



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ**  
**ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**  
**«ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ ΣΤΗΝ ΝΑΥΤΙΛΙΑ»**

**ΕΙΣΗΓΗΤΡΙΑ**  
**ΚΥΡΙΑΚΗ ΧΑΤΖΗΡΟΔΙΑ (2212018212)**

**ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**  
**ΔΡ. ΝΙΚΗΤΑΣ ΝΙΚΗΤΑΚΟΣ**

**ΧΙΟΣ, 2023**

## Περιεχόμενα

Περίληψη.....	3
Abstract .....	4
Εισαγωγή.....	5
Κεφάλαιο 1 <sup>ο</sup> – ναυτιλία.....	7
1.1 Ναυτιλιακός κλάδος .....	7
1.2 Ιστορική αναδρομή.....	9
1.3 Ναυτιλιακά πλοία .....	10
Κεφάλαιο 2 <sup>ο</sup> Τεχνολογία θαλάσσιας πρόωσης.....	11
2.1 . Κινητήρες ντίζελ .....	11
2.2 Μηχανές πολλαπλών καυσίμων .....	14
2.3 Κινητήρες βενζίνης, φυσικού αερίου και ηλεκτρικοί.....	15
2.4 Το σύστημα καυσίμου.....	16
2.5 Τρέχοντα ναυτιλιακά καύσιμα .....	17
2.6 Πρότυπα και ταξινομήσεις καυσίμων πλοίων.....	17
2.7 Ιδιότητες των ναυτιλιακών καυσίμων .....	21
2.8 Υγροποιημένο φυσικό αέριο .....	23
2.9 Άλλα καύσιμα.....	25
Κεφάλαιο 3 <sup>ο</sup> - Βιοκαύσιμα .....	26
3.1 Έναρξη παραγωγής θαλάσσιων βιοκαυσίμων.....	26
3.2. Πρώτες ύλες βιοκαυσίμων .....	27
3.3. Δυνατότητες καυσίμου και πρώτης ύλης .....	29
3.4 Κανονισμοί θαλάσσιων βιοκαυσίμων .....	32
3.5 . Πρωτοβουλίες ανάπτυξης θαλάσσιων βιοκαυσίμων.....	34
3.6. Προκλήσεις ανάπτυξης βιοκαυσίμων.....	36
3.7 Προοπτικές/ Τάσεις βιοκαυσίμων στην Ελλάδα .....	38
Βιβλιογραφία.....	40

## Περίληψη

Ο τομέας της εμπορικής ναυτιλίας είναι ένας από τους πρωταγωνιστές στο παγκόσμιο εμπόριο. Πάνω από το 80% όλων των εμπορευμάτων μεταφέρονται μέσω διεθνών δρομολογίων. Παρουσιάζονται και συζητούνται οι διαφορετικές τεχνολογίες βιοκαυσίμων και οι δυνατότητες εφοδιασμού τους. Ο ναυτιλιακός τομέας περιλαμβάνει περισσότερα από 85.000 νηολογημένα πλοία χωρισμένα σε μικρά, μεσαία, μεγάλα και πολύ μεγάλα ποντοπόρα πλοία. Τα δύο τελευταία αντιπροσωπεύουν το 20% των σκαφών, αλλά το 80% της ολικής χωρητικότητας. Η πλειονότητα των ναυτιλιακών δρομολογίων συνδέονται με σχετικά μικρό αριθμό λιμανιών στη Βόρεια Αμερική, την Ευρώπη και την Ασία. Η ναυτιλία είναι η τρίτη μεγαλύτερη πηγή παγκόσμιων εκπομπών από τις μεταφορές, ενώ μεταφέρει το 90% του παγκόσμιου εμπορίου. Ταυτόχρονα, οι παγκόσμιες επωνυμίες δεσμεύονται ολοένα και περισσότερο σε αλυσίδες καθαρής μηδενικής αξίας. Η ζήτηση των καταναλωτών και της επωνυμίας για πιο βιώσιμη ναυτιλία αυξάνεται στη συνέχεια. Αυτό υπογραμμίζει τη βιωσιμότητα ολόκληρης της αλυσίδας.

*Λέξεις κλειδιά:* ναυτιλία, βιοκαύσιμα, εμπόριο, τεχνολογίες, τάσεις

## **Abstract**

The commercial shipping sector is one of the protagonists in world trade. More than 80% of all goods are transported via international routes. Different biofuel technologies and their supply possibilities are presented and discussed. The shipping sector includes more than 85,000 registered ships divided into small, medium, large and very large seagoing vessels. The last two represent 20% of the vessels, but 80% of the total tonnage. The majority of shipping routes connect to a relatively small number of ports in North America, Europe and Asia. Shipping is the third largest source of global transport emissions, carrying 90% of global trade. At the same time, global brands are increasingly tied to net zero value chains. Consumer and brand demand for more sustainable shipping is subsequently increasing. This underlines the sustainability of the entire chain.

**Keywords:** shipping, biofuels, trade, technologies, trends

## Εισαγωγή

Η ναυτιλία δεν αφορά μόνο τη μεταφορά αγαθών και το παγκόσμιο εμπόριο, αλλά έχει επίσης σημαντικό ρόλο στη στρατιωτική και αλιευτική βιομηχανία. Αυτή η έκθεση θα επικεντρωθεί στον τομέα της εμπορικής ναυτιλίας και μόνο μικρή προσοχή θα δοθεί στα αλιευτικά και στρατιωτικά σκάφη. Όπως και σε άλλους τομείς, οι χαμηλές τιμές του πετρελαίου από το 2014 ανέκοψαν τη ζήτηση για βιοκαύσιμα. Ωστόσο, η πιθανή αγορά βιοκαυσίμων και η ζήτηση αναμένεται να αυξηθούν στο εγγύς μέλλον, καθώς οι κανονισμοί για το θείο, τα οξείδια του αζώτου και τα σωματίδια γίνονται αυστηρότεροι<sup>2</sup>, καθώς και οι απαιτήσεις από τους ιδιοκτήτες εμπορικών σημάτων εντείνονται καθώς επιδιώκουν να διαφοροποιήσουν τα προϊόντα τους. Οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (GHG) δεν ρυθμίζονται άμεσα, αλλά η υψηλότερη ενεργειακή απόδοση και, επομένως, οι μειωμένες εκπομπές αποτελούν μέρος του ισχύοντος ρυθμιστικού συστήματος (Adamson, & Brown, 2016).

Τα καύσιμα πλοίων και οι τεχνολογίες κινητήρων του μέλλοντος θα πρέπει να είναι χαμηλά σε θείο, χαμηλές εκπομπές σωματιδίων και NOx από τη διαδικασία καύσης και σε μεγάλο βαθμό συμβατά με τις τρέχουσες υποδομές καυσίμων και κινητήρων. Για τα βιοκαύσιμα, κύρια παράμετρος θα είναι η βιωσιμότητα της πρώτης ύλης, συμπεριλαμβανομένων ζητημάτων σχετικά με τη χρήση γης και τη διατήρηση της φυσικής βιοποικιλότητας. Το κόστος των βιοκαυσίμων θα είναι μια σημαντική παράμετρος στη χρήση και την εισαγωγή τους στον ναυτιλιακό τομέα, ωστόσο, ορισμένα ρυθμιστικά ζητήματα και εντολές ενδέχεται να υπερισχύουν του κόστους ως η μοναδική πιο σημαντική παράμετρος (Adamson, & Brown, 2016).

Ο στόχος αυτής της εργασίας είναι να παρέχει μια εισαγωγή και επισκόπηση του τρέχοντος κλάδου της ναυτιλίας και να περιγράψει πώς οι κατασκευαστές βιοκαυσίμων μπορούν να εισάγουν εναλλακτικά καύσιμα, υπό το φως της υποδομής του κλάδου και του τρόπου με τον οποίο ρυθμίζεται. Για να περιγραφεί και να αναλυθεί το δυναμικό των βιοκαυσίμων για τον ναυτιλιακό τομέα, πραγματοποιείται τεχνική αξιολόγηση των βιοκαυσίμων για κινητήρες πλοίων.

Η εργασία περιλαμβάνει μια επισκόπηση της τρέχουσας κατάστασης του ναυτιλιακού τομέα. τις κατηγορίες πλοίων που κατασκευάστηκαν και βρίσκονται σε λειτουργία, τις διαφορετικές τεχνολογίες θαλάσσιας πρόωσης και τα καύσιμα που διατίθενται στην αγορά για πρόωση πλοίων. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι τρέχοντες και οι προσεχείς μελλοντικοί κανονισμοί για τη χρήση καυσίμων πλοίων

στις νέες περιοχές ελέγχου εκπομπών, εισάγοντας εντολές για τα επίπεδα θείου στα καύσιμα, καθώς και τις προδιαγραφές καυσίμων που απαιτούνται για τη συμμόρφωση με αυτές. Αυτοί οι κανονισμοί, υποκινούμενοι από την ανάγκη μείωσης των εκπομπών επιβλαβών σωματιδίων από τα ντίζελ πλοίων, αποτελούν επίσης μια οδό μέσω της οποίας τα βιοκαύσιμα μπορούν να εισέλθουν στην αγορά ως καύσιμα χαμηλών εκπομπών άνθρακα και χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο.

## Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> – ναυτιλία

### 1.1 Ναυτιλιακός κλάδος

Η ναυτιλία είναι ουσιαστικό μέρος της οικονομίας μας. Εξ ορισμού, είναι μέρος της ναυτιλιακής βιομηχανίας που περιλαμβάνει σκάφη που μεταφέρουν επιβάτες ή εμπορεύματα και ασχολείται με τις διαδικασίες μεταφοράς εμπορευμάτων, εμπορευμάτων και φορτίου δια θαλάσσης. Η εμπορική ναυτιλία είναι υπεύθυνη για το 80% του διεθνούς εμπορίου<sup>6</sup>, με μεταφορική ικανότητα περίπου 1200 εκατομμυρίων τόνων εμπορευμάτων αξίας περίπου 7 τρισεκατομμυρίων δολαρίων, και ως εκ τούτου είναι επίσης γνωστή ως η «ζωή της παγκόσμιας οικονομίας». Ως υπηρεσία μεταφοράς, ο τομέας της εμπορικής ναυτιλίας καταναλώνει περισσότερους από 330 εκατομμύρια τόνους προϊόντων πετρελαίου κάθε χρόνο. Ο ναυτιλιακός τομέας έχει δει μια γενική μακροπρόθεσμη τάση αύξησης του συνολικού όγκου εμπορίου λόγω της αυξανόμενης εκβιομηχάνισης και της απελευθέρωσης των εθνικών οικονομιών με την πάροδο του χρόνου. Από τα τέλη του 19ου αιώνα, νέες μέθοδοι πρόωσης και νέα σχέδια πλοίων έχουν δημιουργήσει μια έκρηξη στη ναυπήγηση<sup>7</sup>, μαζί με αυξημένη απόδοση όσον αφορά την ταχύτητα και τον όγκο φορτίου. Τις τελευταίες δεκαετίες, η εμπορική ναυτιλία έχει αυξηθεί μαζί με την αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, και συνεπώς τη ζήτηση για εμπορεύματα (Smith, et, al, 2014).

Επιπλέον, οι παγκόσμιες αναδύμενες οικονομίες θα συνεχίσουν να αυξάνουν τις απαιτήσεις τους για ακατέργαστα, ενδιάμεσα και τελικά προϊόντα καθώς αυξάνεται το βιοτικό τους επίπεδο, και αυτά τα αγαθά μεταφέρονται συνήθως δια θαλάσσης. Η ναυτιλία είναι ο μεγαλύτερος μεταφορέας εμπορευμάτων σήμερα και σε όλη την ανθρώπινη ιστορία, ξεπερνώντας αυτόν των χερσαίων και αεροπορικών μεταφορών. Η ναυτιλία δεν είναι μόνο αξιόπιστη, αλλά είναι επίσης η φθηνότερη και πιο αποδοτική μέθοδος μεταφοράς σε καύσιμα ανά τόνο, και αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο ο ναυτιλιακός τομέας αναμένεται φυσικά να επεκταθεί στο μέλλον. Οι θαλάσσιες μεταφορές θεωρούνται γενικά ενεργειακά αποδοτικές και φιλικές προς το περιβάλλον σε σύγκριση με τις οδικές και αεροπορικές μεταφορές. Ενώ οι ωκεανοί καλύπτουν το 75% του πλανήτη, λίγοι πόροι καταναλώνονται για τη μεταφορά αγαθών και καυσίμων με τη ναυτιλία. Με άλλα λόγια, είναι ένας τρόπος μεταφοράς μεγάλων αποστάσεων σχετικά χαμηλής ενέργειας. Ως εκ τούτου, όσον αφορά τις

εκπομπές CO<sub>2</sub> θεωρείται ότι είναι η λιγότερο επιζήμια για το περιβάλλον μορφή εμπορικής μεταφοράς (Smith, et, al, 2014).

Ωστόσο, με την ισχυρότερη παγκόσμια ζήτηση για αγαθά και ενέργεια, οι εκπομπές από τον ναυτιλιακό τομέα πρέπει να κατέχουν κεντρική θέση για να καταστεί δυνατή η βιώσιμη μακροπρόθεσμη ανάπτυξη. Από περιβαλλοντική άποψη, η ναυτιλία ευθύνεται για το 2-3% των παγκόσμιων εκπομπών CO<sub>2</sub>, αποτελώντας τη χαμηλότερη εκπομπή CO<sub>2</sub> ανά τόνο μεταφερόμενου φορτίου ανά km στον κλάδο των μεταφορών<sup>8</sup>. Από την άλλη πλευρά, η ναυτιλία αντιπροσωπεύει έως και 4-9% του συνόλου των εκπομπών οξειδίου του θείου (SO<sub>x</sub>) και 10-15% όλων των εκπομπών οξειδίου του αζώτου (NO<sub>x</sub>). Το συνολικό μερίδιο των εκπομπών του κλάδου αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά, εάν το θαλάσσιο εμπόριο αυξηθεί με τον τρέχοντα ρυθμό χωρίς τροποποιήσεις και διατηρώντας το τεχνικό status quo. Όπως και για άλλους βιομηχανικούς εμπορικούς τομείς, η ναυτιλία είναι επιρρεπής στους οικονομικούς κύκλους. Με τη συρρίκνωση του εμπορίου, η ζήτηση για εμπορεύματα και εμπορεύματα μειώνεται επίσης. Ο συνολικός μοχλός της προσφοράς και της ζήτησης στον ναυτιλιακό κλάδο είναι οι ναύλοι. Οι ναυτιλιακές εταιρείες στοχεύουν συνεχώς στη διατήρηση ή τη μείωση των επιπέδων του κόστους ναύλων (Halpern, et al, 2015).

Σε αντίθεση με τη δημοφιλή πεποίθηση, οι διακυμάνσεις της τιμής του πετρελαίου δεν συσχετίζονται με τη γενική κατάσταση του ναυτιλιακού τομέα, αν και έχουν αντίκτυπο στις ναυτιλιακές δραστηριότητες. Όταν η τιμή του πετρελαίου είναι υψηλή, οι ναυτιλιακές εταιρείες τείνουν να παρατείνουν τους χρόνους διέλευσης και να μειώνουν την ταχύτητα για να εξοικονομήσουν καύσιμα. Οι χαμηλές τιμές του πετρελαίου είναι συχνά ωφέλιμες για τους καταναλωτές, καθώς οδηγούν σε χαμηλότερους ναύλους. Ωστόσο, οι ναυτιλιακές εταιρείες συχνά μειώνουν τις δραστηριότητές τους και ακινητοποιούν τα πλοία τους εάν αρχίσουν να μειώνονται τα έσοδα (Halpern, et al, 2015).

Παρόλο που η εμπορική ναυτιλία επηρεάζεται από τους οικονομικούς κύκλους, ο κλάδος έχει αναπτυχθεί συνολικά εκθετικά τα τελευταία εκατό χρόνια. Είναι ένας δυναμικός κλάδος, όπου οι διαχειριστές πλοίων και οι χειριστές πρέπει να προσαρμόζονται συνεχώς στις μεταβαλλόμενες τάσεις της αγοράς. Με τα χρόνια, τα πλοία μπόρεσαν να διανύσουν μεγαλύτερες αποστάσεις και να αυξήσουν το μέγεθος τους για να φιλοξενήσουν βαρύτερα φορτία. Οι κινητήρες θαλάσσης έχουν επίσης επανασχεδιαστεί συνεχώς για να είναι πιο αποδοτικοί στα καύσιμα και



αντιπροσωπεύουν με πολλούς τρόπους την τεχνολογία αιχμής των κινητήρων (Halpern, et al, 2015).

## 1.2 Ιστορική αναδρομή

Από την εισαγωγή στις αρχές του 1900 των κινητήρων ντίζελ στα πλοία, το βαρύ μαζούτ (HFO) γνωστό και ως καύσιμο bunker ήταν το καύσιμο της επιλογής στον ναυτιλιακό τομέα. Ωστόσο, η πεπερασμένη παροχή αργού πετρελαίου και οι περιβαλλοντικοί κανονισμοί για την ατμοσφαιρική ρύπανση έχουν πιέσει τον κλάδο να αναζητήσει εναλλακτικά καύσιμα, τα οποία είναι πιο ευνοϊκά για το θαλάσσιο και εναέριο περιβάλλον και πιο βιώσιμα για τη βιομηχανία γενικότερα. Επιπλέον, υπάρχει επίσης στρατηγικό ενδιαφέρον για τη μείωση της εξάρτησης από έναν μόνο τύπο καυσίμου. Σε αυτό το πλαίσιο, τα βιοκαύσιμα είναι πιθανά καύσιμα πλοίων, καθώς παράγονται από ανανεώσιμες πρώτες ύλες και είναι ευρέως διαδεδομένα στην προσφορά. Τα πιο κοινά βιοκαύσιμα που παράγονται στο εμπόριο, η βιοαιθανόλη και το βιοντίζελ, έχουν χρησιμοποιηθεί κυρίως στον τομέα των οδικών μεταφορών. Σε αντίθεση με το βιοντίζελ, η βιοαιθανόλη δεν είναι συμβατή με τους συμβατικούς κινητήρες ντίζελ θαλάσσης. Ωστόσο, όπως θα περιγραφεί, οι εξελίξεις στην τεχνολογία κινητήρων πλοίων ενδέχεται να επιτρέψουν τη μελλοντική χρήση της βιοαιθανόλης σε κινητήρες ντίζελ πλοίων (Cazzola, et al., 2013).

Καθώς ο όγκος του εμπορίου της εμπορικής ναυτιλίας αναμένεται να αυξηθεί τις επόμενες δεκαετίες, το ίδιο θα αυξηθεί και οι εκπομπές CO<sub>2</sub> εάν δεν ληφθούν μέτρα για τη μείωση των εκπομπών άνθρακα τώρα. Η ναυτιλιακή βιομηχανία χρησιμοποιεί τον όρο «ναυτιλία χαμηλών εκπομπών άνθρακα» για να περιγράψει πιο βιώσιμες ναυτιλιακές πρακτικές για τη μείωση των εκπομπών άνθρακα π.χ. χρήση καυσίμων χαμηλών εκπομπών άνθρακα και υλοποίηση ενεργειακά αποδοτικού σχεδιασμού και λειτουργίας πλοίου. Η ναυτιλία χαμηλών εκπομπών άνθρακα απαιτεί από όλους τους παράγοντες της παγκόσμιας ναυτιλίας (λιμενικές λειτουργίες και logistics, πλοιοκτήτες και χειριστές πλοίων, αρχιτέκτονες και κατασκευαστές πλοίων, διαμορφωτές πολιτικής) να αξιολογήσουν το status quo του ναυτιλιακού τομέα και να διερευνήσουν τη μελλοντική δυνατότητα επίτευξης μιας οικονομικά αποδοτικής μείωσης εκπομπές άνθρακα, καθώς ο τομέας της εμπορικής ναυτιλίας αναμένεται να αυξήσει τις εκπομπές CO<sub>2</sub> από 3% το 2007 σε 18% το 2050, εάν δεν ληφθούν μέτρα. Η ναυτιλία με χαμηλές εκπομπές άνθρακα αποτελεί επίσης μέρος του

επιχειρηματικού μοντέλου της «Αειφόρου Ναυτιλίας», όπου λαμβάνονται υπόψη οι περιβαλλοντικές ανησυχίες προκειμένου να αποκομιστούν τα μακροπρόθεσμα οφέλη από τη μείωση των εκπομπών (Cazzola, et al., 2013).

Ομοίως, η έκφραση «αργό άτμισμα» καλύπτει τη χρήση μειωμένης ταχύτητας για τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου. Ο κύριος μοχλός για την εισαγωγή θαλάσσιων βιοκαυσίμων στις πρώτες δεκαετίες του 21ου αιώνα στον ναυτιλιακό τομέα θα είναι σε μεγάλο βαθμό ρυθμιστικός. Τα αυστηρότερα όρια εκπομπών καυσίμων από τη ναυτιλία στα οξείδια του θείου, τα οξείδια του αζώτου και πιθανώς τα αέρια του θερμοκηπίου θα καταστήσουν τη βιομάζα ελκυστική πρώτη ύλη για την παραγωγή καυσίμου. Η βιομάζα περιέχει λίγο ή καθόλου θείο και συμβάλλει με λιγότερες εκπομπές CO<sub>2</sub> σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα, καθώς τα φυτά προσλαμβάνουν CO<sub>2</sub> κατά την ανάπτυξή τους αντισταθμίζοντας το CO<sub>2</sub> που παράγεται κατά την καύση του βιοκαυσίμου. Μεσοπρόθεσμα έως μακροπρόθεσμα, η χρήση θαλάσσιων βιοκαυσίμων συμβάλλει επίσης στη βελτίωση των περιβαλλοντικών διαπιστευτηρίων του κλάδου της εμπορικής ναυτιλίας, καθώς περισσότεροι τελικοί χρήστες αποκτούν περιβαλλοντική συνείδηση και αποδίδουν εμπορική αξία στην προέλευση των προϊόντων τους και στον τρόπο με τον οποίο είναι μεταφέρονται (Cazzola, et al., 2013).

### **1.3 Ναυτιλιακά πλοία**

Με την αύξηση του παγκόσμιου εμπορίου, πολλές τεχνικές, υποδομές και λειτουργικές αλλαγές έχουν λάβει χώρα στον ναυτιλιακό τομέα. Μέχρι πριν από μερικές δεκαετίες, τα πλοία χρησιμοποιούνταν συνήθως ως μεταφορείς ανθρώπων. Ωστόσο, με την άνοδο των διηπειρωτικών αεροπορικών ταξιδιών, τα θαλάσσια ταξίδια έχουν πλέον περιοριστεί σε μικρότερα ταξίδια (υπηρεσίες πορθμείων) και κρουαζιέρες αναψυχής. Με την εμπορική ναυτιλία να κυριαρχεί στον τομέα της ναυτιλίας, τα πετρελαιοφόρα και τα πλοία χύδην φορτίου υπερτερούν σε αριθμό άλλων πλοίων του εμπορικού στόλου. Αυτά τα πλοία μεταφέρουν επίσης το μεγαλύτερο ποσοστό εμπορευμάτων όσον αφορά τη μεταφορική ικανότητα σε χωρητικότητα νεκρού βάρους (Lloyd's Register, 2016).

Το μέσο μέγεθος των πλοίων έχει επίσης αυξηθεί σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες. Τα μεγαλύτερα σκάφη μειώνουν το κόστος αποστολής ανά μονάδα φόρτωσης καθώς και το λειτουργικό κόστος και τη συντήρηση του πληρώματος.

Είναι επίσης σε θέση να πλεύσουν μεγαλύτερες αποστάσεις και να μεταφέρουν μεγαλύτερους όγκους φορτίου και καυσίμων. Τα μεγάλα πλοία έχουν επίσης γίνει πιο εξειδικευμένα, κατασκευασμένα ή προσαρμοσμένα για διαφορετικούς τύπους εμπορευμάτων. Παραδείγματα εξειδικευμένων πλοίων περιλαμβάνουν reefers (πλοία-ψυγεία φορτίου), roll-on/roll-off (ro-ro) πλοία που έχουν σχεδιαστεί για τη μεταφορά φορτίου με τροχούς (επίσης γνωστά ως μεταφορείς οχημάτων) και αερομεταφορείς που έχουν σχεδιαστεί για τη μεταφορά υγροποιημένων χημικών αερίων χύδην, ειδικά LNG και LPG (Lloyd's Register, 2016).

## **Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> Τεχνολογία θαλάσσιας πρόωσης**

### **2.1 . Κινητήρες ντίζελ**

Οι κινητήρες ντίζελ είναι κινητήρες ανάφλεξης με συμπίεση, όπου η ανάφλεξη του καυσίμου στον θάλαμο καύσης του κινητήρα ξεκινά από την υψηλή θερμοκρασία που επιτυγχάνει ένα αέριο όταν συμπιέζεται πολύ. Ο υψηλός λόγος συμπίεσης αυξάνει την απόδοση του κινητήρα και οι κινητήρες ντίζελ είναι γνωστό ότι έχουν την υψηλότερη θερμική απόδοση από οποιονδήποτε κινητήρα εσωτερικής ή εξωτερικής καύσης. Η αξιοπιστία του κινητήρα είναι επίσης υψηλή, καθώς δεν απαιτείται ενσωματωμένο σύστημα ανάφλεξης. Η ισχύς ενός κινητήρα ντίζελ μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 0,25 MW για μικρούς κινητήρες υψηλής ταχύτητας έως 100 MW για κινητήρες πετρελαίου θαλάσσης μεγάλης χαμηλής ταχύτητας (MAN Diesel & Turbo, 2016).

Οι κινητήρες ντίζελ κατασκευάζονται σε δίχρονες και τετράχρονες εκδόσεις. Ο 2χρονος κινητήρας ντίζελ και η 1 προπέλα με ανάκτηση απορριπτόμενης θερμότητας είναι η πιο κοινή εγκατάσταση για εμπορικά πλοία. Οι δίχρονοι κινητήρες, ωστόσο, είναι μεγαλύτεροι σε μέγεθος και έχουν σημαντικό ύψος σε σύγκριση με τους τετράχρονους κινητήρες και ταιριάζουν καλύτερα σε μεγάλα και πολύ μεγάλου μεγέθους πλοία. Τα μικρότερα πλοία τείνουν να έχουν κινητήρες χαμηλής μέσης ταχύτητας που λειτουργούν με καύσιμο MDO/MGO, καθώς το HFO θα ήταν πολύ παχύρρευστο για αυτόν τον τύπο κινητήρα (MAN Diesel & Turbo, 2016).

Το πλεονέκτημα της χρήσης μεγάλων και βαρέων κινητήρων ντίζελ, είναι ότι προσφέρουν ένα ευρύ φάσμα ισχύος και λειτουργούν με πολύ υψηλή θερμική απόδοση. Η λειτουργία τους σε χαμηλές σ.α.λ. επιτρέπει την απευθείας σύνδεση του άξονα με την προπέλα για να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες μετάδοσης, και έτσι εγκαθίσταται συνήθως σε μεγάλα σκάφη χαμηλής ταχύτητας. Ένα πρόσθετο σύστημα ανάκτησης απορριπτόμενης θερμότητας αυξάνει περαιτέρω την ενεργειακή απόδοση του σκάφους (MAN Diesel & Turbo, 2016).

Τα μεγαλύτερα πλοία έχουν θάλαμους θέρμανσης ως μέρος της έγχυσης καυσίμου και μπορούν να ανεχθούν καύσιμα υψηλού ιξώδους. Καθώς η ναυτιλία μεγάλων αποστάσεων βαθέων υδάτων κερδίζει δημοτικότητα, τα ναυτιλιακά πλοία κατασκευάζονται μεγαλύτερα και βαρύτερα, απαιτώντας υψηλή αναλογία ισχύος προς βάρος (MAN Diesel & Turbo, 2016).

Οι κινητήρες ντίζελ θαλάσσης έχουν υψηλότερη ευελιξία καυσίμου από τους κινητήρες οδικών οχημάτων και αεριωθουμένων, καθώς είναι σχεδιασμένοι να λειτουργούν με ένα ευρύ φάσμα ιξώδους καυσίμου. Αυτό έχει ένα σημαντικό πλεονέκτημα για τα καύσιμα πλοίων, καθώς η ποιότητα του καυσίμου, όσον αφορά τις ομοιόμορφες ή ειδικές φυσικές και χημικές ιδιότητες, δεν χρειάζεται να είναι υψηλή. Με άλλα λόγια, οι πετρελαιοκινητήρες θαλάσσης δεν είναι σχετικά ευαίσθητοι στην ποιότητα των καυσίμων, καθώς μπορούν να λειτουργήσουν τόσο με ελαφρά όσο και με βαριά κλάσματα καυσίμου. Αυτό σημαίνει, ωστόσο, ότι οι κινητήρες ντίζελ παράγουν καυσαέρια με υψηλή ποσότητα ρύπων, δεδομένου ότι λειτουργούν κυρίως σε υπολειμματικά κλάσματα υψηλής περιεκτικότητας σε θείο από διυλιστήρια πετρελαίου, προκειμένου να διατηρηθεί το κόστος λειτουργίας του πλοίου χαμηλά. Η πρακτική αυτή οδήγησε τους διεθνείς οργανισμούς που ρυθμίζουν τον ναυτιλιακό τομέα να δημιουργήσουν αυστηρότερους περιβαλλοντικούς

κανονισμούς σχετικά με το είδος του καυσίμου που επιτρέπεται για τη ναυτιλία. Αυτό θα καλυφθεί στην ενότητα «Κανονισμοί καυσίμων πλοίων» αυτής της έκθεσης (MAN Diesel & Turbo, 2016).

Η διάρκεια ζωής ενός κινητήρα ντίζελ μπορεί να κυμαίνεται από 10 χρόνια (υψηλές ταχύτητες) έως πάνω από 20 χρόνια (χαμηλή ταχύτητα). Εάν συντηρηθούν σωστά, οι κινητήρες ντίζελ μπορούν να παραμείνουν λειτουργικοί για έως και 50 χρόνια, για όσο διάστημα το πλοίο ναυτιλίας παραμένει σε λειτουργία. Οι πετρελαιοκινητήρες θαλάσσης είναι προσαρμοσμένοι για την προβλεπόμενη ταχύτητα πρόωσής τους. Η βέλτιστη λειτουργική ταχύτητα εξαρτάται από το μέγεθος του πλοίου, το καύσιμο κινητήρα, τα μηχανήματα και τους συνδυασμούς τεχνολογίας (MAN Diesel & Turbo, 2016).

Οι κινητήρες ντίζελ χαμηλής ταχύτητας εγκαθίστανται συνήθως σε εμπορικά πλοία βαθέων υδάτων (δεξαμενόπλοια, πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου και πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων) ως η κύρια μηχανή πρόωσης του πλοίου. Τοποθετούνται σε πλοία σχεδιασμένα να ταξιδεύουν με ομοιόμορφη ταχύτητα και φορτίο. Αυτοί οι κινητήρες είναι οι πιο αποδοτικοί καυσίμου στην αγορά, αλλά παράγουν υψηλότερες ποσότητες εκπομπών NOx σε σύγκριση με τους κινητήρες ντίζελ μεσαίας και υψηλής ταχύτητας. Η μέση ταχύτητα ενός εμπορικού φορτηγού πλοίου είναι περίπου 28 km/h (15 knots), που ισοδυναμεί με περίπου 670 km την ημέρα. Τα σύγχρονα πλοία είναι σε θέση να πλεύσουν με ταχύτητα 45-55 χλμ. την ώρα ή 25-30 κόμβους. Η μέση ταχύτητα της ναυτιλίας βαθέων υδάτων είναι περίπου 24-32 km/h, ή 13-17 κόμβοι (MAN Diesel & Turbo, 2016).

Οι κινητήρες ντίζελ μεσαίας ταχύτητας μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως κινητήρες πρόωσης, αλλά χρησιμοποιούνται επίσης ως βοηθητικές εφαρμογές σε μικρότερα φορτηγά πλοία και πορθμεία. Οι κινητήρες υψηλής ταχύτητας τοποθετούνται γενικά σε μικρά σκάφη που λειτουργούν με ποικίλες ταχύτητες και φορτίο, για παράδειγμα ρυμουλκά (MAN Diesel & Turbo, 2016).

Οι κατασκευαστές κινητήρων κάνουν επίσης διάκριση μεταξύ της σχεδιασμένης ταχύτητας ενός κινητήρα και της ταχύτητας λειτουργίας. Το τελευταίο ενημερώνεται συνεχώς καθώς η τιμή του καυσίμου, οι συνθήκες της αγοράς και οι τεχνικές προδιαγραφές ποικίλλουν με την πάροδο του χρόνου, ενώ το πρώτο βασίζεται στη σχεδίαση κύτους, κινητήρα και έλικα (MAN Diesel & Turbo, 2016).

## 2.2 Μηχανές πολλαπλών καυσίμων

Οι πετρελαιοκινητήρες θαλάσσης περιλαμβάνουν μερικές από τις πιο προηγμένες τεχνολογίες κινητήρων, με πολύ υψηλούς λόγους συμπίεσης και προηγμένα συστήματα ελέγχου. Οι κινητήρες τελευταίας γενιάς περιλαμβάνουν κινητήρες πολλαπλών καυσίμων. Αυτοί οι κινητήρες διαθέτουν σύστημα ψεκασμού καυσίμου, το οποίο επιτρέπει την έγχυση του καυσίμου σε πολύ υψηλή πίεση/θερμότητα. Έτσι καύσιμα με χαμηλό αριθμό κετανίων π.χ. κάτω από 10 μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κύκλο κινητήρα ντίζελ. Αυτό επιτρέπει τόσο τα αέρια καύσιμα, όπως το LNG, όσο και τα υγρά καύσιμα, όπως η μεθανόλη και η αιθανόλη, να χρησιμοποιούνται σε κινητήρες ντίζελ πλοίων (MAN Diesel & Turbo, 2014).

Ένα παράδειγμα τέτοιων κινητήρων είναι η σειρά MAN B&W ME-LGI, η οποία μπορεί να λειτουργήσει τόσο με συμβατικά καύσιμα ντίζελ όσο και με πτητικά καύσιμα χαμηλού κετανίου μεθανόλη και αιθανόλη. Οι κινητήρες μπορούν με μία μόνο διαδρομή να αλλάξουν από τον έναν τύπο καυσίμου στον άλλο, δίνοντας έτσι πλήρη ευελιξία για την επιλογή καυσίμου (MAN Diesel & Turbo, 2014).

Ένα πρακτικό ζήτημα κατά τη χρήση καυσίμων μεθανόλης και αιθανόλης είναι τα χαμηλά σημεία ανάφλεξης τους 12 και 14 μοίρες. C, σε σύγκριση με το ντίζελ MFO των 52 μοιρών. Γ. Αυτά τα χαμηλά σημεία ανάφλεξης δεν είναι συμβατά με τον κανονισμό για την ασφάλεια της ζωής στη θάλασσα (SOLAS) χωρίς σχεδιασμό διπλού φραγμού για όλα τα συστατικά που σχετίζονται με τη μεθανόλη και την αιθανόλη. Για τους κινητήρες MAN B&W ME-LGI, αυτό το διπλό φράγμα αερίζεται επιπλέον. Σε σύγκριση με το χειρισμό και με καύσιμα όπως το LNG που χρειάζεται αποθήκευση υπό πίεση, η μεθανόλη και η αιθανόλη είναι πιο εύκολο να χειριστούν και να αποθηκεύσουν στις δεξαμενές καυσίμων του πλοίου (MAN Diesel & Turbo, 2014).

Οι κινητήρες πολλαπλών καυσίμων είναι ο πιο πρόσφατος τύπος προηγμένων κινητήρων ντίζελ. Τόσο τα υπάρχοντα πλοία όσο και ένα μεγάλο μέρος των σκαφών που θα κατασκευαστούν βραχυπρόθεσμα έως μεσοπρόθεσμα, δεν θα χρησιμοποιούν αυτούς τους τύπους κινητήρων. Μερικοί από τους κινητήρες μπορεί να επανατοποθετηθούν, αλλά σε πολλές περιπτώσεις αυτό πιθανότατα δεν θα είναι οικονομικά ελκυστικό. Έτσι, ανεξάρτητα από το ότι η τεχνολογία του κινητήρα είναι διαθέσιμη, δεν θα επιτρέψει π.χ. η μεθανόλη και η αιθανόλη να αποτελέσουν σημαντικό μέρος της προσφοράς καυσίμων βραχυπρόθεσμα, αλλά μπορεί να

προσφέρει ευκαιρίες για επέκταση της χρήσης ιδίως βιοαιθανόλης (MAN Diesel & Turbo, 2014).

### **2.3 Κινητήρες βενζίνης, φυσικού αερίου και ηλεκτρικοί**

Οι βενζινοκινητήρες βρίσκονται κυρίως σε μικρότερα πλοία και είναι συμβατοί με βενζίνη, αιθανόλη, μεθανόλη και αέρια καύσιμα. Οι κινητήρες ανάφλεξης με μπουζί βασίζονται στο μπουζί για την ανάφλεξη ενός μείγματος καυσίμου αέρα, το οποίο στη συνέχεια ξεκινά τη διαδικασία καύσης. Οι βενζινοκινητήρες μπορούν να λειτουργήσουν σε υψηλότερες ταχύτητες από τους κινητήρες ντίζελ, εν μέρει λόγω των ελαφρύτερων εμβόλων, των μπιέλες και του στροφαλοφόρου άξονα, καθώς και του γεγονότος ότι η βενζίνη καίγεται πιο γρήγορα από το ντίζελ. Ο χαμηλότερος λόγος συμπίεσης των βενζινοκινητήρων, ωστόσο, δίνει σε αυτούς τους κινητήρες χαμηλότερη θερμική απόδοση από τους κινητήρες ντίζελ (LNG, 2016).

Οι κινητήρες LNG είναι συνήθως διπλοί κινητήρες LNG/ντίζελ και χρησιμοποιούνται κυρίως στα δεξαμενόπλοια LNG. Οι αποκλειστικοί κινητήρες αερίου παράγονται π.χ. Η Rolls-Royce (Ηνωμένο Βασίλειο) σε συνεργασία με την Bergen Marine (Νορβηγία) και παραδίδουν κινητήρες αερίου πιστοποιημένους για την τροφοδοσία επιβατηγών πορθμείων, πλοίων μεταφοράς μικρών αποστάσεων, ρυμουλκών και υπεράκτιων πλοίων εφοδιασμού με LNG (LNG, 2016).

Τα πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου και τα πλοία εμπορευματοκιβωτίων τροφοδοτούνται γενικά από κινητήρες ντίζελ που τροφοδοτούνται από το φθηνότερο μαζούτ για τη μεταφορά αγαθών και εμπορευμάτων με το χαμηλότερο κόστος. Οι πιο αποδοτικοί κινητήρες απαιτούν λιγότερη αποθήκευση καυσίμου και έτσι εξοικονομούν χώρο αποσκευών (LNG, 2016).

Με την πρόοδο της τεχνολογίας μπαταριών, τα πλοία άρχισαν επίσης να λειτουργούν με ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο για λειτουργίες πλοίων σε λιμάνια<sup>14</sup> καθώς και για πρόωση που παράγεται από ενσωματωμένες γεννήτριες ντίζελ. Μια αλλαγή στην ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να συμβάλει στη βελτιωμένη διαχείριση ενέργειας και στην αποδοτικότητα των καυσίμων. Η ανάπτυξη δικτύων συνεχούς ρεύματος (DC) σε πλοία με ηλεκτρική πρόωση επέτρεψε στις ηλεκτρικές

γεννήτριες να λειτουργούν με μεταβλητές ταχύτητες χωρίς συμβιβασμούς στην κατανάλωση καυσίμου (LNG, 2016).

Η τεχνολογία μπαταριών στα πλοία πιθανότατα θα εφαρμοστεί με βάση τη συνεχιζόμενη ανατροφοδότηση από την εξέλιξη στην αυτοκινητοβιομηχανία, όπου τα αυτοκίνητα με μπαταρίες είναι πλέον διαθέσιμα στο εμπόριο. Ωστόσο, η πλήρης ηλεκτροδότηση των πλοίων είναι απίθανη, δεδομένου ότι οι μπαταρίες/κυψέλες καυσίμου είναι δαπανηρές και λιγότερο ενεργειακά αποδοτικές από τους κινητήρες ντίζελ. Τα υβριδικά πλοία (ντίζελ-ηλεκτρικά), ωστόσο, αναμένεται να γίνουν πιο κοινά στο μέλλον, καθώς θα βελτιωθεί η τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας. Για τα μεγάλα πλοία βαθέων υδάτων, για παράδειγμα, η υβριδική τεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ελιγμούς και λιμενικές λειτουργίες για τη μείωση των τοπικών εκπομπών σε κατοικημένες περιοχές και τη μετάβαση στο καύσιμο ντίζελ μόλις στην ανοιχτή θάλασσα (Vermeire, 2012).

Το σημαντικότερο μειονέκτημα της ηλεκτροκίνησης είναι ότι οι μπαταρίες καταλαμβάνουν περισσότερο χώρο και όγκο φορτίου από τους κινητήρες ντίζελ. Επιπλέον, η σταθερή τοποθέτηση των μπαταριών επί του πλοίου σε σύγκριση με τα υγρά καύσιμα μειώνει τη διαθέσιμη επιφάνεια για εμπορεύματα, περιορίζοντας έτσι την αποδοχή τους στον τομέα της εμπορικής ναυτιλίας (Vermeire, 2012).

## **2.4 Το σύστημα καυσίμου**

Η αυξανόμενη ζήτηση της αγοράς για καύσιμα απόσταξης (βενζίνη, ντίζελ) και οι αλλαγές στις διεργασίες των διυλιστηρίων για την ικανοποίηση αυτής της ζήτησης έχουν οδηγήσει σε υποβάθμιση της ποιότητας των βαρέων καυσίμων. Τα αποθέματα πετρελαίου έχουν γίνει βαρύτερα και πιο ξινά, ενώ τα ελαφριά και γλυκά (χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο) προϊόντα έχουν μεγαλύτερη ζήτηση, κυρίως από τον κλάδο των αερομεταφορών (Machinery Spaces, 2016).

Πολλά μεγάλα ναυτιλιακά πλοία έχουν επανασχεδιαστεί ώστε να διαθέτουν εγκαταστάσεις επεξεργασίας καυσίμων επί του σκάφους. Η κυκλοφορία του καυσίμου από το ενσωματωμένο ρεζερβουάρ στον κινητήρα περιλαμβάνει πολλά βήματα προτού εισαχθεί στον κύριο κινητήρα. Ένας δίχρονος κινητήρας ντίζελ είναι συνήθως σχεδιασμένος να λειτουργεί συνεχώς με βαρύ καύσιμο. Το καύσιμο αποθηκεύεται σε δεξαμενές, από τις οποίες αντλείται σε μια δεξαμενή καθίζησης και



θερμαίνεται. Το καύσιμο φυγοκεντρείται για να φιλτράρει τα σωματίδια, μετά το οποίο το καθαρισμένο θερμαινόμενο λάδι αντλείται σε μια δεξαμενή καθημερινής συντήρησης. Οι φυγόκεντροι είναι επίσης γνωστοί ως καθαριστές. Από τη δεξαμενή ημερήσιας υπηρεσίας, το λάδι ρέει μέσω μιας βαλβίδας 3 κατευθύνσεων σε μια δεξαμενή ανάμειξης. Οι ενισχυτικές αντλίες χρησιμοποιούνται για την άντληση λαδιού μέσω θερμαντήρων και αντλιών καυσίμου. Οι αντλίες καυσίμου θα εκκενώσουν καύσιμο υψηλής πίεσης στα αντίστοιχα μπεκ. Πριν από την έγχυση, ένας ρυθμιστής ιξώδους θα ελέγχει τη θερμοκρασία του καυσίμου για να παρέχει το σωστό ιξώδες για καύση. Μια βαλβίδα ρύθμισης πίεσης εξασφαλίζει σταθερή παροχή πίεσης στις αντλίες που κινούνται από τον κινητήρα και χρησιμοποιείται μια παράκαμψη προθέρμανσης για τη θέρμανση του καυσίμου πριν από την εκκίνηση του κινητήρα (Machinery Spaces, 2016).

## **2.5 Τρέχοντα ναυτιλιακά καύσιμα**

Τα πιο συνηθισμένα ναυτιλιακά καύσιμα είναι το βαρύ μαζούτ (HFO) και το πετρέλαιο ντίζελ πλοίων (MDO) που παράγονται από αργό πετρέλαιο σε διυλιστήρια. Όπως περιγράφεται, αυτά τα καύσιμα έχουν συνήθως χαμηλότερη ποιότητα, και επομένως χαμηλότερο κόστος, σε σύγκριση με άλλα καύσιμα μεταφοράς για οδικές και αεροπορικές μεταφορές. Τα θαλάσσια καύσιμα προέρχονται από τα βαρύτερα αποστάγματα διυλιστηρίων πετρελαίου, που περιέχουν πολύ μακριές αλυσίδες άνθρακα και λίγα ή καθόλου αρωματικά συστατικά. Άλλα καύσιμα ντίζελ που χρησιμοποιούνται, αλλά μόνο σε μικρό βαθμό περιλαμβάνουν: SVO (ευθύ φυτικό έλαιο), DME (διμεθυλαιθέρας), GTL (αέριο σε υγρό), BTL (βιομάζα σε υγρό), βιοντίζελ/FAME (μεθυλεστέρας λιπαρών οξέων) και HVO/HEFA (υδροκατεργασμένα φυτικά έλαια/ υδροκατεργασμένοι εστέρες και λιπαρά οξέα).

## **2.6 Πρότυπα και ταξινομήσεις καυσίμων πλοίων**

Ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (ISO) έχει εφαρμόσει το πρότυπο 8217 το 1987 για τα διυλισμένα ναυτιλιακά καύσιμα, το οποίο ενημερώθηκε τελευταία φορά το 2010. Το ISO 8217 ορίζει τις απαιτήσεις της χρήσης καυσίμων πετρελαίου σε κινητήρες ντίζελ και λέβητες πλοίων, για να διασφαλίζεται η αξιόπιστη λειτουργία του κινητήρα με καύσιμο από διαδικασίες διύλισης. Αυτές οι οδηγίες χρησιμοποιούνται επίσης από προμηθευτές κινητήρων πλοίων και αγοραστές

καυσίμων πλοίων και ενημερώνονται τακτικά για να ανταποκρίνονται στις αλλαγές στην τεχνολογία των κινητήρων, στις διαδικασίες διύλισης αργού πετρελαίου και στους περιβαλλοντικούς κανονισμούς. Σημειώστε ότι όπως περιγράφεται παρακάτω, το ISO 8217 έχει τη δική του ονοματολογία για τους διαφορετικούς τύπους καυσίμων (Yahaya Khan, et, al, 2014).

Υπάρχουν γενικά δύο είδη καυσίμων πλοίων: (1) απόσταγμα και (2) υπολειμματικά καύσιμα. Οι ποιότητες καυσίμων προσδιορίζονται με κωδικούς, που αποτελούνται από μια ομάδα γραμμάτων: τα αρχικά ISO, F (για την κατηγορία καυσίμου), D ή R (απόσταγμα ή υπολειμματικό), M για θαλάσσια και ένα γράμμα από το A έως το Z που δεν έχει ιδιαίτερη σημασία, αλλά σχετίζεται με τις ιδιαίτερες ιδιότητες ορισμένων προδιαγραφών του προϊόντος, που τελειώνει με έναν αριθμό που αντιστοιχεί στο μέγιστο κινηματικό ιξώδες του υπολειπόμενου καυσίμου. Για παράδειγμα, το υπολειμματικό καύσιμο πλοίων μπορεί να χαρακτηριστεί ISO-F-RMG 380 ή RMG 380 για συντομία (Yahaya Khan, et, al, 2014).

Τα καύσιμα απόσταξης πετρελαίου περιλαμβάνουν το πετρέλαιο εσωτερικής καύσης (MGO) και το πετρέλαιο ντίζελ πλοίων (MDO). Το MGO, ταξινομημένο διεθνώς ως DMA, είναι ένα ελαφρύ πετρέλαιο εσωτερικής καύσης που περιέχει περίπου 60% αρωματικές ουσίες και έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο. Αυτό το καύσιμο χρησιμοποιείται σε κινητήρες ντίζελ με συχνές και ευρέως μεταβαλλόμενες ταχύτητες και φορτία και συνηθέστερα χρησιμοποιείται σε πλοία μικρού και μεσαίου μεγέθους που τροφοδοτούνται από 4χροτους κινητήρες ντίζελ. Μια νέα κατηγορία MGO εισήχθη το 2010, το DMZ, και είναι πανομοιότυπο με το DMA, με υψηλότερο ελάχιστο ιξώδες από το DMA. Μια έκδοση του MGO χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, γνωστή ως LSMGO, περιέχει λιγότερο από 0,1% θείο και πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε κοινοτικά λιμάνια και αγκυροβόλια της ΕΕ (περιοχές ελεγχόμενες εκπομπές). Στην αγορά διατίθεται επίσης ένα MGO εξαιρετικά χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, με μέγιστη περιεκτικότητα σε θείο 0,0015% (στις ΗΠΑ) ή 0,001% (στην ΕΕ), που είναι το όριο που επιτρέπεται για χρήση στην ενδοχώρα της ΕΕ (Yahaya Khan, et, al, 2014).

Το MDO marine diesel oil, ή DMB, που αναφέρεται κυρίως ως ντίζελ, είναι ένα ειδικό κλασματικό απόσταγμα πετρελαίου, που αποτελείται από ελαφρύτερα κλάσματα απόσταξης από το υπολειμματικό λάδι και έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο (0,3 έως 2,0 m/m %). Το ντίζελ περιέχει υδρογονάνθρακες C10-C22 με 25% αρωματική περιεκτικότητα. Τυπικά έχει χαμηλότερο δείκτη κετανίου από το MGO

και έχει υψηλότερη πυκνότητα. Είναι ένα αναμειγμένο βαρύ πετρέλαιο με χαμηλό ιξώδες μικρότερο από 12 Centistokes. Το πετρέλαιο ντίζελ μπορεί επίσης να λειτουργήσει ως λιπαντικό και είναι λιγότερο επιβλαβές για το φιλμ λαδιού στους δακτυλίους των εμβόλων και στις οπές των κυλίνδρων, μειώνοντας τον χρόνο συντήρησης του κινητήρα. Το MDO και το MGO χρησιμοποιούνται συνήθως σε μικρότερα πλοία με μεσαίου και υψηλών στροφών τετράχρονους κινητήρες ντίζελ. Συνήθως χρησιμοποιείται σε εφαρμογές με σχετικά υψηλά φορτία και ομοιόμορφες ταχύτητες. Διατίθεται μια έκδοση ντίζελ εξαιρετικά χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (ULSD) με μέγιστο 0,0015% ή 15 ppm θείου (Yahaya Khan, et, al, 2014).

Τα υπολειμματικά καύσιμα είναι ένα ναυτιλιακό καύσιμο, διαθέσιμο με χαμηλή και υψηλή περιεκτικότητα σε θείο και μια σειρά διαφορετικών ιξωδών. Όπως υποδηλώνει το όνομα, τα υπολειμματικά καύσιμα παράγονται από τα υπολείμματα της διαδικασίας διύλισης. Αυτά τα βαριά καύσιμα τείνουν να έχουν υψηλό ιξώδες, απαιτώντας θέρμανση πριν από τη χρήση και χρησιμοποιούνται πιο συχνά σε μεγάλα και πολύ μεγάλα πλοία (U.S., 2017).

Για την παραγωγή υπολειμματικών καυσίμων σε ένα επιθυμητό ιξώδες, τα κλάσματα υψηλού ιξώδους μπορούν να υποστούν δευτερεύουσες τεχνικές διύλισης, όπως θερμική και καταλυτική πυρόλυση. Η θερμική πυρόλυση χρησιμοποιεί μια τεχνική που ονομάζεται «θραύση ιξώδους» για να σπάσει μεγάλους υδρογονάνθρακες στο λάδι και να παράγει ελαφρύτερους υδρογονάνθρακες. Αυτό μειώνει το ιξώδες του καυσίμου και αυξάνει την ενεργειακή πυκνότητα και την περιεκτικότητα σε άνθρακα, αλλά καταλήγει σε υπολείμματα χαμηλότερης ποιότητας και χαμηλότερη ποιότητα ανάφλεξης. Η καταλυτική πυρόλυση, η οποία είναι πιο δημοφιλής από τη θερμική πυρόλυση, χρησιμοποιεί καταλύτες (πυριτικά άλατα αλουμινίου είναι τα πιο συνηθισμένα) για τον καθαρισμό κλασμάτων βαρέος λαδιού σε πιο πολύτιμα κλάσματα λαδιού. Τα υπολείμματα από τη διαδικασία πυρόλυσης, η οποία τείνει να είναι εξαιρετικά αρωματική και κακής ποιότητας ανάφλεξης, μπορούν αργότερα να αναμειχθούν με το τελικό υπολειμματικό μαζούτ. Λόγω του χαμηλού κόστους τους, τα υπολειμματικά καύσιμα τροφοδοτούν τα περισσότερα μεγάλα εμπορικά πλοία, τα οποία συχνά περιέχουν υψηλότερες ποσότητες θείου από το κανονικό ντίζελ (U.S., 2017).

Υπάρχουν διάφοροι τύποι υπολειμματικών καυσίμων, όπως το ελαφρύ μαζούτ (LFO) και το βαρύ μαζούτ (HFO). Το LFO έχει χαμηλότερο ιξώδες και πυκνότητα από το HFO. Το LFO ταξινομείται ISO-F-RMA μέσω RMD. Το HFO, γνωστό και ως

βαρύ πετρέλαιο ντίζελ (HDO) ή λάδι μαζούτ πλοίων (MFO), ταξινομείται κατά ISO-F-RME μέσω του RMK και είναι το πιο κοινό ναυτιλιακό καύσιμο, καταλαμβάνοντας περίπου το 47-66% του μίγματος καυσίμου πλοίων. Προέρχεται από βαρύτερα αποστάγματα διυλιστηρίων που περιέχουν πολύ μακριές αλυσίδες άνθρακα και χαμηλά ή καθόλου φαινολικά. Υπάρχουν διάφορες ποιότητες (ιξώδες) υπολειπόμενου καυσίμου, εκ των οποίων τα 380 και 180 centistoke στους 50°C είναι τα πιο συνηθισμένα. Το HFO με 380 centistoke, το οποίο στην καθομιλουμένη αναφέρεται ως καύσιμο bunker, πρέπει να θερμανθεί πριν από την τροφοδοσία καυσίμου και τη χρήση. Το HFO χρησιμοποιείται σε εξοπλισμό καύσης σε πλοία, συμπεριλαμβανομένης της κύριας μηχανής, των βοηθητικών κινητήρων και των λεβήτων. Μια έκδοση χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο του HFO, το LSHFO (βαρύ μαζούτ χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο) περιέχει λιγότερο από 1,5% θείο και είναι επίσης διαθέσιμη σε χαμηλό (180 Centistoke) ή υψηλό (380 Centistoke) ιξώδες. Το LSHFO έχει ένα κοινό σύστημα μεταφοράς και καθαρισμού ως HFO, αλλά αποθηκεύεται σε ξεχωριστές δεξαμενές και διαθέτει ξεχωριστό σωλήνα τροφοδοσίας στο σύστημα παροχής καυσίμου στον κινητήρα/λέβητα. Το λάδι μαζούτ εξαιρετικά χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (ULSFO) που διατίθεται στην αγορά περιέχει λιγότερο από 0,1% θείο. Και για τους δύο τύπους καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, η τιμολόγηση είναι σημαντικά υψηλότερη από το HFO (U.S., 2017).

Το ενδιάμεσο μαζούτ (IFO) είναι ένα μείγμα τόσο απόσταξης διυλιστηρίου MGO όσο και υπολειπόμενου καυσίμου, με λιγότερη βενζίνη από το MDO. Είναι ένα κλάσμα πετρελαίου «μεσαίου αποστάγματος», το οποίο συνδυάζει βαριά και ελαφριά ακατέργαστα κλάσματα σε ένα καθορισμένο ιξώδες, το οποίο είναι συνηθέστερα διαθέσιμο με μέγιστο 180 ή 380 Centistokes. Τα IFO έχουν καλά χαρακτηριστικά ανάφλεξης λόγω του υψηλού ποσοστού παραφινικού υλικού που υπάρχει και χρησιμοποιούνται συνήθως σε δίχρονους κινητήρες χαμηλής ταχύτητας. Το υπολειμματικό καύσιμο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη λειτουργία αεριοστροβίλων, αλλά οι απαιτήσεις προδιαγραφών καυσίμου πριν από την έγχυση είναι πολύ αυστηρές και υπόκεινται σε ενδελεχή προκαθαρισμό καυσίμου, συμπεριλαμβανομένης της αφαίρεσης αλκαλικών μετάλλων. (U.S., 2017).

## 2.7 Ιδιότητες των ναυτιλιακών καυσίμων

- Η θερμική απόδοση ενός καυσίμου καθορίζεται από το κινηματικό του ιξώδες, την ειδική πυκνότητα στους 15°C και το σημείο ανάφλεξης. Το κινηματικό ιξώδες μετράται σε centistoke, όπου  $1 \text{ cSt} = 1 \text{ mm}^2/\text{s}$ , στους 40°C για τα καύσιμα απόσταξης και στους 50°C για τα υπολειμματικά καύσιμα (Demirbaş, et, al, 1998).
- Η ειδική πυκνότητα ενός καυσίμου μετριέται σε kg ανά κυβικό μέτρο στους 15°C. Χρησιμεύει ως δείκτης της ποιότητας ανάφλεξης του καυσίμου, ιδιαίτερα για υπολειμματικά καύσιμα χαμηλού ιξώδους. Είναι επίσης σημαντικό για τη λειτουργία του καθαριστή.
- Το σημείο ανάφλεξης είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία στην οποία ένα πτητικό υλικό μπορεί να εξατμιστεί για να σχηματίσει ένα εύφλεκτο μείγμα στον αέρα και είναι ένα μέτρο της ευφλεκτότητας ενός καυσίμου. Τα πρότυπα υποδεικνύουν ότι πρέπει να είναι τουλάχιστον 60°C για όλα τα καύσιμα πλοίων προκειμένου να θεωρούνται εύφλεκτα και όχι εύφλεκτα. Στην ιδανική περίπτωση, το ντίζελ θα πρέπει να έχει υψηλό σημείο ανάφλεξης και χαμηλή θερμοκρασία αυτόματης ανάφλεξης (Demirbaş, et, al, 1998).
- Ο δείκτης κετανίου ισχύει μόνο για καύσιμα βενζίνης και απόσταξης. Είναι ένα μέτρο της ποιότητας ανάφλεξης του καυσίμου σε έναν κινητήρα ντίζελ και ο αριθμός κετανίου βασίζεται στην πυκνότητα και την απόσταξη του καυσίμου. Όσο υψηλότερες είναι οι στροφές του κινητήρα, τόσο υψηλότερος είναι ο δείκτης κετανίου που απαιτείται.
- Αριθμός οξέος: όλα τα καύσιμα έχουν αριθμό οξέος με βάση τη συγκέντρωση όξινων ενώσεων στο καύσιμο. Τα καύσιμα με υψηλά ποσοστά οξέος περιέχουν όξινες ενώσεις που μπορούν να βλάψουν τους μεγάλους κινητήρες ντίζελ, ειδικά τον εξοπλισμό ψεκασμού καυσίμου (Demirbaş, et, al, 1998).
- Τα συνολικά ιζήματα ή τα σωματίδια (PM) μπορούν να αφαιρεθούν με συστήματα φυγοκέντρωσης και φιλτραρίσματος, αλλά τα λεπτά σωματίδια μπορεί να επηρεάσουν τη λίπανση του κινητήρα και τα συστήματα σωληνώσεων.

- Σημείο νέφους είναι η θερμοκρασία στην οποία τα διαλυμένα στερεά δεν είναι πλέον διαλυτά και καθιζάνουν σε διάλυμα σχηματίζοντας μια δεύτερη φάση, δίνοντας στο ρευστό μια θολή εμφάνιση (Demirbaş, et, al, 1998).
- Το σημείο ροής είναι η υψηλότερη θερμοκρασία στην οποία το υγρό μπορεί να γίνει ημιστερεό ή γέλη και δεν μπορεί να ρέει. Αυτό σηματοδοτεί το όριο στο οποίο μπορεί να αντληθεί το καύσιμο.
- Θείο: Η υψηλή περιεκτικότητα σε θείο δεν βλάπτει τον κινητήρα ντίζελ, αλλά τα καύσιμα πρέπει γενικά να έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο, επειδή η υψηλή περιεκτικότητα σε θείο (>3%) έχει διαβρωτική επίδραση στα συστήματα θέρμανσης, μειώνοντας τη διάρκεια ζωής τους και αυξάνει τις ρυπογόνες επιπτώσεις. Το θείο στο καύσιμο, μόλις καεί, μετατρέπεται σε οξείδια του θείου που έχουν καταστροφικές συνέπειες για το περιβάλλον, ιδιαίτερα την ατμοσφαιρική ρύπανση (Demirbaş, et, al, 1998).
- Το νερό στο καύσιμο επηρεάζει το σημείο νέφωσης, το σημείο ροής και τη σταθερότητα αποθήκευσης καυσίμου, γεγονός που με τη σειρά του μπορεί να προκαλέσει βλάβη στα εξαρτήματα του συστήματος καυσίμου του κινητήρα. Θεωρείται ρύπος του καυσίμου καθώς δεν έχει ενεργειακό περιεχόμενο, και επομένως μεταφράζεται σε απώλεια ενέργειας για τον αγοραστή καυσίμου. Πολλά πλοία διαθέτουν συστήματα αφαίρεσης νερού με φυγοκέντρωση.
- Η περιεκτικότητα σε τέφρα είναι ένα μέτρο των μετάλλων που υπάρχουν στο καύσιμο, το οποίο μπορεί να είναι εγγενές στο καύσιμο ή μια ρύπανση (Demirbaş, et, al, 1998).
- Η πιο κοινή μέθοδος παραγωγής καυσίμων πλοίων στα διυλιστήρια είναι η καταλυτική πυρόλυση. Οι ετερογενείς καταλύτες που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία διύλισης μπορούν να αφήσουν λεπτά, αφήνοντας ίχνη πυριτικού αλουμινίου<sup>29</sup> στο προϊόν καυσίμου που μπορεί να βλάψει τον κινητήρα, επομένως έχουν ένα μέγιστο όριο σε mg/kg για την αποφυγή τριβής στο σύστημα καυσίμου. Ο προκαθαρισμός καυσίμου επί του σκάφους μπορεί να αφαιρέσει επαρκώς περίπου το 80% των καταλυτικών λεπτών. Ωστόσο, για να

αποφευχθεί η λειαντική φθορά των αντλιών καυσίμου, των μπεκ ψεκασμού και των επενδύσεων κυλίνδρων, έχει τεθεί ένα μέγιστο όριο για τα λεπτά λεπτή ύλη αλουμινίου + πυριτίου.

- Η χρήση χρησιμοποιημένων λιπαντικών ελαίων (ULO) δεν επιτρέπεται σε υπολειμματικά καύσιμα. Ένα καύσιμο θεωρείται ότι περιέχει ULO εάν το επίπεδο ασβεστίου υπερβαίνει τα 30 mg/kg και η περιεκτικότητα σε ψευδάργυρο ή φώσφορο υπερβαίνει τα 15 mg/kg (Demirbaş, et, al, 1998).

Μια άλλη σημαντική παράμετρος για ένα καύσιμο πλοίων είναι η σταθερότητά του. Καθώς τα καύσιμα καυσίμων φυλάσσονται σε δεξαμενές αποθήκευσης, πρέπει να είναι σταθερά για μια περίοδο τουλάχιστον 3 μηνών. Πρέπει επίσης να είναι σταθερά σε υψηλές θερμοκρασίες και/ή πιέσεις, καθώς το καύσιμο επανακυκλοφορεί μέσω του συστήματος καυσίμου του κινητήρα. Η υποβάθμιση της αποθήκευσης καυσίμου περιλαμβάνει το σχηματισμό μικρών σωματιδίων που μπορούν να φράξουν τα φίλτρα. Τόσο οι κινητήρες ντίζελ όσο και οι αεριοστρόβιλοι είναι επιρρεπείς σε ζημιά εάν υπάρχουν ασταθή σωματίδια καυσίμου πέρα από το σύστημα φιλτραρίσματος του πλοίου, με αποτέλεσμα να κολλάνε οι αντλίες ψεκασμού καυσίμου και τα ακροφύσια ψεκασμού να κοκ και να φράσσονται. Καθώς το καύσιμο γερνάει, μπορεί επίσης να οξειδωθεί με την πάροδο του χρόνου, οδηγώντας σε υψηλότερους αριθμούς οξέων που μπορεί να βλάψουν τις δεξαμενές καυσίμου ή στο σχηματισμό κόμμεων, σωματιδίων και ιζημάτων που φράζουν τα φίλτρα. Οι υψηλές θερμοκρασίες αποθήκευσης μπορούν επίσης να επιταχύνουν την υποβάθμιση του καυσίμου. Επομένως, το καύσιμο πρέπει να αποθηκεύεται σε καθαρό, στεγνό και σκοτεινό περιβάλλον (Andreasen & Nyggard, 2011).

## **2.8 Υγροποιημένο φυσικό αέριο**

Το LNG (υγροποιημένο φυσικό αέριο) έχει λογικά διαφορετικά πρότυπα και προδιαγραφές καυσίμων από τα καύσιμα απόσταξης και τα υπολειμματικά καύσιμα πλοίων. Το LNG ως καύσιμο χρησιμοποιείται πιο συχνά σε εξειδικευμένα δεξαμενόπλοια χημικών/προϊόντων, από τα οποία έχουν κατασκευαστεί από το 2010 και αποτελεί περίπου το 31% του μείγματος καυσίμων τους. Το LNG είναι κυρίως μεθάνιο που έχει μετατραπεί από αέρια σε υγρή μορφή για να διευκολύνει την αποθήκευση και τη μεταφορά. Καταλαμβάνει μικρότερο όγκο από το συμπιεσμένο

φυσικό αέριο (CNG), αυξάνοντας έτσι την ενεργειακή του πυκνότητα, αλλά σε όγκο εξακολουθεί να είναι 60% εκείνης του ντίζελ. Ειδικά κρυογονικά δοχεία αποθήκευσης έχουν σχεδιαστεί για να διατηρούν το LNG στους  $-162^{\circ}\text{C}$ . Εξ ορισμού, το LNG πρέπει να περιέχει τουλάχιστον 90% αέριο μεθάνιο και πρέπει να υποβληθεί σε επεξεργασία για την αφαίρεση ακαθαρσιών (νερό,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}_2$ ) πριν από την αποθήκευση σε χαμηλή θερμοκρασία (Verbeek & Verbeek, 2015).

Μερικά μικρά πλοία έχουν επίσης ναυπηγηθεί πρόσφατα με κινητήρες LNG και εισήχθησαν στη ναυτιλιακή αγορά από το 2010, αλλά δεν φαίνεται να έχουν μεγάλη ζήτηση ούτε να υπάρχουν σε σημαντικό αριθμό για το εγγύς μέλλον. Το LPG (υγροποιημένο αέριο πετρελαίου) μπορεί να είναι ένα εναλλακτικό καύσιμο στο LNG, καθώς έχει υψηλότερη θερμογόνο δύναμη και μπορεί να λειτουργεί με τους ίδιους κινητήρες με αυτούς που χρησιμοποιούνται για το LNG. Είναι ένα μείγμα αερίων υδρογονανθράκων, κυρίως προπανίου και βουτανίου. Ωστόσο, δεν χρησιμοποιείται συνήθως ως καύσιμο πλοίων, αλλά μάλλον ως καύσιμο θέρμανσης (Verbeek & Verbeek, 2015).

Το Κατάρ είναι ο μεγαλύτερος εξαγωγέας LNG στον κόσμο, παρέχοντας περίπου το ένα τρίτο της παγκόσμιας προσφοράς. Με τα χρόνια, περισσότερες χώρες ξεκίνησαν την παραγωγή LNG και το 2014, συνολικά δεκαενέα χώρες εξήγαγαν LNG. Η περιοχή της Ασίας-Ειρηνικού (Ιαπωνία, Νότια Κορέα, Κίνα, Ινδία και Ταϊβάν) καταναλώνει περίπου το 60% της συνολικής παραγωγής LNG, ωστόσο, μόνο ένα μικρό ποσοστό 3-5% του LNG χρησιμοποιείται ως καύσιμο μεταφοράς, ως κύριες εφαρμογές είναι για οικιακή και επαγγελματική θέρμανση και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Verbeek & Verbeek, 2015).

Από την άποψη των εκπομπών, το LNG είναι κατάλληλο καύσιμο για ναυτιλία με χαμηλές εκπομπές άνθρακα λόγω χαμηλότερων εκπομπών  $\text{CO}_2$  από τα αποστάγματα και τα υπολειμματικά καύσιμα, καθώς και την εξάλειψη των εκπομπών  $\text{SO}_x$  και  $\text{PM}$ . Ορισμένοι αναλυτές προβλέπουν ότι το LNG θα γίνει υψηλότερη σε ζήτηση, καθώς περιέχει πολύ λίγο θείο και μπορεί να κρατήσει περισσότερη ενέργεια ανά τόνο από το MDO. Ωστόσο, το LNG και οι σχετικές διαρροές αερίου μεθανίου δεν συμβάλλουν στην επίλυση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα ούτε των ζητημάτων που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή. Τα κρυογονικά δοχεία αποθήκευσης που έχουν σχεδιαστεί για τη μεταφορά και αποθήκευση LNG επί του σκάφους καταλαμβάνουν υψηλότερο DWT από τις συμβατικές δεξαμενές αποθήκευσης βαρέων καυσίμων και απαιτούν πρόσθετα ξεχωριστά χαρακτηριστικά



ασφαλείας. Καθώς το LNG είναι επίσης ένα σχετικά νέο θαλάσσιο καύσιμο, η πρόσβαση στους σταθμούς ανεφοδιασμού είναι ακόμα περιορισμένη και υπάρχουν επίσης ανάγκες για κατάλληλες εγκαταστάσεις αποθήκευσης LNG στα λιμάνια για τη διευκόλυνση της χρήσης αυτής της τεχνολογίας. Τα πλοία που λειτουργούν με καύσιμο LNG έχουν επίσης υψηλότερο κόστος κεφαλαίου για την εγκατάσταση του συστήματος, και επομένως δεν αποτελούν πρακτικό καύσιμο για συμβατικές θαλάσσιες μεταφορές χαμηλού κόστους (Verbeek & Verbeek, 2015).

## **2.9 Άλλα καύσιμα**

Οι κινητήρες ανάφλεξης με σπινθήρα χρησιμοποιούν διαφορετικά καύσιμα από τους κινητήρες ντίζελ. Αυτά τα καύσιμα περιλαμβάνουν βενζίνη, αιθανόλη, μεθανόλη, φυσικό αέριο (LNG και CNG), βιοαέριο / βιομεθάνιο και αέριο υδρογόνο. Σε αντίθεση με το ντίζελ, η βενζίνη που χρησιμοποιείται στους κινητήρες ανάφλεξης με σπινθήρα θα πρέπει να έχει χαμηλότερο σημείο ανάφλεξης και υψηλότερη θερμοκρασία αυτόματης ανάφλεξης (Forestry Commission, 2016).

Άλλα εναλλακτικά καύσιμα για το ντίζελ και το LNG, όπως ο διμεθυλαιθέρας (DME) και τα γαλακτώματα νερού σε ντίζελ (WiDE) έχουν επίσης διερευνηθεί, αλλά δεν παράγονται ακόμη σε μεγάλη κλίμακα ούτε διακινούνται στην αγορά εμπορευμάτων. Το DME μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο σταγόνας για κινητήρες ντίζελ. Παράγεται είτε από μεθανόλη είτε από αέριο σύνθεσης, αλλά δεν υπάρχει ακόμη εμπορική παραγωγή βιοκαυσίμων για ναυτιλιακά πλοία, καθώς υπάρχει χαμηλή παραγωγική ικανότητα και η υποδομή μεταφοράς είναι ανεπαρκής. Το DME είναι αέριο σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος και ως καύσιμο έχει μέχρι στιγμής δοκιμαστεί μόνο σε μικρούς κινητήρες και η καταλληλότητά του για μεγάλους κινητήρες δεν έχει ακόμη καθοριστεί. Το DME θεωρείται συνήθως για βαριές οδικές μεταφορές (Forestry Commission, 2016).

Τα καύσιμα γαλακτώματος Water-in-diesel (WiDE) μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμο σταγόνας, συμβατά με την υπάρχουσα διάταξη κινητήρα ντίζελ χωρίς πρόσθετη μετασκευή κινητήρα. Τα καύσιμα γαλακτώματος είναι ένας συνδυασμός νερού και εύφλεκτου υγρού, τα οποία δεν αναμειγνύονται μεταξύ τους. Στην περίπτωση του WiDE, τα σταγονίδια νερού διασπείρονται και εγκλωβίζονται εντός της συνεχούς φάσης του πετρελαίου ντίζελ και προστίθεται ένας γαλακτωματοποιητικός παράγοντας (επιφανειοδραστικό) για σταθερότητα ώστε να

αποτρέπεται ο διαχωρισμός φάσεων. Το επιφανειοδραστικό περικλείει τα σταγονίδια νερού για να αποτρέψει το νερό από το να συνενωθεί και να συγχωνευθεί. Τα πιο σημαντικά κριτήρια επιλογής για γαλακτωματοποιητές είναι η ικανότητά τους να σταθεροποιούν το γαλάκτωμα με την πάροδο του χρόνου, αποκλείοντας τον διαχωρισμό φάσεων και ελαχιστοποιώντας την καθίζηση των διασκορπισμένων σταγονιδίων νερού στο πετρέλαιο ντίζελ. Οι σταγόνες νερού πρέπει επίσης να είναι ομοιογενώς διασκορπισμένες, καθώς μεγάλες σταγόνες νερού μπορούν να οδηγήσουν σε μελλοντική συνένωση και διαχωρισμό φάσεων. Τα γνωστά πλεονεκτήματα της χρήσης γαλακτωματοποιημένων καυσίμων περιλαμβάνουν τη μείωση των θερμοκρασιών καύσης και την πληρέστερη καύση του καυσίμου που οδηγεί σε υψηλότερη απόδοση καυσίμου, καθώς και χαμηλότερες εκπομπές NOx και σωματιδίων. Τα καύσιμα γαλακτώματος έχουν επίσης τη δυνατότητα να βασίζονται σε βιοκαύσιμα, που συζητείται στην ενότητα «Βιοκαύσιμα γαλακτώματος» αυτής της έκθεσης. Το κύριο μειονέκτημα είναι η χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα του καυσίμου και επομένως ο μεγάλος όγκος αποθήκευσης καυσίμου (Forestry Commission, 2016).

## **Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>- Βιοκαύσιμα**

### **3.1 Έναρξη παραγωγής θαλάσσιων βιοκαυσίμων**

Για όλα τα νέα μείγματα βιοκαυσίμων ή βιοκαυσίμων που παράγονται, θα απαιτείται δοκιμή καυσίμου για να ελεγχθεί η συμβατότητά του με τον κινητήρα και να επαληθευτεί ότι συμμορφώνεται με όλα τα πρότυπα και τις απαιτήσεις καυσίμου.

Συνήθως απαιτούνται 0,2 έως 3 λίτρα καυσίμου για μια ανάλυση καυσίμου, η οποία συνήθως γίνεται πριν από την εισαγωγή του καυσίμου σε ένα πλοίο. Για ένα νέο καύσιμο, οι απαιτήσεις δοκιμών είναι πολύ πιο αυστηρές. Ξεκινώντας με μια δοκιμή σταθερότητας καυσίμου, απαιτούνται 10 έως 25 λίτρα καυσίμου. Σε αυτό το στάδιο, φαίνεται εάν το καύσιμο έχει διαχωρισμό φάσης ή βακτηριακή ανάπτυξη σε περίοδο 8 μηνών, για τον ίδιο χρόνο που αποθηκεύεται σε ένα πλοίο. Το καύσιμο υφίσταται επίσης έντονη φυγοκέντρωση προκειμένου να διαπιστωθεί εάν υπάρχει διαχωρισμός φάσεων και ποιο μέγεθος φίλτρων σωματιδίων να εγκατασταθούν. Η δοκιμή σταθερότητας καυσίμου γίνεται επίσης για να προσδιοριστεί η σταθερότητα του καυσίμου στην οξείδωση και σε ποιες θερμοκρασίες μπορεί να θερμανθεί το καύσιμο. Στη συνέχεια, γίνεται δοκιμή αντλίας καυσίμου, από τα οποία απαιτούνται 10 έως 200 λίτρα. Εδώ, καθορίζεται εάν το καύσιμο μπορεί να κυκλοφορήσει μέσω του συστήματος χωρίς διαχωρισμό φάσεων (Risley, & Saccani, 2013).

Μια δοκιμή κινητήρα θα απαιτήσει από 250 έως 2000 λίτρα λαδιού και αφού το καύσιμο έχει περάσει τις απαιτήσεις, είναι έτοιμο να υποβληθεί σε δοκιμή σέρβις σε πλοίο. Αυτό θα απαιτήσει τουλάχιστον 100 τόνους καυσίμου, αν και 2000 τόνοι θα ήταν το ιδανικό. Μόλις εξασφαλιστεί η παροχή καυσίμου, είναι σχετικά εύκολο για ένα πλοίο ναυτιλίας να στραφεί σε βιοκαύσιμο ή μείγμα (Zhou, et, al, 2015).

Μόλις λειτουργήσουν οι εγκαταστάσεις παραγωγής, πρέπει να δημιουργηθεί η υποδομή προμήθειας καυσίμων. Αυτό περιλαμβάνει ανεφοδιασμό και αποθήκευση βιοκαυσίμων, καθώς και διασφάλιση μακροπρόθεσμης διαθεσιμότητας αυτών των καυσίμων. Ο χειρισμός βιοκαυσίμων επί του σκάφους θα απαιτεί επίσης γνώση από το προσωπικό εδάφους σχετικά με τους κανόνες για την ασφαλή χρήση των καυσίμων, καθώς και τη λειτουργία νέων συστημάτων που καλύπτουν βιοκαύσιμα ή μείγματα βιοκαυσίμων (Zhou, et, al, 2015).

### **3.2. Πρώτες ύλες βιοκαυσίμων**

Οι τρέχουσες πρώτες ύλες για την παραγωγή βιοκαυσίμων πρώτης γενιάς συμβατών με κινητήρες ντίζελ είναι κυρίως φυτά με υψηλή περιεκτικότητα σε λιπίδια, συμπεριλαμβανομένου του φοίνικα, της σόγιας και της ελαιοκράμβης. Η υψηλή περιεκτικότητα σε λιπίδια στους σπόρους από ελαιούχες καλλιέργειες είναι επιθυμητή για την παραγωγή καθαρού καυσίμου φυτικού ελαίου ή βιοντίζελ. Αυτές οι πρώτες ύλες, ωστόσο, είναι γενικά δύσκολο να βρεθούν φθηνά και βιώσιμα για μια

διευρυμένη εμπορική παραγωγή θαλάσσιων βιοκαυσίμων. Το κραμβέλαιο είναι η προτιμώμενη πρώτη ύλη στην ΕΕ λόγω των ευνοϊκών ιδιοτήτων του (σταθερότητα έναντι της οξειδωσης, υψηλές αποδόσεις ανά εκτάριο). Παρόλο που το φοινικέλαιο αποδίδει υψηλότερες ποσότητες λιπιδίων ανά εκτάριο σε σύγκριση με άλλα φυτικά έλαια, το υψηλό σημείο τήξης του περιορίζει τη χρήση του σε ψυχρότερα κλίματα, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μικτό καύσιμο (Bacovsky et, al, 2016).

Η χρήση πρώτων υλών πρώτης γενιάς βιοκαυσίμων δεν είναι χωρίς διαμάχη, καθώς οι πρώτες ύλες αποτελούν μέρος της συζήτησης για τα τρόφιμα, τη γη και το νερό έναντι των καυσίμων. Οι καλλιέργειες τροφίμων που εκτρέπονται για την παραγωγή καυσίμων μπορεί να αυξήσουν την τιμή των τροφίμων και να αυξήσουν τη χρήση περισσότερης γεωργικής γης. Για το 2020 ο ευρωπαϊκός κανονισμός έχει θέσει ένα όριο στη χρήση βιοκαυσίμων από καλλιέργειες τροφίμων στο 7% και τώρα διεξάγεται συζήτηση για τον κανονισμό 2020-2030. Πιθανότατα η πρόταση θα είναι να μειωθεί αυτό το όριο. Αυτή η τάση μείωσης της χρήσης βιοκαυσίμων πρώτης γενιάς θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την ανάπτυξη μιας αγοράς θαλάσσιων βιοκαυσίμων. Στην περίπτωση παραγωγής φοινικέλαιου, είναι γενικά αποδεκτό ότι προκαλείται αποψίλωση των δασών, άμεσα ή έμμεσα στην παρθένα ζούγκλα, όταν το δάσος καθαρίζεται για να ανοίξει ο δρόμος για φυτείες φοινικέλαιου για χρήση κυρίως τροφίμων και καλλυντικών, αλλά και σε αυξανόμενο βαθμό βιοντίζελ. Παρά τις μελέτες που υπερασπίζονται τη χρήση του φοινικέλαιου για βιοντίζελ το φοινικέλαιο συνιστάται να θεωρείται ως μη βιώσιμος πόρος λαμβάνοντας υπόψη τις αλλαγές στη χρήση γης και τις επιπτώσεις στο περιβάλλον. Αυτές οι σκέψεις σχετικά με την έλλειψη βιωσιμότητας θα ισχύουν επίσης, αν και σε μικρότερο βαθμό για άλλα φυτικά έλαια που προέρχονται από σπόρους σόγιας ή κράμβης. Για το τελευταίο, το κύριο ζήτημα βιωσιμότητας είναι η εκπομπή οξειδίου του αζώτου κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας (Achten, et, al, 2010).

Οι κοινωνικές, περιβαλλοντικές και οικονομικές πιέσεις ωθούν την προμήθεια βιοκαυσίμων από βιώσιμες πρακτικές. Προκειμένου να διασφαλιστεί η μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα και διαθεσιμότητα ανανεώσιμων πρώτων υλών, οι πρώτες ύλες θα πρέπει ιδανικά να προέρχονται από υπολείμματα αποβλήτων ή μη βρώσιμες φυτικές ύλες. Όσον αφορά μόνο το κόστος του άνθρακα, τα λιγνοκυτταρινικά είναι γενικά πέντε φορές φθηνότερα από τις πρώτες ύλες λιπιδίων. Για παράδειγμα, η τιμή των σκληρών κορμών ήταν 121 USD ανά τόνο τον Σεπτέμβριο του 2016, ενώ το φοινικέλαιο ήταν 644 USD ανά τόνο κατά την ίδια

περίοδο. Τα λιγνοκυτταρινικά περιλαμβάνουν τη δασική βιομάζα (σκληρά ξύλα, μαλακά ξύλα, υπολείμματα πολτού και πριονιστηρίου) και γεωργικά υπολείμματα (αραβόσιτο, άχυρο σίτου, άχυρο ρυζιού, ζαχαροκάλαμο, υπολείμματα φοινικελαίου). Άλλες πιθανές πρώτες ύλες για θαλάσσια βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς περιλαμβάνουν τα αστικά στερεά απόβλητα, τα χρησιμοποιημένα μαγειρικά έλαια και τα απόβλητα ζωικού λίπους (Marine Diesel, 2016).

Η προμήθεια πρώτων υλών βιομάζας για την παραγωγή καυσίμου εξαρτάται από τη γεωγραφική θέση. Αγροτικά υπολείμματα όπως το καλαμπόκι είναι ευρέως διαθέσιμα στις ΗΠΑ και την Κίνα, ενώ το άχυρο σίτου μπορεί να βρεθεί στην Ευρώπη και σε θύλακες της Ασίας και της Βόρειας Αμερικής. Η βαγάσση από ζαχαροκάλαμο είναι πιο κοινή στη Νότια Αμερική, με τη Βραζιλία να κυριαρχεί στην αγορά, η παραγωγή άχυρου ρυζιού επικεντρώνεται στην Ασία, ενώ τα υπολείμματα φοινικέλαιου προέρχονται από χώρες παραγωγής φοινικέλαιου στη Νοτιοανατολική Ασία, ιδίως τη Μαλαισία και την Ινδονησία (Oncel, 2013).

Η απόβλητη λιγνίνη, ένα προϊόν χαμηλής αξίας από την παραγωγή βιοκαυσίμων 2ης γενιάς ή τις διαδικασίες πολτοποίησης, μπορεί επίσης να αποτελέσει βιώσιμη πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοκαυσίμων, καθώς έχει την υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα από όλα τα συστατικά βιομάζας (Oncel, 2013).

Τα έλαια φυκιών είναι επίσης μια γνωστή πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοντίζελ, που κατηγοριοποιούνται ως πρώτες ύλες τρίτης γενιάς. Τα φύκια μπορούν υπό ιδανικές συνθήκες να παράγουν περισσότερη βιομάζα ανά μονάδα επιφάνειας σε ένα χρόνο από άλλες μορφές βιομάζας. Οι περισσότερες έρευνες στη μαζική παραγωγή ελαίου φυκιών επικεντρώνονται κυρίως σε μικροφύκη ή γαλαξοπράσινα φύκια (κυανοβακτήρια), καθώς έχουν λιγότερο περίπλοκη δομή, ταχύτερο ρυθμό ανάπτυξης και υψηλότερη περιεκτικότητα σε λάδι (για ορισμένα είδη). Ωστόσο, η εμπορική παραγωγή καυσίμων με βάση τα φύκια πιστεύεται ότι είναι μια μακροπρόθεσμη επιλογή (Oncel, 2013).

### **3.3. Δυνατότητες καυσίμου και πρώτης ύλης**

Ανεξάρτητα από τον τύπο του βιοκαυσίμου και την τεχνολογία που εφαρμόζεται για την παραγωγή του, το τελικό δυναμικό των θαλάσσιων βιοκαυσίμων που θα εισέλθουν στην αγορά θα περιοριστεί τελικά από την ποσότητα της πρώτης

ύλης που μπορεί να διατεθεί και την τιμή που είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν οι πελάτες (European Biomass Industry Association, 2017).

Η αξιολόγηση των δυνατοτήτων πρώτων υλών βιοκαυσίμων δεν είναι απλή, καθώς αποτελούν μέρος ενός εξαιρετικά περίπλοκου και ολοκληρωμένου συστήματος δασοκομίας και γεωργίας με έναν αριθμό διασυνδεδεμένων αγορών και μηχανισμών. Μια απλή αλλά ισχυρή προσέγγιση για την αξιολόγηση των δυνατοτήτων βιομάζας είναι η εξέταση της παραγωγής από την τρέχουσα γεωργία και δασοκομία, δηλαδή τι μπορεί να επιτευχθεί με την προσαρμογή των γεωργικών καλλιεργειών και τεχνολογιών χωρίς να διακυβεύεται η παραγωγή τροφίμων ή η αύξηση της χρήσης γης. Μια άλλη προσέγγιση είναι να εξετάσουμε την προαιρετική παραγωγή βιομάζας από την επέκταση της γεωργικής περιοχής ή από την παραγωγή βιομάζας π.χ. ενεργειακές καλλιέργειες σε περιθωριακές εκτάσεις, όπως η αλλαγή χόρτου στο λιβάδι ή η δασοποίηση ημιάνυδρων περιοχών (European Biomass Industry Association, 2017).

Η τελευταία προσέγγιση μπορεί να παρουσιάζει εξαιρετικά υψηλά δυναμικά βιομάζας, αλλά συνδέεται επίσης με υψηλά επίπεδα αβεβαιότητας και απαιτεί μεγάλη προσπάθεια για την εισαγωγή νέας γεωργικής διαχείρισης. Το δυναμικό από ήδη καθιερωμένες καλλιέργειες και γεωργικά συστήματα μπορεί να είναι χαμηλότερο, αλλά έχει το πλεονέκτημα ότι υπάρχει ήδη μια εγκατεστημένη υποδομή και σε πολλές περιπτώσεις πρόκειται μόνο για αύξηση της συλλογής βιομάζας κατά τη συγκομιδή (European Biomass Industry Association, 2017).

Για αυτήν την έκθεση παρουσιάζεται μια απλή αξιολόγηση των δυνατοτήτων βιομάζας και βιοκαυσίμων με βάση την υπάρχουσα γεωργία και δασοκομία καθώς και την τρέχουσα παραγωγή βιοκαυσίμων. Η αξιολόγηση δεν αντιπροσωπεύει όλα τα δεδομένα και τις μελέτες και οι συγκεκριμένοι αριθμοί θα πρέπει να χρησιμοποιούνται με προσοχή. Ωστόσο, δείχνουν την κλίμακα των πόρων που μπορούν να διατεθούν και αν η πιθανή πρώτη ύλη και οι δυνατότητες βιοκαυσίμου είναι ή όχι σημαντικές ή αυξητικές (European Biomass Industry Association, 2017).

Για τα ελαιοχημικά βιοντίζελ, δηλαδή που προέρχονται από φυτικά έλαια ή ζωικά λίπη, η τρέχουσα παγκόσμια παραγωγή φυτικών ελαίων είναι περίπου 185 Mt. Η κύρια κατανάλωση είναι για τρόφιμα και καλλυντικά και η παγκόσμια παραγωγή βιοντίζελ το 2016 ήταν περίπου 25 Mt<sup>14</sup>. Σε μια ενδελεχή ανάλυση, οι Johnston και Holloway<sup>15</sup> εκτίμησαν το παγκόσμιο δυναμικό βιοντίζελ με βάση τις υπάρχουσες ελαιούχες καλλιέργειες και τα ζωικά λίπη. Στην ανάλυσή τους συμπεριέλαβαν την

προβλεπόμενη παραγωγή ελαιούχων καλλιεργειών συμπεριλαμβανομένης της αύξησης της απόδοσης σε υπάρχουσες γεωργικές εκτάσεις καθώς και την αυξανόμενη ζήτηση για φυτικό έλαιο που χρησιμοποιείται σε τρόφιμα και άλλες εφαρμογές. Στη μελέτη δεν συμπεριλήφθηκε η επέκταση της γεωργικής περιοχής ή η εισαγωγή νέων ελαιούχων καλλιεργειών όπως η οριακή γη *Jatropha*. Το αποτέλεσμα της ανάλυσής τους δείχνει ένα ανώτατο όριο περίπου 45 Mt βιοντίζελ χρησιμοποιώντας υπάρχουσες καλλιέργειες και γεωργική γη. Σε αυτόν τον αριθμό, δεν περιλαμβάνονται οι συνεισφορές από το χρησιμοποιημένο μαγειρικό λάδι (UCO) και τα ντίζελ που προέρχονται από ταλλέλαιο από τη βιομηχανία χαρτοπολτού και χαρτιού (Peters & Stojcheva, 2017).

Οι εκτιμήσεις για το δυναμικό UCO είναι λίγες και βασίζονται σε περιορισμένα δεδομένα, αλλά προτείνονται τεχνικές δυνατότητες 4,5-9 kg κατά κεφαλήν. Μόνο ένα μικρό μέρος του τεχνικού δυναμικού μπορεί να αξιοποιηθεί και μια συντηρητική εκτίμηση της παραγωγής βιοντίζελ UCO στο 10% δεν φαίνεται ρεαλιστική. Με παγκόσμιο πληθυσμό 7 δισεκατομμυρίων, αυτό προσθέτει άλλους 3-6 Mt δυνητικής παραγωγής βιοντίζελ. Για το βιοντίζελ με βάση το πετρέλαιο μπορεί να γίνει μια πιο ακριβής αξιολόγηση: με βάση το μέγεθος και την παραγωγή στα σχετικά εργοστάσια χαρτοπολτού δίνει συνολικό δυναμικό 2,6 Mt. Μαζί αυτό θα δώσει δυναμικό βιοντίζελ 54 Mt, περίπου διπλασιασμό της τρέχουσας παραγωγής (Peters & Stojcheva, 2017).

Για τα καύσιμα που βασίζονται σε λιγνοκυτταρινικές πρώτες ύλες οι παγκόσμιες αξιολογήσεις ποικίλλουν ευρέως ανάλογα με την πρώτη ύλη και τον τύπο του καυσίμου, όπως και πολλές από τις τεχνολογίες εξακολουθούν να βρίσκονται σε πειραματικό επίπεδο. Ωστόσο, χρησιμοποιώντας τη βιοαιθανόλη 2ης γενιάς ως παράδειγμα, μπορεί να γίνει μια απλή συνολική αξιολόγηση χρησιμοποιώντας μόνο τα υπολείμματα που παράγονται από την υπάρχουσα γεωργία και δασοκομία, δηλαδή δεν θα χρειαστούν επιπλέον πόροι γης ή εισροές λιπασμάτων. Τα συνολικά υπολείμματα από τη γεωργία και τη δασοκομία είναι μεταξύ 3,3-6 Gt118. Υποθέτοντας ότι το 50% αυτών των υπολειμμάτων χρησιμοποιείται για βιοκαύσιμα και με απόδοση 250 kg καυσίμου/τόνο βιομάζας, αυτό θα παρείχε 400-750 Mt βιοκαυσίμων. Οι αριθμοί περιλαμβάνουν την υπάρχουσα παραγωγή βιοαιθανόλης (Peters & Stojcheva, 2017).

Το δυναμικό βιοκαυσίμων και πρώτης ύλης δείχνει ότι από στρατηγικής άποψης μόνο τα λιγνοκυτταρινικά καύσιμα έχουν τη δυνατότητα να αντικαταστήσουν

πλήρως τα ορυκτά καύσιμα στον ναυτιλιακό τομέα. Αυτό δεν σημαίνει ότι τα ελαιοχημικά καύσιμα δεν έχουν μελλοντικό ρόλο στον ναυτιλιακό τομέα, αλλά έχουν μικρότερο δυναμικό. Ωστόσο, εκτός από το βιοντίζελ που προέρχεται από ταλλέλαιο, δεν υπάρχουν άλλα λιγνοκυτταρινικά καύσιμα εμπορικής κλίμακας που να είναι συμβατά με κινητήρες ντίζελ θαλάσσης (Peters & Stojcheva, 2017).

Μια άλλη πτυχή είναι ο ανταγωνισμός για την πρώτη ύλη βιοκαυσίμων με άλλους τομείς. Επί του παρόντος, τα βιοκαύσιμα αεριοποιημένων κατασκευάζονται από υδροεπεξεργασμένα φυτικά έλαια, οδηγώντας σε άμεσο ανταγωνισμό για ελαιοχημικές πρώτες ύλες μεταξύ του ναυτιλιακού και του αεροπορικού κλάδου. Ένας άλλος πιθανός ανταγωνισμός για την πρώτη ύλη μπορεί να είναι με τα ζωικά λίπη, καθώς τα λίπη από συνήθως απόβλητα σφαγείων χρησιμοποιούνται στον τομέα του βιοαερίου. Η συνεχιζόμενη ηλεκτροδότηση των οδικών μεταφορών, κάποια στιγμή μετά το έτος 2025 θα μειώσει τη ζήτηση για ελαιοχημικά βιοκαύσιμα για τον τομέα των οδικών μεταφορών, και περισσότερα βιοκαύσιμα ενδέχεται να είναι διαθέσιμα για τους ναυτιλιακούς και αεροπορικούς τομείς (Peters & Stojcheva, 2017).

Για τα καύσιμα με βάση τη λιγνοκυτταρίνη, η ξυλώδης βιομάζα χρησιμοποιείται επί του παρόντος για παραγωγή θερμότητας και ενέργειας, η οποία ανταγωνίζεται τη χρήση της λιγνοκυτταρινικής βιομάζας για καύσιμα. Ωστόσο, μεσοπρόθεσμα έως μακροπρόθεσμα, η χρήση βιομάζας για θερμότητα και ηλεκτρισμό αναμένεται να μειωθεί, λόγω της ανάπτυξης άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Peters & Stojcheva, 2017).

### **3.4 Κανονισμοί θαλάσσιων βιοκαυσίμων**

Οι κανονισμοί υπήρξαν σημαντικός μοχλός για την τόνωση της προσφοράς και της ζήτησης βιοενέργειας, καθώς οι περισσότερες τεχνολογίες βιοενέργειας δεν είναι ακόμη οικονομικά ανταγωνιστικές με τα ορυκτά καύσιμα. Οι περισσότερες περιοχές που ενδιαφέρονται για την παραγωγή και/ή την κατανάλωση βιοκαυσίμων είναι είτε ήδη μεγάλοι καταναλωτές καυσίμων (Βόρεια Αμερική, ΕΕ) είτε κερδοφόροι παραγωγοί πρώτης ύλης (Νότια Αμερική, Νοτιοανατολική Ασία). Οι τοπικές κυβερνήσεις μπορούν να θέσουν διαφορετικές εντολές για τα βιοκαύσιμα, όπως στόχους για βιοκαύσιμα, μειώσεις ειδικών φόρων κατανάλωσης και φορολογικά κίνητρα (Bentsen, et, al, 2014).



Οι κανονισμοί σχετικά με τη χρήση βιοντίζελ έχουν προχωρήσει ταχύτερα στον τομέα των μεταφορών αυτοκινήτων από τον τομέα της εμπορικής ναυτιλίας. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ανέθεσε εντολή για την ανάπτυξη προτύπων σχετικά με τις ελάχιστες απαιτήσεις και τις μεθόδους δοκιμής για το βιοντίζελ το 2003: EN 14214 προκειμένου να τυποποιηθεί το καύσιμο βιοντίζελ. Η Αμερικανική Εταιρεία Δοκιμών και Υλικών (ASTM) δημοσίευσε επίσης πρότυπα για το καύσιμο βιοντίζελ ASTM D-6751-02 για το B100 και τα μείγματα για καύσιμα απόσταξης. Η χρήση βιοκαυσίμων στα πλοία, ωστόσο, δεν λαμβάνεται υπόψη στη νομοθεσία του IMO (Bentsen, et, al, 2014).

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή θέσπισε την Οδηγία για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (RED) το 2009 για να καθορίσει τα επίπεδα εντολής χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η οδηγία καθορίζει επίσης τα κριτήρια βιωσιμότητας όσον αφορά τα βιοκαύσιμα και τα βιορευστά και υπάρχει στόχος 20% ενέργειας που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έως το 2020. Στον τομέα των ρυθμιζόμενων μεταφορών, που ορίζεται ως οδικές και σιδηροδρομικές μεταφορές, ο στόχος για το 2020 είναι να επιτευχθεί 10% μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, εκ των οποίων η πλειοψηφία αναμένεται να προέρχεται από βιοκαύσιμα. Ωστόσο, η πρόοδος στην ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ήταν αργή, όπου το μερίδιο της ΕΕ στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στις μεταφορές έφτασε το 5,4% το 2013. Ωστόσο, σε χώρες όπως η Ολλανδία, τα βιοκαύσιμα τόσο για τις οδικές όσο και για τις θαλάσσιες μεταφορές υπολογίζονται ως μέρος των εθνικών κλιματικών στόχων. Στις 30 Νοεμβρίου 2016, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δημοσίευσε μια πρόταση για ένα αναθεωρημένο RED, το λεγόμενο RED II, για να καταστήσει την ΕΕ παγκόσμιο ηγέτη στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και αύξησε τον στόχο τουλάχιστον 27% ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην τελική κατανάλωση ενέργειας στην η ΕΕ έως το 2030, αναμένεται να τεθεί σε ισχύ την 1η Ιανουαρίου 2021. Η ενσωμάτωση των καυσίμων πλοίων στον στόχο RED εξαρτάται από τη ρύθμιση μέσω του IMO, η οποία βρίσκεται ακόμη υπό συζήτηση (Bentsen, et, al, 2014).

Τα βιοκαύσιμα πρέπει να πληρούν ορισμένα κριτήρια βιωσιμότητας προτού διατεθούν στην αγορά ως συμβατά με το RED και συνυπολογιστούν στον στόχο της ΕΕ για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Υπάρχουν τέσσερις κατηγορίες κριτηρίων βιωσιμότητας: τα βιοκαύσιμα πρέπει να επιτυγχάνουν μειώσεις εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε σύγκριση με τα εναλλακτικά ορυκτά καύσιμα για την εξασφάλιση

εξοικονόμησης άνθρακα, οι πρώτες ύλες δεν μπορούν να ληφθούν από περιοχές βιοποικιλότητας για την προστασία της γης με υψηλή φυσική ποικιλότητα, όπως πρωτογενή δάση και λιβάδια, πρώτες ύλες δεν μπορεί να καλλιεργηθεί σε ορισμένες εξαιρούμενες περιοχές για την προστασία των αποθεμάτων άνθρακα και τις αλλαγές στη χρήση γης, ιδίως σε περιοχές τυρφώνων με υψηλό απόθεμα άνθρακα (European Commission, 2016).

Ομοίως άλλες δικαιοδοσίες, π.χ. Ο Καναδάς, αξιολογεί εάν θα συμπεριλάβει τα καύσιμα πλοίων στη λίστα των ανανεώσιμων καυσίμων μεταφορών καθώς ενημερώνει την ανασκόπηση του Clean Fuel Standard. Η πρόκληση στην εφαρμογή τέτοιων συστημάτων είναι ότι τα κίνητρα της αγοράς για τη συμμόρφωση με αυτούς τους κανονισμούς πρέπει να ωφελούνται ή να επηρεάζουν όλα τα μέρη της αλυσίδας εφοδιασμού βιοκαυσίμων, διαφορετικά κανένα μέρος δεν θα μεταβαλλόταν από το παραδοσιακό status quo<sup>56</sup>. Επομένως, η διεθνής ρύθμιση των θαλάσσιων βιοκαυσίμων είναι σημαντική (European Commission, 2016).

### **3.5 . Πρωτοβουλίες ανάπτυξης θαλάσσιων βιοκαυσίμων**

Στη Βόρεια Αμερική, μεγάλο μέρος των αρχικών εργασιών έρευνας και ανάπτυξης για τα θαλάσσια βιοκαύσιμα έχει χρηματοδοτηθεί από ομοσπονδιακή χρηματοδότηση σε πολλά τμήματα στις ΗΠΑ: Υπουργείο Ναυτικού των ΗΠΑ, Υπουργείο Γεωργίας των ΗΠΑ (USDA), Υπουργείο Μεταφορών (DOT), και του Τμήματος Ενέργειας (DOE). Αυτές οι πρωτοβουλίες αναλήφθηκαν για την ανάπτυξη της εγχώριας βιομηχανίας βιοκαυσίμων και τη μείωση της εξάρτησης των ΗΠΑ από τις εισαγωγές ενέργειας. Το 2009, μέσω του American Recovery and Reinvestment Act, το DOE επένδυσε περισσότερα από 31 δισεκατομμύρια δολάρια για να υποστηρίξει ένα ευρύ φάσμα έργων καθαρής ενέργειας, εκ των οποίων η ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας από βιομάζα ήταν ένας από τους τομείς προτεραιότητας. Το ίδιο έτος, χορηγήθηκε στη συνέχεια χρηματοδότηση 564 εκατομμυρίων δολαρίων ΗΠΑ για την κατασκευή πολλαπλών βιομηχανικών βιοδιυλιστηρίων εμπορικής κλίμακας για την εγχώρια παραγωγή ανταγωνιστικών δαπανών βιοκαυσίμων που είναι ανταγωνιστικά με τα συμβατικά καύσιμα πετρελαίου χωρίς επιδοτήσεις. Στη συνέχεια, έχουν δοθεί περισσότερες επιχορηγήσεις σε άλλα έργα βιοδιυλιστηρίων για την παραγωγή καυσίμων από βιομάζα σε ερευνητική,

μικρή, πιλοτική, επίδειξη και εμπορική κλίμακα τα επόμενα χρόνια (Past Solicitations, 2016).

Εκτός από την επέκταση της παραγωγής θαλάσσιων βιοκαυσίμων, οι δοκιμές καυσίμων στα θαλάσσια πλοία ήταν επίσης αναπόσπαστο μέρος του πακέτου χρηματοδότησης και το Ναυτικό των ΗΠΑ ήταν ο κύριος εταίρος. Είναι επίσης, μαζί με την Ακτοφυλακή των ΗΠΑ, ο μεγαλύτερος χρήστης καυσίμων ναυτιλίας στις ΗΠΑ. Η κυβέρνηση των ΗΠΑ ζητά να μειωθεί δραστικά η εξάρτηση της χώρας από το ξένο πετρέλαιο και, ως εκ τούτου, έχει επικεντρωθεί σε εναλλακτικές μορφές ενέργειας. Η πρωτοβουλία «Great Green Fleet» του Πολεμικού Ναυτικού ιδρύθηκε το 2009 και είχε ως στόχο το 50% της ενέργειάς του να προέρχεται από εναλλακτικές ανανεώσιμες πηγές έως το 2020. Ένας επιλεγμένος αριθμός πλοίων, αεροσκαφών και αεροπλανοφόρων του Πολεμικού Ναυτικού γνωστά ως Carrier Strike Group (CSG) θα χρησιμοποιηθεί για την επίδειξη στρατιωτικών επιχειρήσεων με χρήση εναλλακτικών καυσίμων, συμπεριλαμβανομένης της πυρηνικής ενέργειας και των ανανεώσιμων βιοκαυσίμων<sup>5</sup>. Η επίδειξη του Μεγάλου Πράσινου Στόλου επιτρέπει στο Πολεμικό Ναυτικό να δοκιμάσει, να αξιολογήσει και να επιδείξει τη χρησιμότητα και τη λειτουργικότητα των προηγμένων βιοκαυσίμων μεταξύ πλατφορμών σε ένα επιχειρησιακό περιβάλλον (Past Solicitations, 2016).

Από το 2010, το Πολεμικό Ναυτικό δοκιμάζει και αναπτύσσει πλοία και αεροσκάφη με μείγματα βιοκαυσίμων. Τα περισσότερα πλοία χρησιμοποιούσαν ένα μείγμα 50% υδροκατεργασμένου ανανεώσιμου καυσίμου ντίζελ και δεν παρουσίασαν προβλήματα απόδοσης<sup>4</sup>. Στις 17 Ιουλίου 2012, ένα στρατιωτικό λιπαντικό αναπλήρωσης παρέδωσε 900.000 γαλόνια μείγματος 50-50 προηγμένων βιοκαυσίμων και παραδοσιακών καυσίμων με βάση το πετρέλαιο στο αεροπλανοφόρο του Πολεμικού Ναυτικού στον Ειρηνικό Ωκεανό ως μέρος του Rim of the Pacific (RIMPAC). πολυεθνική ναυτική άσκηση. Το βιοκαύσιμο ήταν ένα υδροεπεξεργασμένο ανανεώσιμο καύσιμο ντίζελ, με το όνομα HRD76, που παρήχθη από ένα μείγμα απορριμμάτων μαγειρικού λαδιού και λαδιού φυκιών που παρέχεται από τη Solazyme και τη Dynamic Fuels. Σύμφωνα με το νόμο, αυτά τα καύσιμα πρέπει να έχουν την ίδια τιμή με τα συμβατικά καύσιμα (Burford, 2012).

Το 2013, το USDA σε συνεργασία με το Ναυτικό των ΗΠΑ παρουσίασε το πρόγραμμα «Farm to Fleet», με στόχο την τοπική ανάπτυξη της βιομηχανίας βιοκαυσίμων συνδέοντας τις αγροτικές κοινότητες με τα βιοδιωλιστήρια στις ΗΠΑ<sup>124</sup>. Ως ο μεγαλύτερος καταναλωτής καυσίμου πετρελαίου στις ΗΠΑ, ο

στρατός των ΗΠΑ συμφώνησε να αγοράσει ανταγωνιστικά εγχώρια παραγόμενα βιοκαύσιμα, τα οποία θα αναμειχθούν με καύσιμα πετρελαίου σε ποσοστό 10-50%, ως μέρος του σχεδίου τους να διαφοροποιήσουν το μείγμα καυσίμων τους. και να μειώσουν την εξάρτησή τους από καύσιμα που προέρχονται από πετρέλαιο (Burford, 2012).

### **3.6. Προκλήσεις ανάπτυξης βιοκαυσίμων**

Μία από τις κύριες ανησυχίες σχετικά με τη χρήση βιοκαυσίμων, ή οποιουδήποτε νέου εναλλακτικού καυσίμου, στα πλοία πλοίων είναι η έλλειψη δεδομένων μακροπρόθεσμων δοκιμών καυσίμου που να εγγυώνται την ασφάλεια και τη συνεχή αξιοπιστία του επιλεγμένου καυσίμου. Σε αυτές τις γραμμές, η τιμή των καυσίμων και η εγγύηση προμήθειας αποτελούν επίσης σημαντικές προκλήσεις που πρέπει να επιλυθούν πριν τα πλοία ναυτιλίας αλλάξουν τη λειτουργία τους με νέο καύσιμο (Hu, et, al, 2005).

Η απόδοση των τυπικών καυσίμων με βάση το πετρέλαιο σε κινητήρες ντίζελ είναι αρκετά κατανοητή. Ωστόσο, δεν μπορούμε να πούμε το ίδιο για τα νέα βιοκαύσιμα αυτή τη στιγμή, καθώς παράγονται από διαφορετικές πρώτες ύλες και διαδικασίες. Επομένως, πρέπει να πραγματοποιηθεί σημαντικός αριθμός δοκιμών και τυποποίησης προκειμένου ο τομέας των ανανεώσιμων καυσίμων να αναπτύξει κατάλληλα βιοκαύσιμα που είναι απολύτως συμβατά και εξίσου αποτελεσματικά με τα συμβατικά καύσιμα. Ενώ τα σημερινά βιοκαύσιμα που παράγονται στο εμπόριο έχουν αποδειχθεί ότι είναι χημικά συμβατά με τη δομή του καυσίμου, η βιολογική σταθερότητα κατά τη μεταφορά και ιδιαίτερα τη μακροχρόνια αποθήκευση παραμένει ένα θέμα ανησυχίας (Hu, et, al, 2005).

Τα βιοκαύσιμα έχουν την τάση να οξειδώνονται και να αποικοδομούνται κατά τη μακροχρόνια αποθήκευση 6 έως 10 μηνών. Καθώς τα βιοκαύσιμα προέρχονται από φυσικές πηγές, τείνουν να αποικοδομούνται στο νερό πιο γρήγορα από τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα. Αυτό είναι θετικό σε περίπτωση πετρελαιοκηλίδας, αλλά θα προκαλούσε προβλήματα στη μακροχρόνια αποθήκευση του καυσίμου. Η λιπαντικότητα και η αγωγιμότητα του καυσίμου αποτελούν επίσης τομείς ανησυχίας. Η λιπαντικότητα του καυσίμου είναι σημαντική σε έναν κινητήρα ντίζελ, καθώς τα κινούμενα μέρη συχνά λιπαίνονται από το καύσιμο. Αυτό ισχύει επίσης για τους χειριστές πλοίων όταν αλλάζουν σε ULSD, το οποίο απαιτεί διαφορετικά πρόσθετα

πρόσθετα λιπαντικής. Παρόλο που το βιοντίζελ λειτουργεί ως καλό λιπαντικό, χάνει τη λιπαντικότητά του για μεγάλο χρονικό διάστημα λόγω της οξείδωσης των ακόρεστων μορίων που υπάρχουν στο καύσιμο και της αυξημένης απορρόφησης του νερού από την υγρασία. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι σημαντική για το καύσιμο καθώς μπορούν να συσσωρευτούν στατικά φορτία καθώς το καύσιμο αντλείται μέσω αγωγών, απαιτώντας έτσι τη χρήση αντιστατικών προσθέτων για την αποφυγή στατικής εκφόρτισης κατά τη μεταφορά, τη μεταφορά και την άντληση (Canakci & Sanli, 2008).

Όταν πρόκειται για τη δημιουργία της αλυσίδας εφοδιασμού βιοκαυσίμων, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα πακέτα χρηματοδότησης βιοκαυσίμων τείνουν να περιλαμβάνουν καύσιμα για άλλους τομείς μεταφορών, όπως καύσιμα αεριωθουμένων και αυτοκινήτων, εκτός από τα καύσιμα πλοίων. Στην πραγματικότητα, οι κυβερνητικές πολιτικές, οι επιδοτήσεις και οι εντολές τις τελευταίες δεκαετίες επικεντρώθηκαν συχνά στα καύσιμα για τις εσωτερικές οδικές μεταφορές και όχι για τις αεροπορικές ή τις θαλάσσιες μεταφορές. Αυτό σημαίνει ότι οι κατασκευαστές βιοκαυσίμων έχουν επικεντρωθεί κυρίως στα καύσιμα για τις οδικές μεταφορές (π.χ. αυτοκίνητα, φορτηγά, σιδηροδρομικές μεταφορές). Η παραγωγή καυσίμων αεριωθουμένων έχει γίνει επίσης ένας δημοφιλής τομέας έρευνας, καθώς τα αεροπορικά φορτία έχουν γίνει πιο δημοφιλή τα τελευταία χρόνια παρά το υψηλότερο κόστος μεταφοράς, καθώς τα εμπορικά αγαθά χρειάζονται πολύ μικρότερο χρόνο για να φτάσουν στα αεροδρόμια. Οι επιβάτες των αεροπορικών μεταφορών έχουν επίσης αυξηθεί την τελευταία δεκαετία, αυξάνοντας φυσικά τη ζήτηση για καύσιμα αεροσκαφών. Μέχρι τα τέλη του 2016, περισσότερες από 2.500 εμπορικές πτήσεις έχουν πραγματοποιήσει με μείγματα ανανεώσιμων καυσίμων και ο αριθμός αυξάνεται<sup>1</sup>. Ο όγκος των αεροπορικών καυσίμων που ζητά ο κλάδος προσεγγίζει επίσης αργά αυτόν της εμπορικής ναυτιλίας (275 Mt έναντι 330 Mt αεροπορία έναντι ναυτιλίας αντίστοιχα). Προκειμένου τα θαλάσσια βιοκαύσιμα να παραμείνουν συναφή, θα ήταν πλεονεκτικό να παράγονται τόσο αεροπορικά όσο και θαλάσσια βιοκαύσιμα ταυτόχρονα, καθώς η αεροπορία θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει κλάσματα υψηλότερης ποιότητας και τα υπολείμματα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για καύσιμα καυσίμων (Fellet, 2016).

### **3.7 Προοπτικές/ Τάσεις βιοκαυσίμων στην Ελλάδα**

Οι ποικίλες πηγές ενέργειας αποτελούν τον πυρήνα της επενδυτικής και ενεργειακής πολιτικής της Ελλάδας. Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον εξελισσόμενο τομέα ενέργειας της χώρας. Οι επενδύσεις σε βιομάζα και βιοκαύσιμα αποτελούν μία επένδυση στο Μέλλον – στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Ge, Shijian, et, al, 2018).

Οι ποικίλες πηγές ενέργειας αποτελούν τον πυρήνα της επενδυτικής και ενεργειακής πολιτικής της Ελλάδας. Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον εξελισσόμενο τομέα ενέργειας της χώρας. Η βιομάζα και τα βιοκαύσιμα θεωρούνται ισχυροί συντελεστές της αγοράς με υψηλές προοπτικές ανάπτυξης. Προσφέρονται αμέτρητες ευκαιρίες στους επενδυτές να λάβουν πρώτες ύλες και να επωφεληθούν από την τιμή αγοράς της παραγόμενης ενέργειας (Ge, Shijian, et, al, 2018).

Στην Ελλάδα ο αγροτικός τομέας αποτελεί άνω του 5% του ΑΕΠ, σχεδόν το τριπλάσιο του μέσου όρου 1.8% της ΕΕ. Επομένως, οι εταιρείες που ασχολούνται με βιομάζα και βιοκαύσιμα θα βρουν άφθονες πηγές πρώτων υλών. Επιπλέον, η δέσμευση της Ελληνικής κυβέρνησης να αντικαταστήσει το 10% των σημερινών συμβατικών καυσίμων με βιοκαύσιμα μέχρι το 2020 συνεπάγεται αξιόλογες ευκαιρίες για την επόμενη δεκαετία (Ge, Shijian, et, al, 2018).

Η βιομάζα είναι ενέργεια προερχόμενη από οργανικές ύλες, όπως δέντρα και φυτά, γεωργικά προϊόντα και ρεύματα αποβλήτων από διάφορες πηγές. Τα προϊόντα αυτά μετατρέπονται μέσω θερμότητας σε βιοκαύσιμα, βιοθερμότητα ή βιοηλεκτρική ενέργεια. Το ξύλο αποτελεί την πιο αρχαία μορφή βιομάζας που γνωρίζουμε (Langlois, et, al, 2012).

Η τρέχουσα εγκατεστημένη ισχύς είναι 40 MW. Οι τοπικές αρχές στην προσπάθειά τους να διαχειριστούν πόρους με τρόπο οικονομικά αποδοτικό, προβάλλουν τα συστήματα βιομάζας ως το επίκεντρο των επενδύσεων, με την υπόσχεση ότι πρόκειται για τομέα ανάπτυξης με σημαντικές προοπτικές (Langlois, et, al, 2012).

Λόγω του αυξημένου ενδιαφέροντος στην πράσινη ενέργεια και της οικονομικής στήριξης από ΕΕ και την Ελληνική κυβέρνηση, η αγορά βιομάζας αναμένεται να αναπτυχθεί σημαντικά. Με την αναμόρφωση της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής (ΚΑΠ) της ΕΕ ευνοείται η καλλιέργεια συγκεκριμένων αγροτικών προϊόντων για την παραγωγή βιοκαυσίμων (Langlois, et, al, 2012).

Σε περίπτωση που η βιομάζα χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας μιλάμε για στερεά, υγρά και αέρια βιοκαύσιμα. Παραδείγματα στερεών βιοκαυσίμων αποτελούν τα πέλλετ ξύλου, οι μπριγκέτες, τα πυρηνόξυλα, τα ροκανίδια, τα καυσόξυλα. Παραδείγματα υγρών βιοκαυσίμων αποτελούν η βιοαιθανόλη και το βιοντήζελ τα οποία έχουν συχνή εφαρμογή ως καύσιμα κίνησης (Langlois, et, al, 2012).

Η ενέργεια που είναι δεσμευμένη στις φυτικές ουσίες προέρχεται από τον ήλιο. Με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, τα φυτά μετασχηματίζουν την ηλιακή ενέργεια σε βιομάζα. Οι ζωικοί οργανισμοί αυτή την ενέργεια την προσλαμβάνουν με την τροφή τους και αποθηκεύουν ένα μέρος της. Αυτή την ενέργεια αποδίδει τελικά η βιομάζα, μετά την επεξεργασία και τη χρήση της. Είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας γιατί στην πραγματικότητα είναι αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια που δεσμεύτηκε από τα φυτά κατά τη φωτοσύνθεση (Langlois, et, al, 2012).

Η βιομάζα είναι η πιο παλιά και διαδεδομένη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Ο πρωτόγονος άνθρωπος, για να ζεσταθεί και να μαγειρέψει, χρησιμοποίησε την ενέργεια (θερμότητα) που προερχόταν από την καύση των ξύλων, που είναι ένα είδος βιομάζας (Langlois, et, al, 2012).

Αλλά και μέχρι σήμερα, κυρίως οι αγροτικοί πληθυσμοί, τόσο της Αφρικής, της Ινδίας και της Λατινικής Αμερικής, όσο και της Ευρώπης, για να ζεσταθούν, να μαγειρέψουν και να φωτιστούν χρησιμοποιούν ξύλα, φυτικά υπολείμματα (άχυρα, πριονίδια, άχρηστους καρπούς ή κουκούτσια κ.ά.) και ζωικά απόβλητα (κοπριά, λίπος ζώων, άχρηστα αλιεύματα κ.ά.). Όλα τα παραπάνω υλικά, που άμεσα ή έμμεσα προέρχονται από το φυτικό κόσμο, αλλά και το μεγαλύτερο μέρος από τα αστικά απορρίμματα (υπολείμματα τροφών, χαρτί κ.ά.) των πόλεων και των βιομηχανιών, μπορούμε να τα μετατρέψουμε σε ενέργεια (Langlois, et, al, 2012).

## Βιβλιογραφία

Achten, W. M. J., Vandenbempt, P., Almeida, J., Mathijs, E. & Muys, B. (2010). Life Cycle Assessment of a Palm Oil System with Simultaneous Production of Biodiesel and Cooking Oil in Cameroon. *Environ. Sci. Technol.* 44, 4809–4815

Adamson, L. & Brown, N. IMO sets 2020 date for ships to comply with low sulphur fuel oil requirement. International Maritime Organization (2016). Available at: <http://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/MEPC-70-2020sulphur.aspx>.

Andreasen, A. & Nyggard, K. B. (2011). Water-in-fuel emulsion as marine engine fuel for reduced NO<sub>x</sub> and particulate emissions.

Bacovsky, D., Holzleitner, S. & Enigl, M. (2016). Overview on detailed information for each of the 9 topics. 228. European Biofuels Technology Platform - Support for Advanced Biofuels Stakeholders.

Bentsen, N. S., Felby, C. & Thorsen, B. J. (2014). Agricultural residue production and potentials for energy and materials services. *Prog. Energy Combust. Sci.* 40, 59–73

Burford, S. (2012). Kaiser Delivers Biofuel for RIMPAC's Great Green Fleet Demo. Navy News Service (2012). Available at: /submit/display.asp?story\_id=68410.

Canakci, M. & Sanli, H. Biodiesel production from various feedstocks and their effects on the fuel properties. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 35, 431–441 (2008).

Cazzola, P. et al. (2013). Production costs of alternative transportation fuels- Influence of crude oil price and technology maturity. International Energy Agency

Demirbaş, A. (1998). Fuel properties and calculation of higher heating values of vegetable oils. *Fuel* 77, 1117–1120 (1998).

European Biomass Industry Association.(2017). Used Cooking Oil.

Fellet, M. Now boarding: Commercial planes take flight with biobased jet fuel. *Chemical & Engineering News* 94, 16–18 (2016).

Forestry Commission, G. B. Carbon emissions of different fuels. (2016). Available at: <http://www.forestry.gov.uk/fr/bee-h-abslby>.

Ge, Shijian; Madill, Max; Champagne, Pascale (2018-04). [«Use of freshwater macroalgae \*Spirogyra\* sp. for the treatment of municipal wastewaters and biomass production for biofuel applications»](#). *Biomass and Bioenergy* 111: 213–223. [doi:10.1016/j.biombioe.2017.03.014](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.03.014). ISSN 0961-9534.



Halpern, B. S. et al.(2015). Spatial and temporal changes in cumulative human impacts on the world's ocean. *Nat. Commun.* 6, 7615

Hu, J., Du, Z., Li, C. & Min, E. Study on the lubrication properties of biodiesel as fuel lubricity enhancers. *Fuel* 84, 1601–1606 (2005).

Langlois, Juliette; Sassi, Jean-François; Jard, Gwenaelle; Steyer, Jean-Philippe; Delgenes, Jean-Philippe; Hélias, Arnaud (2012-07). «[Life cycle assessment of biomethane from offshore-cultivated seaweed](#)» (στα αγγλικά). *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 6 (4): 387–404. doi:10.1002/bbb.1330.

Lloyd's Register.(2016). Rules and Regulations for the Classification of Ships.

LNG. (2016). Rolls-Royce Available at: <http://www.rolls-royce.com/products-and-services/marine/lng.aspx>.

Marine Diesel. (2016). Sunshine Biofuels Available at: <http://gosunshinebiofuel.com/marine-diesel/>.

Machinery Spaces.com. (2016). The fuel oil system for a diesel engine. Available at: <http://www.machineryspaces.com/fuel-oil-system.html>.

MAN Diesel & Turbo. (2016). Two-Stroke Technology. MAN Marine Engines & Systems. Available at: <http://marine.man.eu/two-stroke/low-speed-technology>

MAN Diesel & Turbo. (2014). Using Methanol Fuel in the MAN B&W ME-LGI Series.

Oncel, S. S. Microalgae for a macroenergy world. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 26, 241–264 (2013).

Past Solicitations. (2016). Department of Energy (Available at: <http://www.energy.gov/eere/bioenergy/past-solicitations>).

Peters, D. & Stojcheva, V. (2017). Crude tall oil low ILUC risk assessment. Ecofys Netherlands B.V.

Risley, T. & Saccani, J.(2013). Renewable Diesel Fuel For Marine Application. 360

Smith, T. et al. (2014). Low Carbon Shipping - A Systems Approach, Final Report.

U.S. Energy Information Administration. Natural Gas Consumption by Sector. *Monthly Energy Review* 85 (2017).

Verbeek, R. & Verbeek, M. (2015). LNG for trucks and ships: fact analysis review of pollutant and GHG emissions.

Vermeire, M. B.(2012). Everything You Need to Know About Marine Fuels.

Yahaya Khan, M., Abdul Karim, Z. A., Hagos, F. Y., Aziz, A. R. A. & Tan, I. M. Current Trends in Water-in-Diesel Emulsion as a Fuel. Sci. World J. Sci. World J. 2014, 2014, e527472 (2014)

. Zhou, L., Heuser, B., Boot, M., Kremer, F. & Pischinger, S. (2015). Performance and Emissions of Lignin and Cellulose Based Oxygenated Fuels in a Compression-Ignition Engine. SAE Tech. Pap. 9 doi:10.4271/2015-01-0910