της εργασίας αυτής επαφίεται με ένα πεδίο έρευνας το οποίο φιλοδοξεί να καταδείξει την τεχνοοικονομική κρισιμότητα της σύνθεσης βιοκαυσίμων και βιολιπαντικών στην ίδια γραμμή παραγωγής. Μάλιστα αυτή μπορεί να προσαρμοστεί ανάλογα με τις ανάγκες της ζήτησης στην εντατικοποίηση της παραγωγής του ενός ή του άλλου προϊόντος, συνεισφέροντας στην προβολή της έννοιας ενός *βιοδιύλιστηρίου* ως μιας βιώσιμης και αειφόρου τεχνολογικής πλατφόρμας. Η οικονομία κλίμακας ενός τέτοιου εγχειρήματος μπορεί να αποτιμηθεί θετικά, καθώς η παραγωγή προϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας όπως τα βιολιπαντικά σε χαμηλούς όγκους παραγωγής μπορεί να συνοδευτεί από αντίστοιχους υψηλούς, σε φθηνότερα προϊόντα όπως το βιοντίζελ.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Ως πρώτες ύλες για την παραγωγή βιολιπαντικών αξιοποιήθηκαν φυτικά έλαια. Συγκεκριμένα, αξιοποιήθηκαν τα εξής:

- ✚ αραβοσιτέλαιο (CRNO)
- ✚ βαμβακέλαιο (CO)
- ✚ ηλιέλαιο (SUNO)
- ✚ πυρηνέλαιο (POMO)

Ανάλογα με τα αρχικά προσδιοριζόμενα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους, τα έλαια αυτά αξιοποιήθηκαν είτε όπως παραλήφθηκαν είτε κατόπιν περαιτέρω εξευγενισμού για την απομάκρυνση της υγρασίας, την εξουδετέρωση των ελεύθερων λιπαρών οξέων (FFA) και τη μείωση του αριθμού οξύτητας (AV) τους μέσω της διεργασίας της όξινης εστεροποίησης. Τα τυπικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των ελαίων αυτών παρατίθενται στον Πίνακα 1.

Σε όλες τις αντιδράσεις σύνθεσης ελαιοχημικών εστέρων η αλκοόλη που χρησιμοποιήθηκε ήταν η τριμεθυλοπροπανόλη (TMP). Η μεθανόλη και τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιήθηκαν για τη σύνθεση και τις αναλύσεις των φυσικοχημικών ιδιοτήτων και τους εξευγενισμούς των ενδιάμεσων προϊόντων ήταν υψηλής καθαρότητας. Η προμήθεια τους έγινε από τις εταιρίες Sigma-Aldrich και Acros Organics.

Πίνακας 1 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά πρώτων υλών.

Ιδιότητα	Μονάδες	CRNO	CO	SUNO	POMO	Πρότυπη Μέθοδος
Πυκνότητα (15 °C)	kg/m ³	906,2	905,7	906,7	900,9	EN ISO 12185
Κινηματικό Ιξώδες (40 °C)	mm ² /s	32,86	34,28	32,53	39,61	EN ISO 3104
Κινηματικό Ιξώδες (100 °C)	mm ² /s	7,713	7,918	7,685	8,493	EN ISO 3104
Δείκτης Ιξώδους (VI)	-	216	213	219	200	ASTM D 2270
Υγρασία	mg/kg	880,0	718,0	874,8	1054,3	EN ISO 12937
Αριθμός Οξύτητας (AV)	mg KOH/g	4,13	0,40	3,48	0,72	EN 14104
Σημείο Ροής	°C	-7	-8	-10	-9	ASTM D 97
Οξειδωτική Σταθερότητα (RSSOT 140 °C, 700 kPa)	min	9,64	9,27	11,08	15,91	EN 16091/ ASTM D 7545

Για την παραγωγή των εστέρων της τριμεθυλοπροπανόλης (FATMPE) από τα φυτικά έλαια ακολουθήθηκε η μετεστεροποίηση δύο σταδίων. Στο 1^ο Στάδιο παρήχθησαν οι μεθυλεστέρες των λιπαρών οξέων (FAME), μέσω μεθανόλυσης των φυτικών ελαίων σε ατμοσφαιρική πίεση και θερμοκρασία 65 °C για 1,5 hr, με καταλύτη KOH συγκέντρωσης 0,75% wt ως προς τη μάζα του ελαίου και αναλογία MeOH/έλαιο ίση με 6:1 (n/n). Μετά το πέρας της μετεστεροποίησης, η γλυκερινική φάση απομακρύνθηκε χάρη στη διαφορά ειδικού βάρους από τη φάση των μεθυλεστέρων, ενώ τόσο η περίσσεια μεθανόλης όσο και η περιεχόμενη υγρασία απομακρύνθηκαν με απόσταξη υπό κενό σε περιστροφικό εξατμιστήρα. Στα φυτικά έλαια που παρουσίασαν υψηλό αριθμό οξύτητας (>1 mgKOH/g) σύμφωνα με τον Πίνακα 1, δηλαδή υψηλή περιεκτικότητα σε ελεύθερα λιπαρά οξέα (FFA), εφαρμόστηκε εξευγενισμός με όξινη εστεροποίηση των ελεύθερων λιπαρών οξέων, με μεθανόλη παρουσία H₂SO₄ (0,1 M) ως καταλύτη. Οι αναλογίες MeOH/FFA και H₂SO₄/FFA ήταν 60:1 (n/n) και 1:4 (m/m) αντίστοιχα [2]. Τέλος το δεύτερο στάδιο περιελάμβανε τη μετατροπή των FAME του 1^{ου} Σταδίου σε ελαιοχημικούς εστέρες της τριμεθυλοπροπανόλης (FATMPE), μέσω αλκαλικής μετεστεροποίησης με χρήση μεθοξειδίου του νατρίου (CH₃ONa) ως καταλύτη. Η επίδραση της συγκέντρωσης του καταλύτη καθώς και ο χρόνος μετατροπής μελετήθηκαν χρησιμοποιώντας ως τροφοδοσία τους μεθυλεστέρες πυρηνέλαιου, ενώ η μετατροπή των μεθυλεστέρων των υπόλοιπων ελαίων έγινε με τη χρήση CH₃ONa στη βέλτιστη αναλογία που προσδιορίστηκε στη διερεύνηση της περίπτωσης των μεθυλεστέρων πυρηνελαίου. Οι αντιδράσεις μετεστεροποίησης πραγματοποιήθηκαν σε γυάλινη σφαιρική φιάλη των 250 mL εξοπλισμένη με παγίδα Dean-Stark και συμπυκνωτή αναρροής. Όλες οι αντιδράσεις μεταξύ μεθυλεστέρων και τριμεθυλοπροπανόλης έγιναν σε στοιχειομετρική αναλογία, 3:1. Κατά τη διάρκεια των αντιδράσεων μετατροπής η σχηματισθείσα μεθανόλη απομακρυνόταν συνεχώς από το αντιδρών σύστημα μέσω αζεοτροπικής απόσταξης με το ισοοκάνιο (αζεοτροπικός παράγων) και ανακτάτο σχεδόν πλήρως στην παγίδα D-S [1]. Την παραγωγή και αξιολόγηση των χαρακτηριστικών και των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των παραχθέντων FATMPE ως συνθετικά βιολιπαντικά ακολούθησε η εξέταση της δυνατότητας να αποτελέσουν ανανεώσιμα υποκατάστατα βασικών λιπαντικών ελαίων όπως των ορυκτελαίων SN-150 και SN-500 Ομάδας I. Η ανάμιξη πραγματοποιήθηκε σε αναλογίες (κατ' όγκο) 50:50 και 90:10 προς το βιολιπαντικό αντίστοιχα.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Το σύνολο των FAME μελετήθηκε ως προς τις φυσικοχημικές του ιδιότητες συγκριτικά με ποιοτικές προδιαγραφές του Προτύπου EN 14214, κρίσιμες για τις απαιτήσεις του 2^{ου} Σταδίου, όπως την πυκνότητα, το ιξώδες στους 40 °C, τον αριθμό οξύτητας και τις περιεκτικότητές (κατά μάζα) τους σε εστέρες και υγρασία. Η εκλογή αυτή προέκυψε δεδομένου ότι αποτέλεσαν αποκλειστικά ενδιάμεσο προϊόν για την παραγωγή τριμεθυλοπροπυλεστέρων των λιπαρών οξέων και δεν αξιοποιήθηκαν ως καύσιμα.

Την ολοκλήρωση του 1ου Σταδίου παραγωγής ακολούθησε η διερεύνηση της βέλτιστης αναλογίας καταλύτη με κριτήριο τον βαθμό μετατροπής και τον χρόνο αντίδρασης σύνθεσης FATMPE, η οποία προσδιορίστηκε σε 2% wt ως προς τη συνολική μάζα των αντιδρώντων. Τα παραπάνω μελετήθηκαν χρησιμοποιώντας ως τροφοδοσία τους μεθυλεστέρες πυρηνέλαιου. Οι FATMPE που προέκυψαν κατά την μετατροπή των μεθυλεστέρων των λιπαρών οξέων με την χρήση CH₃ONa ως καταλύτη στην παραπάνω αναλογία, αποτιμήθηκαν αναφορικά με τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες ως δυνητικών βασικών λιπαντικών ελαίων. Τα πειραματικά αποτελέσματα συνοψίζονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2 Φυσικοχημικές ιδιότητες των FATMPE από τα φυτικά έλαια.

Ιδιότητα	Μονάδες	CRNTMPE	COTMPE	SUNT MPE	POMT MPE	Πρότυπη Μέθοδος
Αριθμός Οξύτητας	mg KOH/g	0,16	0,14	0,15	0,17	EN 14104
Υγρασία	mg/kg	56	54	67	58	EN ISO 12937
Σημείο Ροής	°C	-12	-12	-11	-9	ASTM D 97
Κινηματικό Ιξώδες (40 °C)	mm ² /s	33,02	36,92	44,24	43,67	ASTM D 7042
Κινηματικό Ιξώδες (100°C)	mm ² /s	7,769	8,359	9,795	9,093	
Δείκτης Ιξώδους	-	220	215	216	197	ASTM D 2270
Πυκνότητα (15 °C)	g/cm ³	0,9156	0,9185	0,9228	0,9160	ASTM D 7042
Οξειδωτική Σταθερότητα (RSSOT 140 °C, 700 kPa)	min	26,15	24,98	26,63	37,38	ASTM D7545

Λόγω της φτωχής πλην βελτιωμένης οξειδωτικής σταθερότητάς τους οι FATMPE δεν ήταν δυνατό να αξιοποιηθούν αυτούσιοι χωρίς την προσθήκη αντιοξειδωτικών ή την ανάμιξή τους με ορυκτέλαια. Για τον λόγο αυτό εξετάστηκαν ως προς τη δυνατότητά τους να υποκαταστήσουν βασικά λιπαντικά έλαια πετρελαϊκής προέλευσης SN-150 και SN-500 σε αναλογίες 50% και 10% κατ' όγκο αντίστοιχα. Οι φυσικοχημικές ιδιότητες των ορυκτελαίων αυτών αλλά και των μιγμάτων που σχηματίστηκαν για τη διακρίβωση της ικανότητάς τους αυτής παρουσιάζονται στους ακόλουθους πίνακες.

Πίνακας 3 Φυσικοχημικές ιδιότητες των ορυκτελαίων SN-150 και SN-500.

Ιδιότητα	Μονάδες	SN-150	SN-500	Πρότυπη Μέθοδος
Αριθμός Οξύτητας	mg KOH/g	0,015	0,020	EN 14104
Υγρασία	mg/kg	97	98	EN ISO 12937
Σημείο Ροής	°C	-15	-9	ASTM D 97
Κινηματικό Ιξώδες (40 °C)	mm ² /s	34,03	63,57	ASTM D 7042
Κινηματικό Ιξώδες (100 °C)	mm ² /s	5,738	8,786	
Δείκτης Ιξώδους	-	107	112	ASTM D 2270
Πυκνότητα (15 °C)	g/cm ³	0,8726	0,8736	ASTM D 7042
Οξειδωτική Σταθερότητα (RSSOT 140 °C, 700 kPa)	min	434,53	1461,0	ASTM D 7545

Πίνακας 4 Φυσικοχημικές ιδιότητες των μιγμάτων εστέρων με ορυκτέλαιο SN-150 (50:50 κατ' όγκο).

Ιδιότητα	Βιολιπαντικό (50% v/v) – SN150 (50% v/v)					Πρότυπη Μέθοδος
	Μονάδες	CRNTPE	COTMPE	SUNTMPE	POMTMPE	
Αριθμός Οξύτητας	mg KOH/g	0,09	0,10	0,09	0,11	EN 14104
Υγρασία	mg/kg	76	75	82	77	EN ISO 12937
Σημείο Ροής	°C	-14	-15	-13	-11	ASTM D 97
Κινηματικό Ιξώδες (40 °C)	mm ² /s	33,49	35,39	39,55	38,56	ASTM D 7042
Κινηματικό Ιξώδες (100 °C)	mm ² /s	6,815	8,585	5,289	4,274	ASTM D 7042
Δείκτης Ιξώδους		167	158	166	149	ASTM D 2270
Πυκνότητα (15 °C)	g/cm ³	0,8946	0,8961	0,8984	0,8948	ASTM D 7042
Οξειδωτική Σταθερότητα (RSSOT 140 °C, 700 kPa)	min	68,19	67,08	68,64	73,40	ASTM D7545

Οι διαφοροποιήσεις στις τιμές των φυσικοχημικών ιδιοτήτων μεταξύ των εστέρων από τα διάφορα φυτικά έλαια είναι άμεση συνέπεια των ιδιοτήτων των αντίστοιχων ελαίων βάσης. Σύμφωνα με τις μετρήσεις αυτές, οι παραγόμενοι εστέρες καταδεικνύουν υψηλές τιμές Δείκτη Ιξώδους. Γενικά ο υψηλός Δείκτης Ιξώδους είναι ένα επιδιωκόμενο χαρακτηριστικό για τα λιπαντικά, ειδικά στην περίπτωση ελαστοϋδροδυναμικής λίπανσης, διότι αποτρέπει την δραστική μείωση του ιξώδους κατά την αύξηση της θερμοκρασίας.

Πίνακας 5 Φυσικοχημικές ιδιότητες των μιγμάτων εστέρων με ορυκτέλαιο SN-150 (50:50 κατ' όγκο).

Ιδιότητα	Βιολιπαντικό (90% v/v) – SN500 (10% v/v)					Πρότυπη Μέθοδος
	Μονάδες	CRNTMPE	COTMPE	SUNTMPE	POMTMPE	
Αριθμός Οξύτητας	mg KOH/g	0,03	0,04	0,04	0,04	EN 14104
Υγρασία	mg/kg	94	93	95	94	EN ISO 12937
Σημείο Ροής	°C	-9	-9	-8	-7	ASTM D 97
Κινηματικό Ιξώδες (40 °C)	mm ² /s	54,73	56,57	59,41	58,78	ASTM D 7042
Κινηματικό Ιξώδες (100 °C)	mm ² /s	8,725	8,722	8,847	8,814	ASTM D 7042
Δείκτης Ιξώδους		135	131	122	124	ASTM D 2270
Πυκνότητα (15 °C)	g/cm ³	0,8780	0,8783	0,8788	0,8780	ASTM D 7042
Οξειδωτική Σταθερότητα (RSSOT 140 °C, 700 kPa)	min	211,9	208,4	213,3	228,1	ASTM D7545

Επιπλέον, οι TMP εστέρες διαθέτουν ικανοποιητικά χαρακτηριστικά σε χαμηλές θερμοκρασίες όπως προκύπτει από τις μετρήσεις του σημείου ροής. Τέλος ο αριθμός οξύτητας και η περιεκτικότητα σε υγρασία κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα με αποτέλεσμα ο διαβρωτικός χαρακτήρας και η πιθανότητα υδρόλυσης των περιεχόμενων εστέρων προς τα αντίστοιχα οξέα να είναι αμελητέα. Τα μίγματα που προέκυψαν εμφάνισαν τιμές των παραπάνω φυσικοχημικών ιδιοτήτων παραπλήσιες με αυτές που θα αναμένονταν γνωρίζοντας τον βαθμό υποκατάστασης και τις αντίστοιχες ιδιότητες των επί μέρους συστατικών. Από την εξέταση των αποτελεσμάτων αυτών προκύπτει ότι τα παραχθέντα βιολιπαντικά μπορούν κάλλιστα να υποκαταστήσουν το ορυκτέλαιο SN-150 και μάλιστα με ιδιαίτερα ευεργετικό ρόλο για την ανύψωση των παραπάνω φυσικοχημικών ιδιοτήτων, όχι όμως και το SN-500, παρά τη βελτίωση που επέφερε η προσθήκη τους ως προς τον ΔΙ και το σημείο ροής του ορυκτελαίου. Με βάση την αποτίμηση της οξειδωτικής σταθερότητας, οι FATMPE μπορούν να καταταγούν κατά αύξουσα σειρά οξειδωτικής σταθερότητας ως εξής: COTMPE < CRNTMPE < SUNTMPE <

ΡΟΜΤΜΡΕ. Η κατάταξη αυτή μπορεί να θεωρηθεί αναμενόμενη και να αιτιολογηθεί παρατηρώντας το προφίλ των μεθυλεστέρων των λιπαρών οξέων που αποτέλεσαν πρώτη ύλη του 2^{ου} Σταδίου παραγωγής, όπου αυτές με την υψηλότερη περιεκτικότητα σε FAME με κορεσμένη υδρογονανθρακική αλυσίδα απέδωσαν βιολιπαντικά με ισχυρότερη οξειδωτική σταθερότητα. Η οξειδωτική σταθερότητα αμφότερων των ορυκτελαίων προσδιορίστηκε, όπως αναμενόταν, ασύγκριτα υψηλότερη αυτής των βιολιπαντικών. Επομένως οι συνθετικοί ελαιοχημικοί εστέρες που παρελήφθησαν από τα φυτικά έλαια, ενώ δύναται να υποκαταστήσουν τα ορυκτέλαια σε μεγάλο μέρος του φάσματος των εφαρμογών τους, εντούτοις η χρήση τους περιορίζεται από τη φτωχή οξειδωτική σταθερότητα που επιδεικνύουν. Ακόμη και στην περίπτωση των μιγμάτων των βιολιπαντικών με τα ορυκτέλαια, η οξειδωτική σταθερότητα βελτιώθηκε σημαντικά μεν, αλλά και πάλι ήταν αρκετά χαμηλότερη αυτής των επί μέρους αρχικών ορυκτελαίων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ντόντος, Γ. Επιπτώσεις Ανανεώσιμων Υποκατάστατων στη Λιπαντική Ικανότητα, την Οξειδωτική Συμπεριφορά και το Μικροβιακό Φορτίο των Πετρελαιοειδών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, **2013**.
- [2] Ming Chai, Qingshi Tu, Mingming Lu, Y. Jeffrey Yang. Esterification Pretreatment of Free Fatty Acid in Biodiesel Production, from Laboratory to Industry. *Fuel Processing Technology* **2014**, 125, 106–113.