

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
Α.Ε.Ν. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ: ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ

ΤΟΥ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ: ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΥ ΚΥΠΡΙΩΤΗ
Α.Γ.Μ: 4051

Ημερομηνία ανάληψης της εργασίας: 21 – 05 – 2019

Ημερομηνία παράδοσης της εργασίας: 01 – 07 – 2020

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΔΑΝΑΣ

<i>A/A</i>	<i>Όνοματεπώνυμο</i>	<i>Ειδικότητα</i>	<i>Αξιολόγηση</i>	<i>Υπογραφή</i>
1.	ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΤΣΟΥΛΗΣ	ΠΛΟΙΑΡΧΟΣ Α΄ Ε.Ν.	ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΗ	
2.	ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΑ ΡΩΣΣΙΑΔΟΥ	ΦΥΣΙΚΟΣ	ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΗ	
3.	ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΔΑΝΑΣ	ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΣ	ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΗ	
ΤΕΛΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ			ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΗ	

Ο ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ ΠΛΟΙΑΡΧΩΝ: ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΤΣΟΥΛΗΣ

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
Α.Ε.Ν. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΠΛΟΙΑΡΧΩΝ

ΘΕΜΑ: ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ

ΤΟΥ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ: ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΥ ΚΥΠΡΙΩΤΗ



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΔΑΝΑΣ

ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ 2020

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη	iii
Εισαγωγή	iv
1. ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ	1
1.1 Πετρέλαιο	1
1.1.1 Χημικές ιδιότητες	1
1.1.2 Κοιτάσματα – Εξόρυξη	4
1.1.3 Διακίνηση – Επεξεργασία	5
1.2 Φυσικό αέριο	7
1.2.1 Χημικές ιδιότητες	7
1.2.2 Κοιτάσματα – Εξόρυξη	8
1.2.3 Διακίνηση – Επεξεργασία	9
1.4 O.P.E.C.	11
2. ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΑ ΕΚ ΤΟΥ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ	12
2.1 Πετρέλαιο ναυτιλίας (MGO)	12
2.2 Πετρέλαιο ναυτιλίας (MDO)	13
2.3 Υγραέριο (LPG)	15
2.4 Μαζούτ ναυτιλίας (HFO)	17
3. ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ (LNG)	19
4. ΠΕΡΙΒΑΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ	23
4.1 Εκπομπές τοξικών ρύπων	23
4.2 Εκπομπές αερίων θερμοκηπίων	31
4.3 Κατανάλωση ενεργειακών πόρων	36
4.4 Επιπτώσεις από θαλάσσιο ατύχημα	39
5. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	41
5.1 Ηλιακή ενέργεια	41
5.2 Αιολική ενέργεια	41
5.3 Βιοκαύσιμα	43

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	44
Κατάλογος σχημάτων	45
Κατάλογος πινάκων	46
Βιβλιογραφία	47

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται η ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των διαφόρων ειδών ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία. Αρχικά, περιγράφονται οι διαδικασίες εξόρυξης και επεξεργασίας των ορυκτών καυσίμων, ενώ σε επόμενο στάδιο αναφέρονται οι ιδιότητες και τα κυριότερα χαρακτηριστικά τόσο των υγρών ναυτιλιακών καυσίμων όσο και των αέριων υδρογονανθράκων.

Ακολούθως, παρουσιάζονται οι σημαντικότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις της χρήσης των ορυκτών καυσίμων τόσο σε σχέση με τη βλάβη που επιφέρουν στην ανθρώπινη υγεία και το οικοσύστημα όσο και με την επιδείνωση του φαινομένου του θερμοκηπίου, την κατανάλωση των ενεργειακών πόρων και την πρόκληση ατυχήματος κατά τη μεταφορά πετρελαίου ή πετρελαϊκών καυσίμων.

Τέλος, περιγράφονται ορισμένες εναλλακτικές δυνατότητες που παρέχει η αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ως συμπληρωματικών, κυρίως, ενεργειακών πόρων για τη λειτουργία των πλοίων.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σύγχρονος τομέας της ναυτιλίας καλείται να διαχειριστεί νέες συνθήκες που κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών έχουν αναδιαμορφώσει τις αποφάσεις για την επιλογή μεταξύ εναλλακτικών καυσίμων. Οι φορείς λήψης αποφάσεων, οι ερευνητές που εστιάζουν στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ναυτιλιακής δραστηριότητας, αλλά και οργανισμοί οι οποίοι επικεντρώνονται στις συνέπειες των διαφόρων οικονομικών δραστηριοτήτων στην ανθρώπινη υγεία κάνουν λόγο ολοένα και περισσότερο για πιθανούς κινδύνους τόσο για το οικοσύστημα όσο και για τον άνθρωπο που σχετίζονται με τις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων, ιδίως αυτών που προέρχονται από έντονη ναυτιλιακή δραστηριότητα κοντά σε παράκτιες πόλεις.

Ήδη από τα μέσα της δεκαετίας του 1990 στην επιστημονική έρευνα είχε καταγραφεί στον τομέα της ναυτιλίας ότι, αν και με την πάροδο των ετών είχε επέλθει μία βαθμιαία βελτίωση των περιβαλλοντικών επιδόσεων, εν τούτοις όμως εξακολουθούσε να αποτελεί πηγή διαφόρων περιβαλλοντικών προβλημάτων, τόσο κατά μήκος πολλών παράκτιων ζωνών όσο και σε τοπικό επίπεδο. Υπήρχε δε η εκτίμηση ότι γύρω στο 80% των εκπομπών των πλοίων που κινούνται στις εν λόγω ζώνες επηρεάζουν μία χερσαία έκταση που αντιστοιχεί σε απόσταση έως 400 km από τη θάλασσα [7]. Επόμενες αναλύσεις, που διενεργήθηκαν μεταξύ των ετών 2007 και 2012, έδειξαν ότι ο τομέας της ναυτιλίας ήταν προβληματικός ως προς την περιβαλλοντική του βιωσιμότητα και ότι οι αντίστοιχες ατμοσφαιρικές εκπομπές μπορούν να υποβαθμίσουν σε αξιολογικό βαθμό την ανθρώπινη υγεία, κατά τον Διεθνή Οργανισμό Ναυσιπλοΐας, IMO [13].

Το 1973 υιοθετήθηκε από τον IMO η «Διεθνής Σύμβαση για την Πρόληψη της Θαλάσσιας Ρύπανσης από τα Πλοία» (“International Convention for the Prevention of Pollution from Ships” ή MARPOL), σημείο σταθμός για την προσπάθεια μείωσης των εκπομπών ορισμένων ρύπων. Εν τούτοις, η διεθνής ναυτιλιακή κοινότητα αντέδρασε με καθυστέρηση. Ο IMO χρησιμοποίησε το πλαίσιο της MARPOL με αποτέλεσμα την εισαγωγή ρυθμίσεων που στόχευαν στον έλεγχο ορισμένων εκπομπών. Κατά συνέπεια, διαμορφώθηκε το Παράρτημα VI της MARPOL το οποίο και αποτέλεσε κείμενο σημαντικής προσπάθειας για τη μείωση των εκπομπών οξειδίων του θείου και οξειδίων του αζώτου. Ακόμη, καθιερώθηκαν πρότυπα εκπομπής για τα πλοία με στόχο τον περιορισμό των εκπομπών των συγκεκριμένων ρύπων τουλάχιστον κατά 80% σε διεθνές επίπεδο και τουλάχιστον κατά 90% σε περιοχές ελέγχου (ειδικές ζώνες, γνωστές ως “emission control areas”- ECAs) θεσπισμένες από τον IMO κατά μήκος των ακτών της Ευρώπης και των ΗΠΑ.

Για τη δραστηριότητα, λοιπόν, της κίνησης των πλοίων κατά μήκος των παράκτιων ζωνών που ανήκουν στις ECAs έχουν καθοριστεί αυστηρότεροι περιορισμοί εκπομπών, με χαρακτηριστικό τον καθορισμό του ορίου της περιεκτικότητας των καυσίμων σε θείο (έως 0.1%) [20].

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται σε πρώτο στάδιο η εξόρυξη και η διαχείριση του αργού πετρελαίου και του φυσικού αερίου με στόχο την παραγωγή καυσίμων που χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία. Εν συνεχεία, περιγράφονται τα διάφορα καύσιμα και κατόπιν αναλύονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των εν λόγω καυσίμων. Τέλος, παρουσιάζονται οι δυνατότητες χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) στον τομέα της ναυτιλίας.

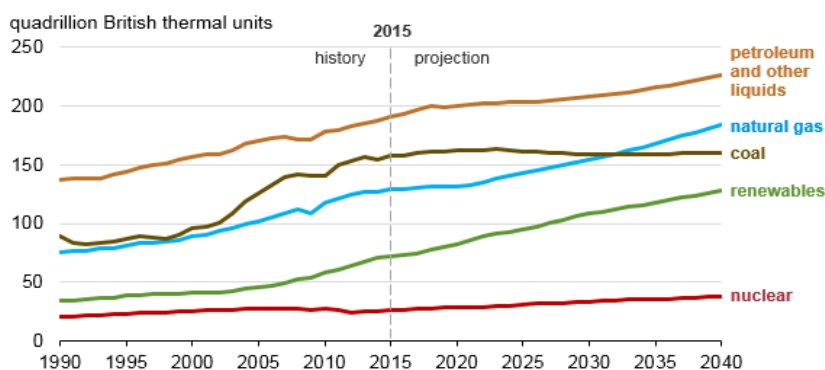
1. ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ

1.1 Πετρέλαιο

1.1.1 Χημικές ιδιότητες

Με τον όρο «υγροί υδρογονάνθρακες» γίνεται αναφορά κυρίως στο πετρέλαιο, καθώς συνιστά την κυριότερη ενεργειακή πηγή στον πλανήτη για την επιτέλεση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Το αργό πετρέλαιο (crude oil) αποτελεί ένα παχύρρευστο υγρό το οποίο είναι ένα σύνθετο μείγμα υδρογονανθράκων (μικρότερο των 700), με αριθμό ατόμων άνθρακα από ένα έως σαράντα και πολύπλοκη δομή.

Οι χαρακτηριστικές ιδιότητες του πετρελαίου εξαρτώνται από την αναλογία των επιμέρους υδρογονανθράκων η οποία και διαφοροποιείται με βάση την πηγή προέλευσης. Όπως παρατηρείται στο Σχήμα 1.1, παρά την προσπάθεια περιορισμού της εξάρτησης των κρατών από το πετρέλαιο, για πολιτικούς, οικονομικούς, αλλά και περιβαλλοντικούς λόγους, καθώς ευθύνεται σε σημαντικό βαθμό για την περιβαλλοντική ρύπανση, εξακολουθεί να παραμένει ως πρώτη ενεργειακή πηγή σε διεθνές επίπεδο. Αξίζει να σημειωθεί ότι η τάση αυτή δεν αναμένεται να αναστραφεί τουλάχιστον για τα επόμενα είκοσι έτη.



Σχήμα 1.1 Πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας σε διεθνές επίπεδο (1990-2015) και προβολή αυτής έως το 2040.

Τα παράγωγα της επεξεργασίας του αργού πετρελαίου αξιοποιούνται πρωτίστως στους τομείς των μεταφορών και της θέρμανσης, αλλά επιπλέον και στη σύνθεση μεγάλου αριθμού οργανικών χημικών ουσιών (πετροχημικών προϊόντων). Τέτοια παραδείγματα είναι ενώσεις όπως ολεφίνες που συνιστούν μονομερή για τη σύνθεση εμπορικών πολυμερών (πολυαιθυλενίου, πολυπροπυλενίου, κ.ά.).

Στον Πίνακα 1.1 παρατίθεται η τυπική σύσταση του αργού πετρελαίου, εντός του οποίου περιέχονται μικρές ποσότητες οργανικών συστατικών τα οποία περιέχουν οξυγόνο, θείο και άζωτο, αλλά και ίχνη μετάλλων (Cu, Ni, V, Fe). Να σημειωθεί ότι η σύσταση του αργού πετρελαίου διαφοροποιείται όχι μόνον από την τοποθεσία, αλλά και από το βάθος εξορύξεως.

Στοιχείο	Όρια περιεκτικότητας (%)
Ανθρακας	83-87
Υδρογόνο	10-14
Άζωτο	0.1-2.0
Οξυγόνο	0.05-1.5
Θείο	0.06-6.0
Μέταλλα	<1000 ppm

Πίνακας 1.1 Τυπική στοιχειακή σύσταση του αργού πετρελαίου

Το 1860 ο Shorlemmer απομόνωσε μια σειρά παραφινών (αλκανίων), ενώ ακολούθως ο Markovnikov ανίχνευσε αλεικυκλικούς υδρογονάνθρακες που τους αποκάλεσε ναφθένια και έκτοτε προτάθηκε η ταξινόμηση των πετρελαίων σε παραφινικά και σε ναφθενικά.

Η αναλυτικότερη ταξινόμηση της σύστασης του αργού πετρελαίου πραγματοποιείται βάσει τριών κατηγοριών οργανικών ενώσεων:

1. Κορεσμένων υδρογονανθράκων, στους οποίους περιλαμβάνονται κανονικά και διακλαδισμένα αλκάνια, καθώς και ισοαλκάνια (ναφθένια, ισοπαραφίνες, παραφίνες). Ακόρεστοι υδρογονάνθρακες (ολεφίνες) υφίστανται μόνον σε έναν μικρό βαθμό.
2. Αρωματικών υδρογονανθράκων, ήτοι μονοαρωματικών ενώσεων (π.χ. βενζόλιο) και πολυαρωματικών.
3. Οργανικές ενώσεις με ετερο-άτομα, όπως θειόλες και διάφορες ενώσεις οξυγόνου και αζώτου (αιθέρες, πυριδίνες, φαινόλες, κ.ά.).

Σε επόμενο χρόνο και λόγω της εξαιρετικής σημασίας του αργού πετρελαίου και των παραγών του το πετρέλαιο κατηγοριοποιείται ως ακολούθως, βάσει της περιεκτικότητάς του σε παραφινικούς, αρωματικούς και ναφθενικούς υδρογονάνθρακες, κατηγορίες που καθορίζουν εν πολλοίς τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του:

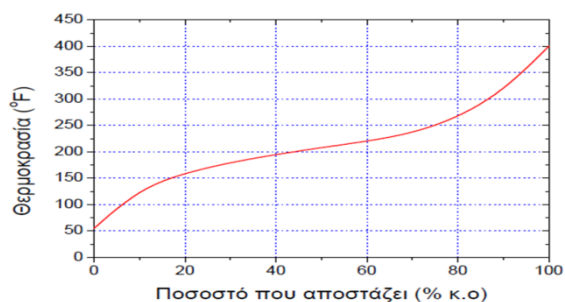
1. Παραφινικό, με παραφινικούς υδρογονάνθρακες σε περιεκτικότητα τουλάχιστον 50% κ.β. στη μάζα των ελαφρών κλασμάτων.

2. Παραφινο-ναφθενικό, το οποίο περιέχει κυρίως ναφθενικούς και παραφινικούς υδρογονάνθρακες.
3. Ναφθενικό, με ναφθενικούς υδρογονάνθρακες που υπερβαίνουν το 60% της μάζας του συνόλου των κλασμάτων.
4. Παραφινο-ναφθενο-αρωματικό, το οποίο περιέχει περίπου ίσες ποσότητες από τα τρία είδη υδρογονανθράκων και είναι επί του παρόντος το πιο διαδεδομένο είδος.
5. Ναφθενο-αρωματικό.
6. Αρωματικό, το οποίο είναι πλούσιο σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες.

Οι καθαροί υδρογονάνθρακες εμφανίζουν, σε συγκεκριμένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, ορισμένες γνωστές ιδιότητες, όπως το σημείο ζέσεως, τη πυκνότητα και τη κρίσιμη θερμοκρασία. Για υδρογονανθρακικά μείγματα, και ιδιαίτερα για κλάσματα πετρελαίου, είναι αδύνατον να αναλυθούν και να οριστούν οι συγκεντρώσεις του συνόλου των συστατικών. Έτσι, τα μείγματα χαρακτηρίζονται με τη βοήθεια εμπειρικών παραμέτρων που λαμβάνονται από μία ποικιλία δοκιμών (απόσταξη, μέτρηση ειδικού βάρους, κ.ο.κ.) [26].

Τα χαρακτηριστικά εξάτμισης του πετρελαίου και των παραγώγων του συνιστούν μία από τις βασικές ιδιότητες των υγρών καυσίμων. Η κοινή αναπαράσταση των χαρακτηριστικών αναφέρεται στην καμπύλη απόσταξης, ήτοι στα θερμοκρασιακά όρια μεταξύ των οποίων το καύσιμο μεταβαίνει από την υγρή κατάσταση στην αέρια (Σχήμα 1.2).

Η καταγραφή των καμπυλών απόσταξης πραγματοποιείται με εργαστηριακές δοκιμές και συγκεκριμένα με τεχνικές πιστοποιημένες από την Αμερικανική Εταιρεία Δοκιμών και Υλικών (American Society for Testing and Materials, ASTM). Τα αποτελέσματα εκφράζονται σε ζεύγη θερμοκρασίας-% κ.ό. αποσταχθέντος δείγματος.



Σχήμα 1.2 Καμπύλη απόσταξης βενζίνης κατά ASTM-D86

Σε ό,τι αφορά τον προσδιορισμό των σημείων ζέσεως των κλασμάτων πετρελαίου αυτός πραγματοποιείται με τη βοήθεια πέντε διαφορετικών μεθόδων (προσδιορισμός ογκομετρικού

μέσου σημείου ζέσεως, μοριακού μέσου σημείου ζέσεως, μέσου σημείου ζέσεως κατά βάρος, κυβικού μέσου σημείου ζέσεως και μέσου σημείου ζέσεως).

Το κοινό στοιχείο των μεθόδων αφορά το γεγονός ότι το σύνθετο υδρογονανθρακικό μείγμα θεωρείται ως σύνολο «ψευδοσυστατικών» που εμφανίζουν παρόμοιες ιδιότητες και χαρακτηρίζονται από κάποιο κανονικό σημείο ζέσεως. Μία άλλη σημαντική ιδιότητα των πετρελαϊκών κλασμάτων αντιστοιχεί στο ειδικό βάρος, το οποίο ορίζεται ως ο λόγος της μάζας ενός δεδομένου υγρού στους 15.5°C προς τη μάζα ίσου όγκου απεσταγμένου νερού στην ίδια θερμοκρασία. Εκτός από το ειδικό βάρος χρησιμοποιείται και ο όρος «πυκνότητα API», που σχετίζεται με το ειδικό βάρος με μία εξίσωση. Για τον προσδιορισμό του ειδικού βάρους και της πυκνότητας API χρησιμοποιούνται πυκνόμετρα. Η διαδικασία μέτρησης περιγράφεται στα εγχειρίδια της ASTM (τεχνική D-1298). Τέλος, ο συντελεστής χαρακτηρισμού Watson (K) συνιστά έναν κατά προσέγγιση δείκτη παραφινικότητας. Υψηλές τιμές του συντελεστή αποτελούν ένδειξη υψηλού ποσοστού παραφινών στο αναλυθέν κλάσμα πετρελαίου.

1.1.2 Κοιτάσματα – εξόρυξη

Το αργό πετρέλαιο συναντάται στο υπέδαφος κλεισμένο σε πορώδη ιζηματογενή πετρώματα των ανώτερων στρωμάτων του φλοιού, μαζί με αέριους υδρογονάνθρακες και αλμυρό νερό. Συνήθως, είναι κορεσμένο στους αέριους υδρογονάνθρακες και περιέχει στη μάζα του και διοξείδιο του άνθρακα, υδρόθειο και ήλιο. Θεωρείται παράγωγο της αναερόβιας βιολογικής αποικοδόμησης της φυτικής και της ζωικής θαλάσσιας ζωής (ζωοπλαγκτόν και φυτοπλαγκτόν). Αφού το πλαγκτόν θάφτηκε από ένα παχύ στρώμα ιλύος, βυθισμένο στα έγκατα των ωκεανών, πριν από αρκετά εκατομμύρια χρόνια, η αναερόβια δραστηριότητα μικροοργανισμών συνετέλεσε στην αύξηση της πίεσης και της θερμοκρασίας και, ως εκ τούτου, στη μετατροπή του πλαγκτόν στο υδρογονανθρακικό μείγμα του πετρελαίου.



Σχήμα 1.3 Γεωλογικοί σχηματισμοί με πετρέλαιο, φυσικό αέριο και αλμυρό νερό.

Για να σχηματισθούν κοιτάσματα πετρελαίου απαιτείται η παρουσία γεωλογικής δομής κατάλληλου σχήματος, ούτως ώστε το πετρέλαιο να συγκεντρωθεί, σε μορφή σταγονιδίων, στους πόρους πετρώματος το οποίο καλύπτεται από αδιαπέραστο στρώμα. Οι ταμειυτήρες του πετρελαίου σχηματίζονται με διάφορους τρόπους, με απλούστερη τη διαδικασία κατά την οποία ιζηματογενή πετρώματα, τα οποία περικλείουν κάποιο πέτρωμα-κάλυμμα, αναδιπλώνονται σε αντίκλινο, που θεωρείται και η καλύτερη περιοχή για την αναζήτηση πετρελαίου (Σχήμα 1.3).

Συνήθως, το πετρέλαιο ρέει προς τα άνω υπό την επίδραση της πίεσεως του φυσικού αερίου αλλά και του νερού. Για να μπορεί να εκτιμηθεί η ύπαρξη των πιθανών σημείων όπου υφίσταται το υπόγειο αργό πετρέλαιο χρησιμοποιούνται τεχνικές με βαρύμετρα και μαγνητόμετρα. Εναλλακτικά, χρησιμοποιούνται σειсмоγράφοι και η αποστολή ηχητικών σημάτων.

Σε πρώτο στάδιο, ερευνώνται τα υφιστάμενα γεωλογικά στοιχεία. Εφόσον αυτά αποδειχθούν θετικά, ξεκινούν οι συστηματικές γεωφυσικές ερευνητικές διαδικασίες. Το πετρέλαιο εντοπίζεται με χερσαία ή υποθαλάσσια διάτρηση του εδάφους (γεώτρηση) και, εφόσον αξιολογηθεί ως οικονομικά βιώσιμη η εκμετάλλευση του κοιτάσματος, ακολουθεί η κατασκευή των εγκαταστάσεων αντλήσεως. Η ποσοτική ανάκτηση του αργού πετρελαίου από ένα δεδομένο κοίτασμα πραγματοποιείται ως ακολούθως:

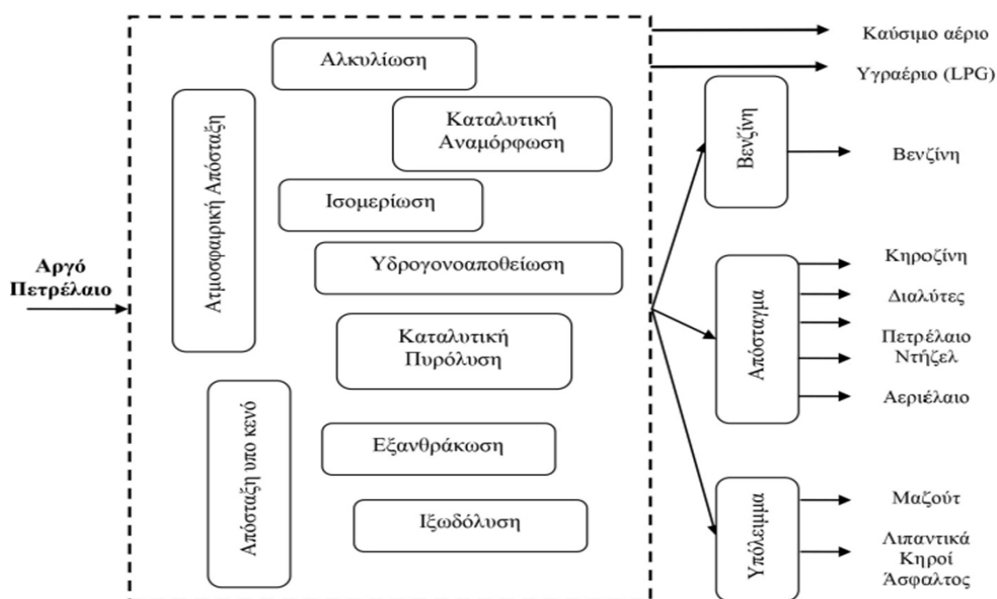
1. Με φυσική ροή του πετρελαίου προς την επιφάνεια του εδάφους εξαιτίας της πίεσης των αερίων υδρογονανθράκων ή του νερού.
2. Με τεχνητή ροή (δευτερογενή ανάκτηση), αφού τροφοδοτηθούν και ελαφρά κλάσματα του αργού πετρελαίου μαζί με τα αέρια και με τασιενεργές ουσίες, ούτως ώστε να επιταχυνθεί η έκπλυση των πετρωμάτων.

1.1.3 Διακίνηση – Επεξεργασία

Το πετρέλαιο αποθηκεύεται σε κατάλληλες δεξαμενές περιστρεφόμενων περυγιών, που εξυπηρετούν την απομάκρυνση των διαλελυμένων αερίων. Απομακρύνονται το περιεχόμενο νερό και οι περιεχόμενες στερεές ουσίες. Ακολούθως, πραγματοποιείται η μεταφορά του σε σημεία διύλισης (επεξεργασίας) διά μέσου πετρελαιαγωγών, δεξαμενοπλοίων ή φορηγών. Κατά τα τελευταία έτη λαμβάνονται αρκετά αυστήρα μέτρα με στόχο την προστασία των οικοσυστημάτων, ιδίως των θαλάσσιων, από τη διαρροή πετρελαίου, καθώς η τελευταία μπορεί να αποβεί ιδιαίτερα καταστροφική από περιβαλλοντική άποψη. Η μεταφορά πετρελαίου διά μέσου αγωγών χαρακτηρίζεται από σχετικά χαμηλό λειτουργικό κόστος και ταχύτητα, ενώ δεν επηρεάζεται από τις κλιματικές συνθήκες. Εν τούτοις, η κατασκευή των αγωγών απαιτεί σημαντικό πάγιο κόστος, δεν είναι

ευέλικτη, ενώ μπορεί να επηρεάζεται από τις εκάστοτε γεωπολιτικές συνθήκες. Αντίθετα, η χρήση μεγάλων δεξαμενοπλοίων εμφανίζει ευελιξία ως προς τις διακυμάνσεις της ζήτησης, ενώ από την άποψη του πάγιου κόστους και των αποσβέσεων μπορεί να είναι περισσότερο ελκυστική, ικανοποιώντας τη ζήτηση μεγάλων ποσοτήτων αργού πετρελαίου. Τέλος, το πετρέλαιο μπορεί να μεταφερθεί χερσαία με βυτιοφόρα ή με τη χρήση του σιδηροδρομικού δικτύου. Η χρήση των βυτιοφόρων αναφέρεται ως ιδανική για μεταφορά σε μικρές αποστάσεις, ενώ μπορεί να είναι ενίοτε οικονομικά βιώσιμη και για μεταφορά σε μεγάλες αποστάσεις [16].

Η βασική πρόσμιξη του εισερχόμενου στο διυλιστήριο πετρελαίου είναι το νερό, εντός του οποίου βρίσκονται διαλελυμένα διάφορα άλατα. Η παρουσία των αλάτων συνεπάγεται επικαθίσεις που είναι δυνατόν να επιφέρουν έμφραξη των αγωγών και απελευθέρωση HCl και, ως εκ τούτου, διάβρωση μεταλλικών επιφανειών. Κατά συνέπεια, η περιεκτικότητα του πετρελαίου σε νερό δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 0,2% κ.β. και η συγκέντρωση των αλάτων δεν θα πρέπει να είναι πάνω από 2 mg/L. Η απομάκρυνση λαμβάνει χώρα συνήθως στο σημείο εξόρυξης με εφαρμογή θερμικής, χημικής, θερμοχημικής ή ηλεκτρικής μεθόδου.



Σχήμα 1.5 Διάγραμμα ροής τυπικού διυλιστηρίου

Ως διύλιση νοείται το σύνολο των φυσικοχημικών διεργασιών που αποσκοπούν στον διαχωρισμό του ανεπεξέργαστου πετρελαίου σε κλάσματα με διαφορετικό μοριακό βάρος, η μετατροπή των κλασμάτων ή ο εξευγενισμός των κλασμάτων με στόχο την απομάκρυνση ακαθαρσιών. Ένα διυλιστήριο περιλαμβάνει μία ποικιλία διεργασιών και συνεπάγεται την παραγωγή μιας πληθώρας προϊόντων [26]. Ενδεικτικό διάγραμμα ροής ενός τυπικού διυλιστηρίου παρατίθεται στο παραπάνω Σχήμα 1.5.

1.2 Φυσικό αέριο

1.2.1 Χημικές ιδιότητες

Το φυσικό αέριο είναι ένα μείγμα ελαφρών παραφινικών υδρογονανθράκων και περιέχει ως κύρια συστατικά μεθάνιο και αιθάνιο και ως δευτερεύοντα συστατικά προπάνιο και αλκάνια μεγαλύτερου μοριακού βάρους. Ενίοτε στο αέριο μείγμα περιέχονται σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα και υδρόθειου που απομακρύνονται πριν τη διοχέτευσή του στην αγορά. Η σύστασή του εξαρτάται σημαντικά από το αν συναντάται σ' ένα κοίτασμα ως ανεξάρτητος ορυκτός πόρος, ως υπερκείμενο αέριο ή ως παρελκόμενο αέριο [25].

Συστατικό	Ανεξάρτητο φυσικό αέριο		Παρελκόμενο φυσικό αέριο		
	Lacq (Γαλλία)	Frigg (Νορβηγία)	Darentis (Γαλλία)	Ekofisk (Νορβηγία)	Kirkuk (Ιράκ)
Μεθάνιο	69.0	95.7	73.6	83.3	56.9
Αιθάνιο	3.0	3.6	10.2	8.5	21.2
Προπάνιο	0.9	-	7.6	3.4	6.0
Βουτάνια	0.5	-	5.0	1.5	3.7
C ₅ +	0.5	-	3.6	1.0	1.6
Άζωτο	1.5	0.4	-	0.3	-
Υδρόθειο	15.3	-	-	-	3.5
Διοξείδιο του άνθρακα	9.3	0.4	-	2.0	7.1

Πίνακας 1.2 Σύσταση διαφόρων ειδών φυσικού αερίου που ανήκουν στις κατηγορίες του ανεξάρτητου και του παρελκόμενου φυσικού αερίου (Βασάλος & Λεμονίδου, 2009).

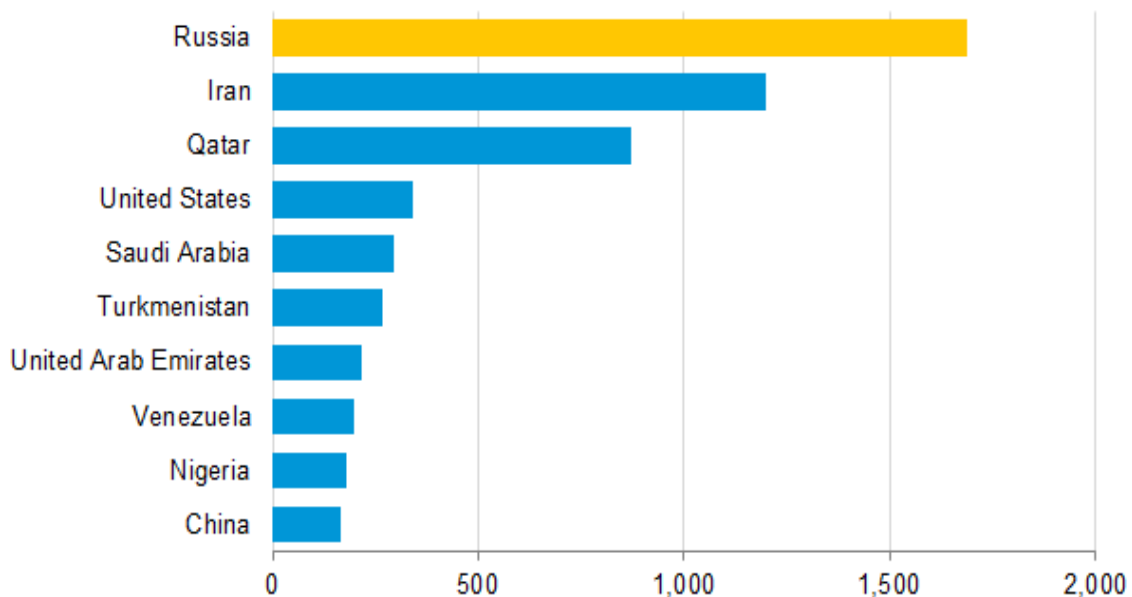
Στον Πίνακα 1.2 δίνονται παραδείγματα «ανεξάρτητου» και «παρελκόμενου» φυσικού αερίου (υπερκείμενου ή διαλελυμένου εντός του αργού πετρελαίου). Διαπιστώνεται ότι στην πρώτη περίπτωση το αέριο μείγμα χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη συγκέντρωση στα δύο ελαφρύτερα αλκάνια, ενώ η σύσταση του παρελκόμενου φυσικού αερίου χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη περιεκτικότητα προπανίου και βουτανίου [24].

Σε ό,τι αφορά τις ιδιότητές του το εν λόγω μείγμα αποτελεί ένα μη τοξικό, άοσμο και άχρωμο μείγμα πυκνότητας περίπου 460 kg/m³. Εμφανίζει μικρή ταχύτητα φλόγας και υψηλό ποσοστό αναφλεξιμότητας στον αέρα. Αυτή ακριβώς η μεγάλη τάση αυτανάφλεξης είναι ένα από τα πλέον

επικίνδυνα χαρακτηριστικά του. Το καθαρισμένο φυσικό αέριο είναι μη διαβρωτικό μείγμα και σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από -110°C είναι αρκετά ελαφρύτερο σε σχέση με τον ατμοσφαιρικό αέρα, σε αντίθεση με το αιθάνιο, το προπάνιο και το βουτάνιο. Καθώς το μεθάνιο δεν μπορεί να υγροποιηθεί διά απλής συμπίεσης (σε αντίθεση με το αιθάνιο, το προπάνιο και το βουτάνιο), θα πρέπει να ψυχθεί σε θερμοκρασία -161°C , όπου ο όγκος του μειώνεται περίπου κατά 600 φορές. Επιπλέον, το μεθάνιο εμφανίζει σχετικά χαμηλή ανώτερη θερμογόνο δύναμη (9.497 kcal/m^3 σε κανονικές συνθήκες), ενώ απαιτεί τη μικρότερη ποσότητα αέρα για πλήρη καύση εν σχέσει με άλλες οργανικές ουσίες. Επιπροσθέτως, η παραγόμενη από την καύση θερμότητα ανά μονάδα βάρους μεθανίου είναι μεγαλύτερη σε σχέση με την αντίστοιχη θερμότητα που προκύπτει από την καύση στερεών και υγρών υδρογονανθράκων (55.600 kJ/kg έναντι 35.000 kJ/kg του άνθρακα και 46.000 kJ/kg των κλασμάτων πετρελαίου) [10].

1.2.2 Κοιτάσματα-εξόρυξη

Τα αποθέματα του φυσικού αερίου σε διεθνές επίπεδο είναι αξιόλογα (Σχήμα 1.4), ενώ η διεθνής παραγωγή αυξάνεται ταχύτατα κατά τα τελευταία σαράντα έτη. Σε αυτό έχει συμβάλει η τεχνολογική πρόοδος που επιτρέπει γεωτρήσεις σε μεγαλύτερα βάθη, αλλά και καθιστούν εφικτά μεγαλύτερα επίπεδα ασφαλείας.



Σχήμα 1.4 Εκτιμώμενα αποθέματα φυσικού αερίου σε χώρες με τους μεγαλύτερους αποταμιευτήρες το 2014

Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την εξεύρεση και την παραγωγή φυσικού αερίου είναι παρόμοιες με εκείνες του φυσικού αερίου.

Αν και ο μηχανισμός με τον οποίον έχει σχηματιστεί το φυσικό αέριο στο υπέδαφος είναι κατά βάση παρόμοιος με τον μηχανισμό σχηματισμού των υγρών υδρογονανθράκων [10], αξίζει να αναφερθεί ότι το φυσικό αέριο σε ένα κοίτασμα συναντάται ως εξής:

1. Ως ανεξάρτητο αέριο που δεν ευρίσκεται σε άμεση επαφή με το πετρέλαιο (non-associated gas)
2. Ως υπερκείμενο αέριο ακριβώς πάνω από ένα κοίτασμα υγρών υδρογονανθράκων (gas-cap).
3. Ως παρελκόμενο αέριο, διαλελυμένο εντός της μάζας των υγρών υδρογονανθράκων (associated gas).

1.2.3 Διακίνηση-Επεξεργασία

Εν αντιθέσει με το αργό πετρέλαιο, το οποίο αξιοποιήθηκε ευρέως ήδη από το 1859, η χρήση του φυσικού αερίου διαδόθηκε μόλις κατά τη δεκαετία του 1960. Βασικός λόγος αυτής της καθυστέρησης υπήρξε η δυσκολία μεταφοράς του από το σημείο εξορύξεως στο σημείο κατανάλωσης, αφού για τη βιώσιμη εκμετάλλευση του εν λόγω καυσίμου χρειάζεται να κατασκευαστούν εκτεταμένα δίκτυα μεταφοράς ή να μετατραπεί σε υγροποιημένη μορφή, ώστε να μεταφερθεί με δεξαμενόπλοια (πρωτίστως), φορτηγά ή τρένα. Μόλις κατά τα τελευταία σαράντα έτη κατέστη δυνατή η οικονομικά βιώσιμη μεταφορά του φυσικού αερίου.

Αρχικά, το φυσικό αέριο μεταφέρεται σε κατάλληλη εγκατάσταση επεξεργασίας όπου απομακρύνονται συμπυκνωμένα συστατικά, όπως νερό, πετρέλαιο, ιλύς και άλλα αέρια (κυρίως υδροθείο και διοξείδιο του άνθρακα), καθώς και υδράργυρος, σε εναλλάκτη θερμότητας.

Κατόπιν, το αέριο μείγμα ψύχεται σταδιακά μέχρι να υγροποιηθεί [8].

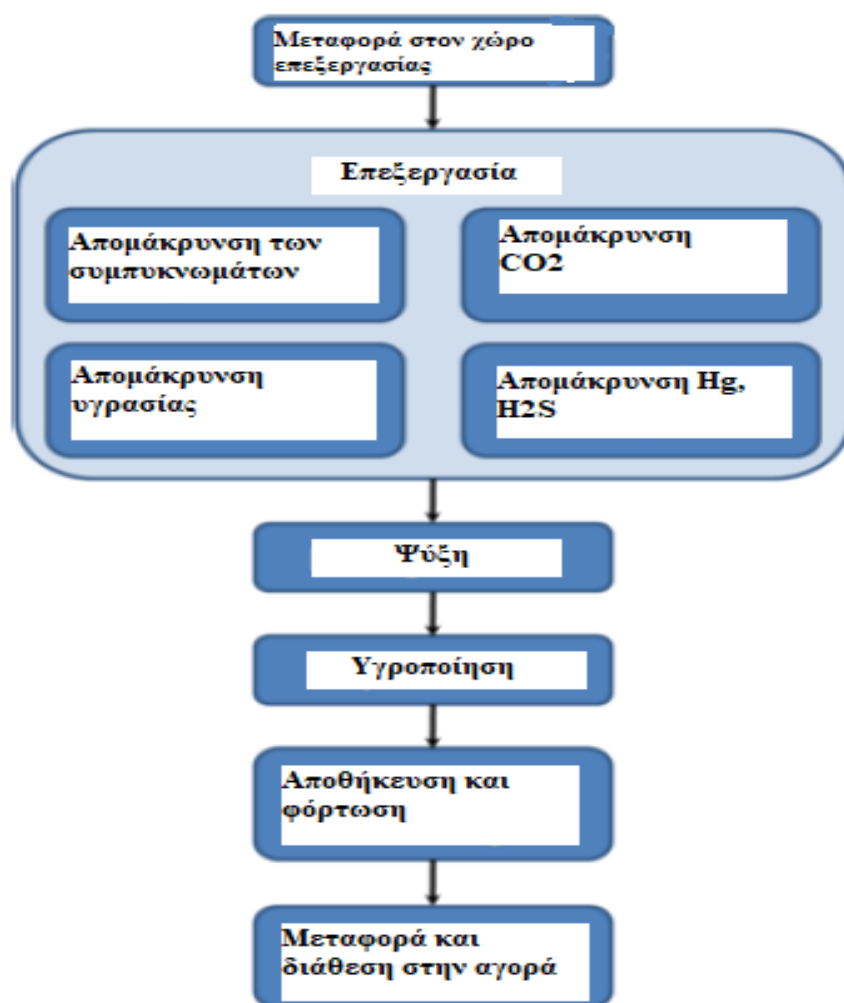


Σχήμα 1.6 Δεξαμενόπλοιο μεταφοράς LNG

Σε επόμενο στάδιο, το LNG αποθηκεύεται σε ειδικές δεξαμενές που μπορούν να φορτωθούν σε πλοίο (Σχήμα 1.6). Ο όγκος του φυσικού αερίου μειώνεται κατά τέτοιον τρόπο, ώστε η ενεργειακή πυκνότητα του LNG είναι 2 έως 4 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με εκείνη του ντίζελ.

Συγκριτικά με τους αγωγούς μεταφοράς και διανομής φυσικού αερίου σε μεγάλες αποστάσεις τα δεξαμενόπλοια μεταφοράς LNG έχουν τη δυνατότητα μεταφοράς μεγάλων ποσοτήτων του εν λόγω καυσίμου (γύρω στα 160.000 m³).

Παρόλα αυτά το κόστος ναυπηγήσεως ενός τέτοιου πλοίου (LNG) είναι αρκετά υψηλό. Πιο συγκεκριμένα ενδέχεται να αγγίξει ακόμα και το ποσό της τάξης των 200-250 εκατομμυρίων δολαρίων. Ποσό το οποίο είναι αρκετά μεγαλύτερο από το αντίστοιχο που θα απαιτούνταν για την ναυπήγηση ενός οποιουδήποτε άλλου πλοίου ικανό για μεταφορά καυσίμων της ίδιας χωρητικότητας.



Σχήμα 1.7 Στάδια διαχείρισης LNG

Η διαχείριση του φυσικού αερίου από τη μεταφορά του στο σημείο επεξεργασίας έως την εμπορία του απεικονίζεται στο Σχήμα 1.7. Εκτός από τις εγκαταστάσεις αποθήκευσης, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει και η λειτουργία εγκαταστάσεων εκφόρτωσης, επανεξάτμισης (σε παράκτιο τερματικό σταθμό LNG) και εισαγωγής του καυσίμου στο δίκτυο μεταφοράς.

1.4 O.P.E.C

Ο Οργανισμός Πετρελαιογαγών Χωρών (O.P.E.C) είναι ένας διεθνής οικονομικός οργανισμός που ιδρύθηκε το 1960 στη Βαγδάτη από το Ιράκ, το Ιράν, τη Σαουδική Αραβία, το Κουβέιτ και τη Βενεζουέλα, δηλαδή από χώρες που αποτελούν σημαντικούς παραγωγούς και εξαγωγείς αργού πετρελαίου.

Στόχος της δημιουργίας του οργανισμού ήταν η καθιέρωση μιας ενιαίας πετρελαϊκής πολιτικής μεταξύ των προαναφερθέντων κρατών και η θέσπιση κατάλληλων μέτρων προστασίας των οικονομικών τους συμφερόντων. Με αυτόν τον τρόπο, επιχειρήθηκε να αποφευχθούν οι μεγάλες διακυμάνσεις των τιμών των ορυκτών καυσίμων, που θα μπορούσαν να επιφέρουν αρνητικές συνέπειες στα κράτη-μέλη και τη διεθνή πετρελαϊκή βιομηχανική ανάπτυξη. Στον O.P.E.C εισήλθαν αργότερα και η Αλγερία, η Γκαμπόν, ο Ισημερινός, το Κατάρ (έως το 2019), η Λιβύη, η Ινδονησία (έως το 2008), η Νιγηρία, η Ισημερινή Γουινέα, η Δημοκρατία του Κονγκό και η Ανγκόλα.

Τα κύρια όργανα του O.P.E.C είναι η Συνέλευση, η Γραμματεία και η Επιτροπή των Κυβερνητών. Η Γραμματεία του O.P.E.C εδρεύει στη Βιέννη και αποτελεί μόνιμο διακυβερνητικό σώμα ερευνητικής και διοικητικής υποστήριξης κατά τη διάρκεια των συναντήσεων των κρατών-μελών του O.P.E.C.

Οι υπουργοί των χαρτοφυλακίων Ενέργειας και Υδρογονανθράκων των κρατών-μελών, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για ενεργειακά ζητήματα, συμμετέχουν σε κοινές συναντήσεις δύο φορές ετησίως για να αξιολογήσουν τη διεθνή αγορά αργού πετρελαίου, αλλά και για να προβούν σε εκτιμήσεις, αναφορικά με τις ενέργειες που θα διατηρήσουν τη σταθερότητα της αγοράς.

Οι σχετικές αποφάσεις λαμβάνονται κατά τη διάρκεια διάσκεψης των κρατών-μελών του O.P.E.C και γίνονται γνωστές στο ευρύ κοινό μέσω δελτίων τύπου που ανακοινώνονται από τα μέσα μαζικής ενημέρωσης [15].

Τα κράτη-μέλη του O.P.E.C προβαίνουν σε συντονισμό των πολιτικών τους για την παραγωγή πετρελαίου, με τέτοιο τρόπο, ώστε να ανταποκρίνονται στις όποιες αποφάσεις του Οργανισμού και να επιτευχθεί ο απώτερος σκοπός, που είναι η αύξηση του κέρδους. Ειδικότερα, τα κράτη-μέλη (που είναι στην ουσία οι πετρελαιοπαραγωγοί) συντονίζουν τα ποσοστά παραγωγής τους, αποβλέποντας στη σταθεροποίηση της αγοράς αργού πετρελαίου προς όφελός τους, αλλά και ενισχύοντας τις εταιρείες που έχουν επενδύσει στο συγκεκριμένο παραγωγικό τομέα. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται προσπάθεια να βοηθηθούν οι επενδυτικές εταιρείες, ώστε να επιτύχουν μια ικανοποιητική απόδοση των σχετικών επενδύσεων που πραγματοποίησαν στην πετρελαϊκή αγορά, καθώς και ένα ποσοστό επιστροφής των επενδύσεων που έκαναν στον εν' λόγω τομέα.

2 ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ

2.1 Πετρέλαιο ναυτιλίας (MGO)

Στα ναυτιλιακά καύσιμα περιλαμβάνονται τα υγρά παράγωγα του πετρελαίου που αξιοποιούνται από τους κινητήρες των πλοίων για τη λειτουργία τους. Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 8217 μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο βασικές ομάδες, αναλόγως των φυσικών ιδιοτήτων τους και του τρόπου με τον οποίον μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

Ειδικότερα, ανάλογα με τις οικονομικές και λειτουργικές παραμέτρους της χρήσης τους, οι νηξελοκινητήρες των πλοίων καταναλώνουν είτε παράγωγα και των δύο κατηγοριών, εναλλάξ, είτε μείγματα αυτών.

Το MGO είναι το ντήζελ ή πετρέλαιο εσωτερικής καύσης ή πετρέλαιο ναυτιλίας που αρχικά αποτελούσε το μόνο καύσιμο το οποίο αξιοποιείτο στους νηξελοκινητήρες, εξαιτίας του μικρού ιξώδους του, που καθιστούσε εφικτό τον καλύτερο ψεκασμό του καυσίμου, αλλά και του μεγάλου βαθμού της καθαρότητάς του, που εξασφάλιζε ότι η καύση του δεν δημιουργούσε ανεπιθύμητα κατάλοιπα.

Το πετρέλαιο ναυτιλίας συνιστά απόσταγμα καθαρού αργού πετρελαίου και ένα από τα πλέον ποιοτικά και δαπανηρά καύσιμα που χρησιμοποιούνται στις μηχανές εσωτερικής καύσης. Το MGO χαρακτηρίζεται από τη μικρότερη περιεκτικότητα σε θείο εν σχέσει με τα υπόλοιπα υγρά ναυλιακά καύσιμα [26].

Ουσιαστικά, το ντήζελ συνιστά ένα κλάσμα που προκύπτει από απόσταξη του αργού πετρελαίου σε όρια σημείων ζέσεως περίπου από 200°C έως 360°C. Στις περισσότερες περιπτώσεις δεν χρειάζεται περαιτέρω επεξεργασία και αξιοποιείται όπως παραλαμβάνεται από την αποστακτική στήλη.

Συνήθως με τον όρο «ντήζελ ναυτιλίας» (marine gasoil, MGO) γίνεται λόγος για την κλάση DMA κατά την κατηγοριοποίηση ISO 8217. Το MGO αντιστοιχεί σε ένα καθαρό παράγωγο υψηλής ποιότητας και αξιοποιείται σε μηχανές μικρού μεγέθους που διαθέτουν όγκο εμβολισμού ανά κύλινδρο μικρότερο από 5L. Το συγκεκριμένο είδος καυσίμου απαγορεύεται να περιέχει υπολειμματικό πετρέλαιο, ενώ ενδέχεται να περιλαμβάνει και προϊόν καταλυτικής πυρόλυσης.

Με στόχο τη συμμόρφωση του τομέα της ναυτιλίας με τους νέους περιβαλλοντικούς κανονισμούς, διατίθενται τύποι του καυσίμου που χαρακτηρίζονται από μειωμένη περιεκτικότητα σε θείο, ύστερα από κατάλληλη αποθείωση όπως το:

1. Low Sulfur MGO (LSMGO), περιεκτικότητας σε θείο μικρότερης του 0.1% κ.β.
2. Ultra Low Sulfur MGO (ULSMGO), περιεκτικότητας σε θείο μικρότερης του 0.001% κ.β.

Στον παρακάτω Πίνακα 2.1 παρουσιάζονται οι προδιαγραφές, δηλαδή οι αναγκαίες κατ' ελάχιστο (min) ή κατά μέγιστο (max) τιμές των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του MGO (DMA), σύμφωνα με το πρότυπο ISO 8217.

Ιδιότητα	Όριο	Τιμή
Πυκνότητα (15°C)	max	890 kg/m ³
Ιξώδες (40 °C)	max / min	6 mm ² /s / 1.5 mm ² /s
Θείο	max	1.5% κ.β.
Σημείο ανάφλεξης	min	60°C
Σημείο ροής, καλοκαίρι	max	0°C
Σημείο ροής, χειμώνας	max	-6°C
Αριθμός κετανίου	min	40

Πίνακας 2.1 Προδιαγραφές MGO (DMA) κατά ISO 8217.

2.2 Πετρέλαιο ναυτιλίας (MDO)

Πρόκειται ουσιαστικά για μια κατηγορία ναυτιλιακού ντήζελ (κλάση DMB κατά ISO 8217). Το εν λόγω ναυτιλιακό καύσιμο είναι πιθανόν να περιέχει ορισμένα ίχνη υπολειμματικού πετρελαίου, π.χ. κατόπιν επιμόλυνσης κατά την πραγματοποίηση των διαδικασιών μεταφοράς του. Πρόκειται ουσιαστικά για ένα ακόμη απ τα λεγόμενα συμβατικά καύσιμα (π.χ MGO) αλλά όμως στην συγκεκριμένη περίπτωση μιλάμε για ένα πιο ελαφρύ καύσιμο που παράγεται από βαριά αποστάγματα. Εν συγκρίσει με το MGO χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη πυκνότητα, μικρότερο αριθμό κετανίου, αλλά και μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε προϊόν καταλυτικής πυρόλυσης. Η αξιοποίησή του λαμβάνει χώρα σε νηζελοκινητήρες με όγκο εμβολισμού ανά κύλινδρο μεγαλύτερο από 5L. Οι σχετικές προδιαγραφές του MDO κατά ISO 8217 παρατίθενται στον παρακάτω Πίνακα 2.2.

Ιδιότητα	Τιμή
Πυκνότητα (15°C)	< 900 kg/m ³
Ιξώδες (40°C)	2-11 mm ² /s
Σημείο ροής (καλοκαίρι)	< 0°C
Σημείο ροής (χειμώνας)	< 6°C
Σημείο ανάφλεξης	> 60°C
Ίζημα	< 0.1 κ.β.
Νερό	< 0.3 κ.ό.
Θείο	< 2.0 κ.β.
Τέφρα	< 0.01% κ.β.
Υπολειμματικός άνθρακας	< 0.30% κ.β.
Αριθμός κετανίου	> 35
Υδροθείο	2 mg/kg
Οξύτητα	0.5 mg KOH/g
Οξειδωτική σταθερότητα	25 g/m ³

Πίνακας 2.2 Προδιαγραφές MDO (DMB) κατά ISO 8217 (Βολογιάννης, 2017).

Το MDO, αποκαλούμενο και «ντήζελ ναυτιλίας αποστάγματος», χρησιμοποιείται ευρέως από τις ντηζελομηχανές μεσαίων ταχυτήτων και μεσαίων/υψηλών ταχυτήτων. Αξιοποιείται δε στις μεγάλες μηχανές πρόωσης μικρών και μεσαίων ταχυτήτων οι οποίες συνήθως χρησιμοποιούν υπολειμματικά καύσιμα (residual fuel).

Σε διεθνές επίπεδο το MDO έχει θεωρηθεί υπεύθυνο για την πρόκληση ατμοσφαιρικής ρύπανσης, εξαιτίας της περιεκτικότητάς του σε θείο, με αποτέλεσμα αρκετά κράτη και πολλοί οργα-

νισμοί να έχουν θεσπίσει ρυθμίσεις και ανάλογους νόμους που αφορούν τη χρήση του. Ωστόσο, λόγω της χαμηλότερης τιμής του συγκριτικά με πιο εξευγενισμένα καύσιμα, η χρήση του MDO ευνοείται από τις ναυτιλιακές εταιρείες. Σημειώνεται δε ότι τα καύσιμα τύπου MDO χαρακτηρίζονται από μικρότερη περιεκτικότητα σε θείο σε σχέση με τα καύσιμα HFO, αλλά από μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε θείο συγκριτικά με τα MGO.

Ειδικότερα, στο διωλιστήριο το MDO προκύπτει από τις διεργασίες καταλυτικής πυρόλυσης και ιξωδόλυσης. Κατά την καταλυτική πυρόλυση τα μεγάλα οργανικά μόρια διασπώνται σε μικρότερα σε υψηλή θερμοκρασία κατά τη διάρκεια καταλυτικής αντίδρασης, ενώ κατά την ιξωδόλυση το προϊόν πυθμένα της μονάδας κενού, που εμφανίζει πολύ υψηλό ιξώδες, μετατρέπεται σε μείγμα με μικρότερο ιξώδες, το οποίο έχει εμπορική αξία κατά τη διάρκεια μίας διεργασίας ήπιας θερμικής πυρόλυσης.

Όσον αφορά το κομμάτι του περιβαλλοντικού αντίκτυπου του πετρελαίου ναυτιλίας (MDO), η επιλογή χρήσης του, συνεπάγεται αύξηση βλαβερών ρύπων συγκριτικά με άλλες μορφές υγρών καυσίμων όπως (π.χ LNG) στην ατμόσφαιρα.

2.3 Υγραέριο (LPG)

Το υγροποιημένο αέριο πετρελαίου (Liquefied Petroleum Gas – LPG) ή κοινώς, υγραέριο, περιλαμβάνει ελαφρούς υδρογονάνθρακες και πιο συγκεκριμένα, προπάνιο, βουτάνιο προπένιο (προπυλένιο), κανονικό βουτάνιο, ισοβουτάνιο, ισοβουτυλένιο, βουτένιο (βουτυλένιο) και αιθάνιο ή μείγματα αυτών. Οι υδρογονάνθρακες αυτοί είναι σε κανονικές συνθήκες περιβάλλοντος αέρια, τα οποία συνήθως υγροποιούνται υπό πίεση για τη μεταφορά και αποθήκευση. Το LPG, το υγροποιημένο βουτάνιο που περιέχεται στις γνωστές φιάλες camping gaz, και το φωταέριο το οποίο αποτελείται από υγροποιημένα αέρια προερχόμενα από απόσταξη λιθάνθρακα είναι γνωστοί τύποι υγραερίων.

Ουσιαστικά δηλαδή το LPG είναι μίγμα προπανίου και βουτανίου το οποίο είτε προέρχεται από το αργό πετρέλαιο είτε προέρχεται από την ξήρανση του φυσικού αερίου. Η αναλογία προπανίου-βουτανίου μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την εποχή, πιο πολύ προπάνιο το χειμώνα, πιο πολύ βουτάνιο το καλοκαίρι. Συνήθως προστίθεται σε μικρή αναλογία κάποιο συστατικό με πολύ ισχυρή οσμή ώστε να είναι εύκολα ανιχνεύσιμες τυχόν διαρροές. Είναι ένα ιδιαίτερα εύφλεκτο προϊόν (όπως όλοι οι υδρογονάνθρακες) και επιπλέον όταν είναι υγροποιημένο υπό πίεση υπάρχει ο κίνδυνος έκρηξης από απότομη εκτόνωση. Ως εκ τούτου, ισχύουν αυστηρές προδιαγραφές και κανονισμοί για τον χειρισμό, αποθήκευση και διάθεση του. Χρησιμοποιείται ως καύσιμο, και θε-

ωρείται πιο «καθαρό» από τους υγρούς υδρογονάνθρακες διότι έχει μεγαλύτερη αναλογία υδρογόνου-άνθρακα και άρα μικρότερες εκπομπές CO₂. Επίσης χρησιμοποιείται ως ψυκτικό εργαζόμενο μέσο σε βιομηχανικά συστήματα ψύξης.

Κατά τα τελευταία έτη, εξαιτίας κυρίως των οικονομικών δεδομένων, το αέριο αυτό παράγωγο έχει αρχίσει να διαδίδεται ευρύτατα σε αρκετές χώρες και η χρήση του να διευρύνεται συνεχώς. Ως αέριο καύσιμο, η χρήση του συνεπάγεται περισσότερους πιθανούς κινδύνους σε σχέση με τα υγρά καύσιμα, μιας και είναι άχρωμο, άοσμο και μπορεί να διαρρεύσει στην ατμόσφαιρα, παραμένοντας μάλιστα στα κατώτερα επίπεδά της ως βαρύτερο του αέρα. Συνεπώς, η χρήση του προϋποθέτει την εγκατάσταση κατάλληλων συστημάτων ασφαλείας.

Ακόμη, το LPG χαρακτηρίζεται από μικρότερη ενεργειακή πυκνότητα σε σχέση με το ντίζελ, ενώ είναι και φθηνότερο (κυρίως σε ό,τι αφορά τα τέλη), γεγονός που το καθιστούν οικονομικά ελκυστικότερο. Επίσης, το υγραέριο από περιβαλλοντικής σκοπιάς, είναι πιο φιλικό έναντι των υπόλοιπων καυσίμων, ως προς τον περιορισμό του παγκόσμιου αποτυπώματος άνθρακα. Η αιθάλη (black carbon) που παράγεται κατά την καύση των ορυκτών, αποτελεί το δεύτερο μεγαλύτερο παράγοντα ανάπτυξης του φαινομένου του θερμοκηπίου. Ωστόσο, η ποσότητα της αιθάλης που παράγεται από την καύση του υγραερίου είναι πολύ αμελητέα. Δεδομένων, λοιπόν, των πλεονεκτημάτων, τόσο σε οικονομικό, όσο και σε περιβαλλοντικό επίπεδο, το υγραέριο αξιοποιείται ευρέως σε διάφορες χρήσεις στη στεριά, όπως για παράδειγμα μαγείρεμα, φωτισμό, συγκολλήσεις, κοπή μετάλλων, παραγωγή ζεστού νερού και άλλες χρήσεις.

Πέρα από τα ελκυστικά οικονομικά του χαρακτηριστικά, η ανάγκη συμμόρφωσης με τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς αποτελεί έναν επιπλέον παράγοντα για την αξιοποίησή του στον τομέα της ναυτιλίας. Η χρήση του στη ναυτιλία περιορίζονταν μέχρι πρόσφατα σε μικρά σκάφη, όπως εμπορικά σκάφη μικρής χωρητικότητας. Ωστόσο, το υγραέριο (LPG) πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο κύριας μηχανής στα δύο νεότευκτα Very Large Gas Carriers (VLGC) της εταιρείας Exmar.

Πιο συγκεκριμένα, τα δύο πλοία πρόκειται να κατασκευαστούν από τη Hanjin Heavy Industries & Construction στις Φιλιππίνες, με την παράδοσή τους να είναι προγραμματισμένη για το τρίτο τρίμηνο του 2020. Τα πλοία έχουν ναυλωθεί για μεγάλο χρονικό διάστημα στην Statoil ASA για τη μεταφορά LPG σε όλο τον κόσμο.

Η εξέλιξη αυτή είναι αποτέλεσμα της δέσμευσης της Statoil ASA για βελτίωση της αειφόρου απόδοσης των δραστηριοτήτων της, καθώς και της μακροχρόνιας συνεργασίας της Exmar με το

νηογνώμονα Lloyds Register και την MAN Diesel & Turbo για την ανάπτυξη ενός αποδοτικού συστήματος καυσίμου LPG, το οποίο θα επιτρέπει μέρος του φορτίου να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόωση του πλοίου.

Τέλος, σύμφωνα με την Exmar, μεταξύ των πλεονεκτημάτων του καυσίμου LPG είναι το ότι δεν περιέχει θείο, μειώνει σημαντικά τις εκπομπές CO₂ και NO_x, ενώ ακόμη οι εκπομπές σωματιδίων μειώνονται σχεδόν κατά το ήμισυ σε σύγκριση με έναν κανονικό κινητήρα πετρελαίου [32].

2.4 Μαζούτ ναυτιλίας (HFO)

Στη δεύτερη γενική κατηγορία των υγρών ναυτιλιακών καυσίμων εντάσσεται το πετρέλαιο μαζούτ, γνωστό και ως υπολειμματικό πετρέλαιο (residual fuel oil, RFO) ή υπόλειμμα απόσταξης, καθώς παραλαμβάνεται από τον πυθμένα της αποστακτικής στήλης ενός διυλιστηρίου. Σε πρώτο στάδιο, το υπολειμματικό πετρέλαιο αξιοποιείται για την τροφοδοσία των λεβήτων, εξοβελίζοντας τον άνθρακα στις ατμομηχανές.

Συνιστά το πλέον βαρύ των κλασμάτων του πετρελαίου και η ορθή ροή του στις διάφορες δεξαμενές προϋποθέτει την κατάλληλη προθέρμανσή του. Το RFO υστερεί από άποψη ποιότητας έναντι του ντήζελ, ενώ η καύση του συνεπάγεται την εκπομπή σημαντικών ποσοτήτων ατμοσφαιρικών ρύπων, όπως διοξειδίου του θείου. Η κατανάλωσή του προτιμάται συνήθως εξαιτίας του κόστους για την προμήθειά του, που είναι το μικρότερο σε σχέση με τα υπόλοιπα ναυτιλιακά καύσιμα. Είναι γεγονός ότι στις σύγχρονες μονάδες διύλισης πετρελαίου οι ποσότητες των υπολειμμάτων της ατμοσφαιρικής απόσταξης είναι μικρές εξαιτίας της επιπλέον επεξεργασίας που υφίστανται με στόχο την αύξηση των παραγόμενων ποσοτήτων ποιοτικών και περισσότερο φιλικών προς το περιβάλλον παραγώγων.

Το RFO χρησιμοποιείται για την παρασκευή του βαρέος ναυτιλιακού καυσίμου ή του μαζούτ ναυτιλίας, το HFO (heavy fuel oil), αλλά και μικρή ποσότητα άλλων κλασμάτων, αναλόγως του ιξώδους που πρέπει να επιτευχθεί βάσει σχετικών προδιαγραφών. Πρόκειται για ένα μείγμα του οποίου κύρια συστατικά είναι τα αλκάνια, τα κυκλοαλκάνια και διάφορα υδρίδια, ενώ το εύρος των σημείων ζέσεως είναι μεταξύ 300°C και περίπου 700°C. Το HFO είναι ένα μαύρο και ιδιαίτερα παχύρρευστο υγρό σε συνθήκες περιβάλλοντος, με αποτέλεσμα να πρέπει να διατηρείται σε θερμοκρασία ίση ή μεγαλύτερη των 40°C για να μπορεί να αντληθεί και να ρέει εύκολα στις σωληνώσεις.

Ιδιότητα	Όριο	Τιμή
Ιξώδες (50 °C)	max	700 mm ² /s
Ιξώδες(100 °C)	max	55 mm ² /s
Πυκνότητα (15 °C)	max	1,010 kg/m ³
Σημείο ανάφλεξης	min	60°C
Σημείο ροής	max	30°C
Υδροθείο	max	2 mg/kg
Οξύτητα	max	2.5 mg KOH/g
Ολικό ίζημα	max	0.1% κ.β.
Υπολειμματικός άνθρακας	max	20% κ.β.
Θείο	max	5% κ.β.
Βανάδιο	max	450 ppm
Νερό	max	0.5% κ.ό.

Πίνακας 2.3 Προδιαγραφές HFO κατά ISO 8217

Η χρήση του ως ναυτιλιακού καυσίμου πιο χαμηλής ποιότητας, αναφορικά με το σύνολο των φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών του σε σχέση με τα ναυτιλιακά καύσιμα που παράγονται με βάση το ντίζελ, μπορεί να διέπεται από προβλήματα λειτουργίας των ντίζελοκινητήρων των πλοίων και για αυτό απαιτούνται τροποποιήσεις στα συστήματα λειτουργίας και καθαρισμού των μηχανών. Εκτιμάται ότι το κόστος του HFO είναι περίπου κατά 30% μικρότερο σε σχέση με το κόστος των MGO και MDO, ενώ ακόμη μπορεί να καταναλωθεί από τις περισσότερες μεσό-στροφες μηχανές των πλοίων, όπως επίσης και από τις μηχανές διπλού καυσίμου [26].

Οι σχετικές προδιαγραφές του HFO και άλλα χαρακτηριστικά που ενδιαφέρουν τη χρήση του στους ντίζελοκινητήρες παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 2.3.

3 Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (LNG)

Τα βασικά χαρακτηριστικά του φυσικού αερίου, καθώς και οι τρόποι μετατροπής και μεταφοράς του σε υγροποιημένη μορφή (LNG) παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 2. Γι' αυτό τον λόγο στο παρόν Κεφάλαιο κρίνεται σκόπιμη η αναφορά στις σύγχρονες τάσεις που αφορούν τη χρήση τού εν λόγω καυσίμου στον τομέα της ναυτιλίας.

Ο τομέας της ναυτιλίας πιέζεται σε σημαντικό βαθμό κατά τα τελευταία έτη από την άνοδο της τιμής τόσο του αργού πετρελαίου όσο και των ναυτιλιακών καυσίμων τα οποία παράγονται από τη διύλισή του. Ταυτοχρόνως, έχουν θεσπιστεί πιο αυστηρές προδιαγραφές αναφορικά με τις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων που προέρχονται από την καύση ορυκτών καυσίμων στους κινητήρες των πλοίων.

Με βάση τα παραπάνω, το φυσικό αέριο έχει αναδειχθεί ως μία ελκυστική εναλλακτική επιλογή λόγω του μειωμένου κόστους που αντιστοιχεί στη χρήση του και εξαιτίας του γεγονότος ότι οι ποσότητες φυσικού αερίου που παράγονται σε διεθνές επίπεδο μπορούν να καλύψουν τη διεθνή ζήτηση, αφού τα αξιοποιήσιμα αποθέματα του καυσίμου θεωρούνται επαρκή. Μάλιστα δε αυτά αυξάνονται με την πρόοδο που σημειώνεται διαρκώς στις τεχνολογίες εξόρυξης και παραγωγής, [2]. Με άλλα λόγια, το LNG συνιστά μία ελκυστική βιώσιμη και σχετικά προσιτή λύση στο πρόβλημα της μείωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων του τομέα της ναυτιλίας. Παράλληλα, ικανοποιεί την επιθυμία των ναυτιλιακών εταιρειών να περιορίσουν στο ελάχιστο το λειτουργικό κόστος, μεγάλο μέρος του οποίου αφορά την κατανάλωση του καυσίμου. Ειδικά στον τομέα της ακτοπλοΐας το αντίστοιχο κόστος κυμαίνεται σε ποσοστά μεγαλύτερα του 50% του λειτουργικού κόστους [29].

Η στροφή της Ευρωπαϊκής (και όχι μόνον) ναυτιλίας προς πιο οικονομικά και φιλικά προς το περιβάλλον βιώσιμα καύσιμα έχει σηματοδοτηθεί από την παραγγελία της Brittany Ferries στη ναυπηγική εταιρεία STX France για την κατασκευή ακτοπλοϊκού σκάφους, ιδιαίτερα μεγάλου εκτοπίσματος, του οποίου η πρόωση θα βασίζεται στην αξιοποίηση του φυσικού αερίου.

Το συγκεκριμένο σκάφος θα διενεργεί τακτικά δρομολόγια μεταξύ του Ηνωμένου Βασιλείου και της ηπειρωτικής Ευρώπης. Είναι γεγονός ότι επιβατηγά σκάφη που αξιοποιούν το φυσικό αέριο λειτουργούν εδώ και αρκετά χρόνια στις βόρειες Ευρωπαϊκές θάλασσες, ιδίως στις Σκανδιναβικές ζώνες, αλλά σήμερα οι στόλοι μεγεθύνονται με αυξημένους ρυθμούς.

Ένα μεγάλο πλήθος πλοίων που ανήκουν σε Νορβηγικές εταιρείες αξιοποιούν το LNG, ενώ η Νορβηγία έχει μεριμνήσει για την κατασκευή των απαραίτητων υποδομών, κυρίως τερματικών

σταθμών LNG στα λιμάνια της, ούτως ώστε να πραγματοποιείται ο κατάλληλος και επαρκής ανεφοδιασμός των πλοίων με καύσιμο. Η τάση αυτή αντιστοιχεί στον γενικότερο προσανατολισμό της Σκανδιναβικής ναυτιλίας, ενώ ανάλογη είναι η συμπεριφορά των Γερμανικών, Ολλανδικών και άλλων Ευρωπαϊκών πλοιοκτητριών εταιρειών.

Η μεγέθυνση των στόλων των πλοίων που κινούνται με τη βοήθεια φυσικού αερίου πραγματοποιείται παράλληλα με την κατασκευή τερματικών σταθμών LNG, όπως επί παραδείγματι στη Γερμανία από την κοινοπραξία Aktien-Gesellschaft και Bomin Linde LNG [29].

Παρόμοιες εξελίξεις βρίσκονται επί θύραις και στον τομέα της Ελληνικής ναυτιλίας, καθοδηγούμενες τόσο από περιβαλλοντικές όσο και από οικονομικές ανάγκες. Αναμένεται να αξιοποιηθούν κοινοτικές επιδοτήσεις για τον μετασχηματισμό των υφιστάμενων πλοίων ή/και τη ναυπήγηση νέων που θα αξιοποιούν το φυσικό αέριο. Το πρόγραμμα “Leadership 2020” αποτελεί ένα εργαλείο χρηματοδότησης ναυπηγικών προγραμμάτων που είναι φιλικά προς το περιβάλλον από ταμεία της Ευρωπαϊκής Ένωσης και την Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων.

Οι αριθμοί είναι χαρακτηριστικοί, αφού το 2013 διακινήθηκαν περί τους 237 εκατομμύρια τόνους LNG, ενώ λειτουργούσαν 104 τερματικοί σταθμοί σε 29 κράτη. Οι εν λόγω σταθμοί μπορούσαν να διαχειριστούν 721 εκατομμύρια τόνους LNG και να επεξεργαστούν 286 εκατομμύρια τόνους LNG σε ετήσια βάση. Στα τέλη του 2018 λειτουργούσαν σε διεθνές επίπεδο 525 πλοία μεταφοράς LNG, ενώ το 2018 ο αριθμός τους αυξήθηκε κατά 11,5% με τη λειτουργία 53 νέων πλοίων.

Η αύξηση αυτή εξισορροπήθηκε από τη μεγέθυνση της χωρητικότητας των μονάδων επεξεργασίας φυσικού αερίου κατά 26.2 MTPA, σύμφωνα με την έκθεση της International Gas Union/ IGU (2019). Η ζήτηση του τομέα της ναυτιλίας, αλλά και η συνολική, σε φυσικό αέριο αναμένεται να αυξηθεί τόσο για περιβαλλοντικούς όσο για οικονομικούς και πολιτικούς λόγους, αφού η ΕΕ αποσκοπεί στη διαφοροποίηση των πηγών του ενεργειακού της εφοδιασμού.

Ακόμη, στις χώρες της Ανατολικής Ευρώπης υλοποιούνται έργα κατασκευής υποδομών επεξεργασίας φυσικού αερίου, οι συνολικές δε επενδύσεις της ΕΕ σε αντίστοιχα έργα ανέρχονται στα 250 εκατομμύρια ευρώ (π.χ. επέκταση σταθμού επαναεριοποίησης του Świnoujście στην Πολωνία) [12].

Ύστερα από τον καθορισμό των αυστηρότερων ορίων αναφορικά με τις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων από τα φουγάρα των πλοίων, οι πάροχοι της τεχνολογίας, οι κατασκευαστές του μηχανολογικού εξοπλισμού και οι εμπλεκόμενοι φορείς έσπευσαν να ανταποκριθούν και να μετασχηματίσουν εν μέρει την ενεργειακή τροφοδότηση των πλοίων.

Μία από τις δυνατότητες υπήρξε η χρήση του LNG, όπως θα περιγραφεί και στο επόμενο Κεφάλαιο 4, καθώς, κατ' αρχήν, η αξιοποίησή του συνεπάγεται γενικώς χαμηλότερα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε σχέση με τα καύσιμα τα οποία παράγονται με τη διύλιση του αργού πετρελαίου. Παρ' όλο που η περιβαλλοντική επίδοση του φυσικού αερίου θα παρουσιαστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια στο επόμενο Κεφάλαιο 4, μπορεί να αναφερθεί πως οι εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων και οξειδίων του θείου έπειτα από την καύση φυσικού αερίου στις μηχανές των πλοίων ικανοποιούν τους θεσπισμένους περιορισμούς και τα κριτήρια λειτουργίας.

Επιπροσθέτως, οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου βρίσκονται σε επίπεδα παρόμοια με εκείνα που προέρχονται από την καύση των υγρών ναυτιλιακών καυσίμων, οι μετατροπές δε του μηχανολογικού εξοπλισμού αναμένεται να έχουν ως αποτέλεσμα την ικανοποίηση των προδιαγραφών Tier III, οι οποίες ισχύουν για τα σκάφη που κινούνται σε ειδικές ζώνες ελέγχου των εκπομπών (ECAs) χωρίς να είναι απαραίτητη η εγκατάσταση επιπλέον εξοπλισμού αντιρρύπανσης [20].

Συν τοις άλλοις, με βάση τα οικονομικά δεδομένα η διαφορά τιμής που παρατηρείται από τις αρχές της δεκαετίας του 2000 έως σήμερα μεταξύ των επεξεργασμένων καυσίμων (ώστε η περιεκτικότητά τους σε θείο να είναι μικρή) και των ανεπεξέργαστων υγρών ναυτιλιακών καυσίμων τείνει να αυξάνεται, με αποτέλεσμα, ιδίως κατά τη δεκαετία του 2010, να έχει αυξηθεί το πλήθος των πλοίων που αξιοποιούν είτε φυσικό αέριο αποκλειστικώς είτε – συνηθέστερα – συνδυασμό ντίζελ και φυσικού αερίου [17].

Είναι ενδεικτικό ότι οι μηχανές εσωτερικής καύσης που λειτουργούν βάσει των παραπάνω επιλογών χαρακτηρίζονται από σημαντική απόδοση και έχουν αξιοποιηθεί από τις εταιρείες ναυπήγησης πλοίων. Ακόμη, σε διεθνές επίπεδο οι υποδομές διαχείρισης φυσικού αερίου έχουν πολλαπλασιαστεί, γεγονός που καθιστά το LNG ευρύτερα διαθέσιμο. Ως εκ τούτου, τόσο η περιβαλλοντική όσο και η οικονομική βιωσιμότητα της συγκεκριμένης επιλογής σημαίνει ότι το LNG αποτελεί ανταγωνιστικό πόρο στη ναυτιλία και το ενδιαφέρον των φορέων που εμπλέκονται στη λήψη αποφάσεων έχει εστιαστεί στη βαθμιαία μερική απεξάρτηση από τα υγρά ναυτιλιακά καύσιμα, [20].

Βάσει των παραπάνω, έχει προγραμματιστεί η ναυπήγηση μεγάλου αριθμού πλοίων που αναμένεται να κινούνται με τη βοήθεια του συνδυασμού συμβατικών καυσίμων και φυσικού αερίου και που πρόκειται να παραδοθούν κατά τα επόμενα έτη. Το πλέον αποδοτικό από τα υφιστάμενα σκάφη αυτής της κατηγορίας είναι το “Creole Spirit” (Σχήμα 3.1) της Teekay, μήκους 295 m, του οποίου οι εργασίες άρχισαν το 2016. Πρόκειται για το σκάφος με το μικρότερο κόστος καυσίμου ανά μονάδα φορτίου και διαθέτει χωρητικότητα αποθήκευσης 174.000 m³ LNG.



Σχήμα 3.1 “Creole Spirit”

Η έγχυση του φυσικού αερίου στους δίχρονους κινητήρες MAN Diesel πραγματοποιείται με ηλεκτρονικό έλεγχο. Σε ημερήσια βάση καταναλώνει 110 τόνους καυσίμου, ενώ οι συμβατικές μηχανές διπλού καυσίμου περί τους 125 με 130 τόνους. Επιπροσθέτως, το 2017 άρχισαν τις εργασίες τα πρώτα διεθνώς πλοία ConRo (για τη μεταφορά εμπορευματοκιβωτίων και οχημάτων) El Coqui και Taino, των οποίων η λειτουργία εξυπηρετεί τη μεγιστοποίηση του πλήθους των εμπορευματοκιβωτίων τα οποία είναι δυνατόν να μεταφερθούν. Τα παραπάνω σκάφη έχουν μήκος 220 m και πλάτος 32 m, ενώ η χωρητικότητα φορτίου τους ανέρχεται στα 2.400 TEUs.

4 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

4.1 Εκπομπές τοξικών ρύπων

Ορισμένες εκπομπές αέριων συστατικών ή σωματιδίων συνιστούν κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία. Βάσει των στοιχείων του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας, διάφοροι ατμοσφαιρικοί ρύποι, που περιλαμβάνονται στις εκπομπές των πλοίων, ευθύνονται για σημαντικό τμήμα των περιστατικών καρκίνων του πνεύμονα, εμφραγμάτων, καρδιακών ασθενειών και οξείων αλλά και χρόνιων ασθενειών του αναπνευστικού συστήματος, συμπεριλαμβανομένου του άσθματος.

Πιο συγκεκριμένα, η έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις οξειδίων του αζώτου ενδέχεται να ενέχει δυσμενείς συνέπειες στο αναπνευστικό σύστημα, το νευρικό σύστημα (λόγω έκθεσης στο μονοξείδιο του αζώτου) και τους οφθαλμούς (λόγω έκθεσης στο διοξείδιο του αζώτου). Εξαιτίας της αντίδρασης του διοξειδίου του αζώτου με τους υδρατμούς που περιέχονται στους βρόγχους και τις κυψελίδες του αναπνευστικού συστήματος προκαλείται ερεθισμός του τελευταίου. Το κύριο σύμπτωμα είναι το πνευμονικό οίδημα. Εκτιμάται δε ότι όταν η συγκέντρωση διοξειδίου του αζώτου κυμαίνεται σε επίπεδα μεγαλύτερα των 150 ppm, μπορεί να επέλθει ο θάνατος του ατόμου.

Επιπροσθέτως, το άγευστο, άχρωμο και άοσμο μονοξείδιο του άνθρακα είναι πολύ πιθανόν σε υψηλές συγκεντρώσεις να προκαλέσει τον θάνατο. Η τοξικότητα του εν λόγω συστατικού οφείλεται στη στενή του συγγένεια, από χημική άποψη, με την αιμογλοβίνη του αίματος η οποία συνιστά μεταφορέα οξυγόνου από τους πνεύμονες στα κύτταρα του σώματος και του διοξειδίου του άνθρακα από τα κύτταρα στους πνεύμονες. Επομένως, η παρουσία του συγκεκριμένου ρύπου στον αέρα που εισπνέει ένα άτομο περιορίζει τον ρυθμό με τον οποίον οξυγονώνονται τα σωματικά του κύτταρα, καθώς το οξυγόνο που μεταφέρει η αιμογλοβίνη αντικαθίσταται με το μονοξείδιο του άνθρακα και παράγεται η καρβοξυαιμογλοβίνη.

Επίσης, η έκθεση ενός ατόμου σε υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων μπορεί να ενέχει ποικίλες βλάβες στην υγεία του διά μέσου διαφόρων μηχανισμών οι οποίοι δεν έχουν αποσαφηνιστεί με ακρίβεια. Οι δυσμενείς επιπτώσεις κατηγοριοποιούνται σε καρδιαγγειακές, αναπνευστικές και γενετοξικές ή μεταλλαξιογόνες. Κυρίως ανάγονται στην ικανότητα των σωματιδίων, ειδικότερα των πιο λεπτών εξ' αυτών, να διεισδύουν εντός του αναπνευστικού συστήματος σε μεγάλο βάθος, αλλά και την παρουσία ποικίλων τοξικών ρύπων προσροφημένων στο εσωτερικό των εισπνεόμενων σωματιδίων [6].

Σε ό,τι αφορά τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του θείου, τα χαμηλά επίπεδα, ύστερα από μία μακροχρόνια και σταθερή έκθεση σε αυτές, ενδέχεται να προκαλέσουν διάφορες αναπνευστικές παθήσεις. Ακόμη δε, η παράλληλη έκθεση των ανθρώπινων οργανισμών σε αιωρούμενα σωματίδια επιτείνει την κατάσταση με αποτέλεσμα την αύξηση της θνησιμότητας. Επίσης, το διοξείδιο του θείου, αλλά και το διοξείδιο του αζώτου, είναι υπαίτια για την όξινη βροχή η οποία είναι δυνατόν να καταστρέψει διάφορα οικοδομικά υλικά, φυτικά είδη και ιστορικά μνημεία.

Τέλος, διάφορες πτητικές οργανικές ενώσεις (Volatile Organic Compounds, VOCs) συμμετέχουν μαζί με τα οξείδια του αζώτου και το όζον στον σχηματισμό φωτοχημικού νέφους της ατμόσφαιρας των αστικών κέντρων. Επιπλέον, ενδέχεται να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα στην υγεία, συμπεριλαμβανομένων καρκινογένεσεων, ενώ ακόμη βλάπτουν το στρατοσφαιρικό όζον καθώς και τους φυτικούς οργανισμούς.

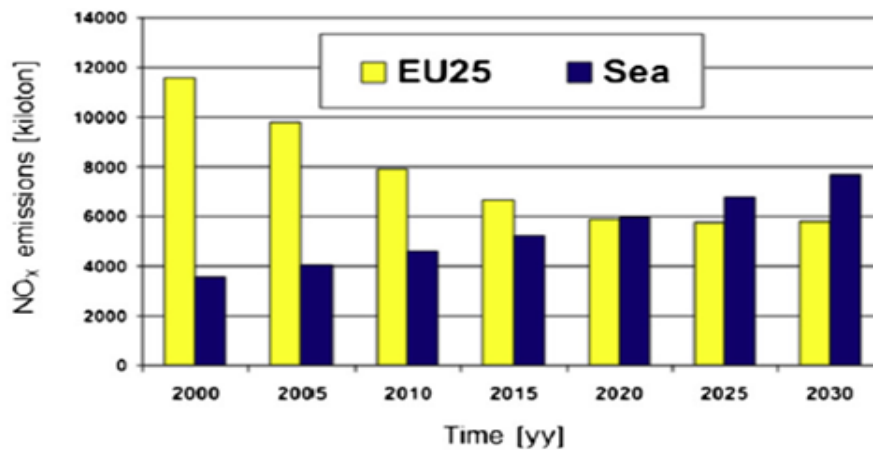
Σε ό,τι αφορά τα υγρά ναυτιλιακά καύσιμα (HFO, MDO, MGO) περιλαμβάνουν θείο, ανθρακικά υπολείμματα και μέταλλα, ενώ η πτητικότητά τους είναι μικρή και το ιξώδες τους υψηλό. Κατά συνέπεια, με βάση τον Acciardo, η χρήση τους σε νηξελοκινητήρες οδηγεί συνήθως στην έκλυση σημαντικών ποσοτήτων των προαναφερθέντων ρύπων, ιδίως οξειδίων του θείου, διοξειδίου του άνθρακα, οξειδίων του αζώτου και μονοξειδίου του άνθρακα [1].

Μία από τις διάφορες λύσεις που έχουν προταθεί και εφαρμοστεί για την ικανοποίηση των περιορισμών της MARPOL αναφέρεται στην κατάλληλη επεξεργασία των υγρών καυσίμων με στόχο τον περιορισμό του περιβαλλοντικού αποτυπώματος που χαρακτηρίζει την καύση αυτών στους κινητήρες των πλοίων. Παρ' όλα αυτά, το κόστος που διέπει την επεξεργασία σε ειδικές μονάδες είναι γενικώς απαγορευτικό, κάτι που συνεπάγεται την ανάγκη στροφής στα αέρια ορυκτά καύσιμα (LPG και κυρίως LNG) και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ).

Αποτελέσματα μελετών στις οποίες διερευνώνται οι ατμοσφαιρικές εκπομπές πλοίων έχουν δημοσιευθεί σε διάφορα επιστημονικά περιοδικά κατά τα τελευταία έτη, με τη μεγαλύτερη σημασία να δίνεται σε εμπορικά πλοία. Στην αναφορά [9] προς τον IMO εκφράζονται ανησυχίες για τη συσσώρευση των τοξικών ρύπων (δηλαδή εκείνων που πλήττουν την ανθρώπινη υγεία και, εν γένει, τους οργανισμούς του πλανήτη) σε μικρές εκτάσεις, όπως στην περιοχή που περιβάλλεται από τη Βαλτική Θάλασσα.

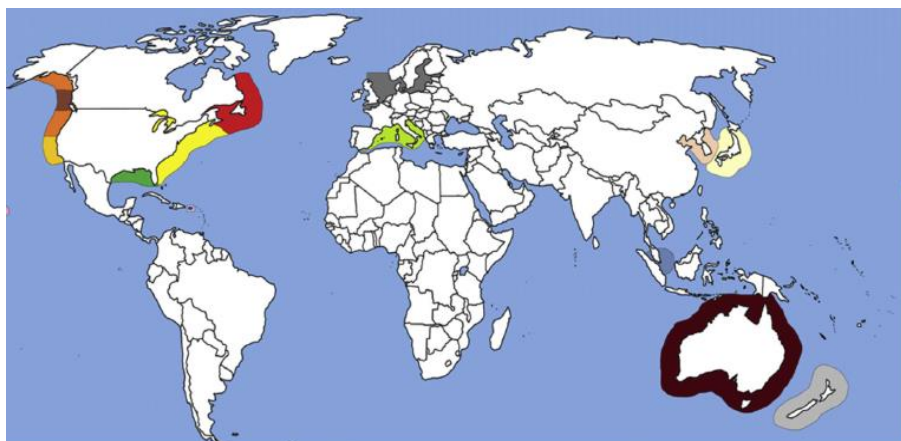
Παρόμοια είναι και τα συμπεράσματα της εργασίας [1], σύμφωνα με την οποία σε αυτές τις περιοχές οι κινητήρες των πλοίων είναι υπεύθυνοι για ένα διαρκώς αυξανόμενο ποσοστό εκπομπών τοξικών ατμοσφαιρικών ρύπων.

Επιπλέον, λόγω της εντεινόμενης κίνησης στις θάλασσες αυτές και δίχως να θεσπιστούν αυστηρά κριτήρια, οι συγκεκριμένες ατμοσφαιρικές εκπομπές ενδέχεται να αποτελέσουν ένα ιδιαίτερα σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα κατά τη διάρκεια των αμέσως επόμενων ετών, καθώς μάλιστα οι εκπομπές των οξειδίων του αζώτου είναι δυνατόν να υπερβούν τις εκπομπές που οφείλονται σε χερσαίες δραστηριότητες (Σχήμα 4.1).



Σχήμα 4.1 Εκπομπές οξειδίων του αζώτου [5].

Σε ό,τι αφορά τις εκπομπές των οξειδίων του θείου, ζήτημα που επίσης παραμένει οξύ, θα λάβει χώρα νέα προσέγγιση του προβλήματος έπειτα από την 1η Ιανουαρίου 2020, ημερομηνία κατά την οποία θα εφαρμοστεί ο περισσότερο αυστηρός περιορισμός που αναφέρεται στην περιεκτικότητα των καυσίμων ναυτιλίας σε θείο.



Σχήμα 4.2 ECAs

Πιο συγκεκριμένα στο Παράρτημα VI της MARPOL τέθηκαν όρια εκπομπών οξειδίων του αζώτου και οξειδίων του θείου που παράγονται από τις καύσεις των πλοίων τα οποία κινούνται τόσο εντός των ειδικών ζωνών (ECAs) που ο IMO σε συνεργασία με την ΕΕ καθόρισε (Σχήμα 4.2) όσο και εντός των διεθνών υδάτων.

Η εφαρμογή των αυστηρότερων ορίων για τα οξείδια του αζώτου, γνωστών ως “Tier III” υλοποιήθηκε το 2016, ενώ το νέο όριο της περιεκτικότητας των καυσίμων σε θείο θα εφαρμοστεί, όπως αναφέρθηκε, την 1η Ιανουαρίου του 2020. Τα όρια που αναφέρονται ως “Tier III” ισχύουν μόνον στις ECAs και τα μόρια που είναι γνωστά ως “Tier I” και “Tier II” ισχύουν στα διεθνή ύδατα.

Ημερομηνία εφαρμογής	Όριο σε διεθνή ύδατα (% κ.β.)	Ημερομηνία εφαρμογής	Όριο σε ECAs (% κ.β.)
Πριν την 1.1.2010	4.5	Πριν την 1.7.2010	1.5
Μετά την 1.1.2012	3.5	Μετά την 1.7.2010	1.0
Μετά την 1.1.2020	0.5	Μετά την 1.1.2015	0.1

Πίνακας 4.1 Όρια περιεκτικότητας καυσίμου ναυτιλίας σε θείο

Στον Πίνακα 4.1 καταγράφονται τα ανώτατα όρια της περιεκτικότητας των ναυτιλιακών καυσίμων σε θείο, ενώ στον Πίνακα 4.2 τα ανώτατα όρια εκπομπών οξειδίων του αζώτου σε συνάρτηση με τη μέγιστη ταχύτητα την οποία αναπτύσσει η μηχανή σε κατάσταση λειτουργίας [20].

Ονομασία	Έτος εφαρμογής	Ανώτατο όριο εκπομπών NO_x (g/kWh) (n οι στροφές σε rpm)		
		n<130	130≤n≤2000	n≥2000
Tier I	2000	17.0	$45 \times n^{-0.2}$	9.8
Tier II	2011	14.4	$44 \times n^{-0.23}$	7.7
Tier III	2016 (στις ζώνες ECAs)	3.4	$9 \times n^{-0.2}$	1.96

Πίνακας 4.2 Πρόγραμμα περιορισμού των εκπομπών NO_x

Για να γίνει καλύτερα κατανοητή η επίδραση των θεσπισμένων ορίων στις ατμοσφαιρικές εκπομπές, οι εκλύομενες ενώσεις οι οποίες περιέχουν θείο στο μόριό τους είναι δυνατόν να εκτιμηθούν σε αναλογική βάση σύμφωνα με την περιεκτικότητα σε θείο. Γι’ αυτό η μείωση της περιεκτικότητας στο συγκεκριμένο στοιχείο συνιστά έναν καλό δείκτη του περιορισμού του βαθμού επιβάρυνσης της ατμόσφαιρας από τις εκπομπές διοξειδίου του θείου.

Για παράδειγμα, ο περιορισμός της επί τοις εκατό κατά βάρος (% κ.β.) περιεκτικότητας κάποιου καυσίμου σε θείο από 2.7% σε 0.5% υπολογίζεται ότι έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των ποσοτήτων του οξειδίου του θείου που εκπέμπονται περίπου κατά 80%.

Επίσης, καθώς οι περισσότερες εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων που οφείλονται στις καύσεις των νηζελοκινητήρων των πλοίων συνδέονται με την παρουσία θειούχων συστατικών στη μάζα του καυσίμου, η συγκεκριμένη μείωση συνεπάγεται και τον περιορισμό των σωματιδιακών εκπομπών. Ακόμη, η χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο των υγρών ναυτιλιακών καυσίμων, όπως MDO και MGO, καθιστά εφικτή την αποδοτικότερη χρήση των συστημάτων αντιρρυπαντικής τεχνολογίας, ούτως ώστε η λειτουργία τους να εστιάζει στη μείωση των εκπομπών οξειδίων του αζώτου.

Για την κίνησή τους στις ζώνες ECAs, από τα προαναφερθέντα καύσιμα, αξιοποιείται μόνον το MDO με ανώτατο όριο περιεκτικότητας σε θείο της τάξης του 1%. Το MGO αξιοποιείται για την κίνηση των πλοίων μεταξύ λιμανιών της Ευρώπης και με ανώτατο όριο περιεκτικότητας σε θείο της τάξης του 0.1%. Εν τούτοις, οι χημικές διεργασίες που πρέπει να πραγματοποιηθούν ώστε να παραχθούν τα αναβαθμισμένα από περιβαλλοντική σκοπιά καύσιμα είναι κοστοβόρες, ενώ προϋποθέτουν μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας και, παράλληλα, μεγαλύτερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου συγκριτικά με την παραγωγή του HFO, όπως αναφέρεται στην εργασία [5].

Η μείωση των εκπομπών των οξειδίων του αζώτου μπορεί να πραγματοποιηθεί εφόσον λάβει χώρα ορθολογική επεξεργασία των απαερίων της καύσης ή/και ύστερα από τροποποιήσεις του μηχανολογικού εξοπλισμού, συμπεριλαμβανομένων των εσωτερικών τροποποιήσεων, της ανακυκλοφορίας των απαερίων της καύσης και άλλων. Η πλέον συνήθης αντιρρυπαντική τεχνολογία αντιστοιχεί στην επιλεκτική καταλυτική αγωγή, γνωστή ως SCR (Selective Catalytic Reduction), κατά την οποία τα απαέρια κατεργάζονται με αμμωνία ή ουρία σε μία καταλυτική διαδικασία. Η εν λόγω τεχνική έχει ως αποτέλεσμα, σύμφωνα με την εργασία [5], τη μείωση των εκπομπών των οξειδίων του αζώτου κατά ένα ποσοστό που είναι μεγαλύτερο από 80%. Είναι ευνόητο ότι και η συγκεκριμένη λύση προϋποθέτει ένα επιπρόσθετο κόστος.

Εν αντιθέσει με τη χρήση των υγρών ναυτιλιακών καυσίμων, η χρήση του φυσικού αερίου συνεπάγεται σημαντικό περιορισμό των εκπομπών τόσο των οξειδίων του αζώτου και του θείου όσο και των σωματιδιακών ρύπων, καθώς συγκριτικά με το HFO, που είναι η οικονομικότερη επιλογή μεταξύ των υγρών ναυτιλιακών καυσίμων, τη χρήση του χαρακτηρίζουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

1. Οι σωματιδιακές εκπομπές (PM) είναι αρκετά μικρές.

2. Οι εκπομπές οξειδίων του θείου σχεδόν μηδενίζονται, καθώς το φυσικό αέριο είναι σχεδόν ολοκληρωτικά αποθειωμένο.

3. Οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου μειώνονται κατά 80-85%, εφόσον στις μηχανές διπλού καυσίμου πραγματοποιείται «καθαρότερη» καύση.

Περίπτωση	Βαθμός περιορισμού των εκπομπών (%)		
	SO _x	NO _x	PM
Κύριες εσωτερικές τροποποιήσεις δίχρονου κινητήρα, λειτουργία σε χαμηλή ταχύτητα	0	-20	0
Αναβαθμισμένες εσωτερικές τροποποιήσεις του κινητήρα	0	-30	0
Άμεση εισαγωγή νερού	0	-50	0
Χρήση κινητήρα υγρού αέρα	0	-70	0
Εγκατάσταση συστήματος που επιτρέπει την ανακυκλοφορία καυσαερίων και εγκατάσταση πλυντρίδας	-93	-35	-63
SCR, χρήση υγρού ναυτιλιακού καυσίμου που περιέχει 2.7% κ.β. θείο	0	-90	0
Εγκατάσταση συστήματος πλύσης με θαλασσινό νερό	-75	0	-25
Αλλαγή καυσίμου (από HFO 2.7% κ.β. σε 1.5% κ.β. θείο)	-44	0	-18
Αλλαγή καυσίμου (από HFO 2.7% κ.β. σε MDO >0.5% κ.β. θείο)	-81	0	-20
Ντήζελ ναυτιλίας χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (από MDO 0.5% κ.β. σε MGO >0.1% κ.β. θείο)	-80	0	0
Χρήση φυσικού αερίου (LNG)	-90	-80	-100

Πίνακας 4.3 Μείωση των εκπομπών οξειδίων του θείου, οξειδίων του αζώτου και των σωματιδιακών εκπομπών που οφείλονται στη χρήση υγρών ναυτιλιακών καυσίμων και τη χρήση του LNG

Στον παραπάνω Πίνακα 4.3 παρουσιάζεται μία συγκριτική εικόνα του βαθμού του περιορισμού των εκπομπών που προκύπτουν στις βέλτιστες περιπτώσεις από τη χρήση υγρών καυσίμων (χρήση αντιρρυπαντικών τεχνολογιών ή/και τροποποίηση καυσίμου) και από τη χρήση του φυσικού αερίου.

Είναι φανερό ότι η χρήση του φυσικού αερίου συνεπάγεται τον δραστικό περιορισμό των εκπομπών των οξειδίων του θείου, των οξειδίων του αζώτου και των σωματιδιακών εκπομπών σε επίπεδα συγκρίσιμα με τις βέλτιστες εναλλακτικές επιλογές διαχείρισης των ρύπων ή πρόληψης της εκπομπής τους στην περίπτωση που χρησιμοποιηθούν υγρά καύσιμα (HFO, MGO, MDO).

Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι τα συνήθως κοστοβόρα συστήματα τα οποία εγκαθίστανται με στόχο τη διαχείριση των ρύπων μπορούν να αποφευχθούν.

Επιπλέον, το περιβαλλοντικό όφελος που διέπει τη χρήση του LNG είναι σε θέση να συνδυαστεί με το χαμηλότερο κόστος για την προμήθειά του, με συνέπεια τον περιορισμό των λειτουργικών δαπανών (σε σχέση με τις δαπάνες για την προμήθεια των υγρών καυσίμων). Μάλιστα, η οικονομικότητα που χαρακτηρίζει τη χρήση του LNG θεωρείται ότι θα διατηρηθεί και κατά τα επόμενα έτη, καθώς τα αποθέματα πετρελαίου τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν σε συμβατικό κόστος περιορίζονται συνεχώς, ενώ πρόσφατα έχουν εντοπιστεί αξιόλογα εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα αερίων υδρογονανθράκων, λόγω διαμόρφωσης νέων τεχνολογιών είτε λόγω βελτίωσης παλαιότερων [20].

Στην εργασία [2], με στόχο τον προσδιορισμό του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των καυσίμων καθ' όλο τον κύκλο ζωής τους (από την εξόρυξή τους έως την κατανάλωσή τους), πραγματοποιείται σχετική «Ανάλυση Κύκλου Ζωής» (“Life Cycle Assessment”, LCA) για τα καύσιμα που μπορούν να αξιοποιηθούν για τη λειτουργία ενός εμπορικού πλοίου Roll-on/Roll-off (RoRo) με το οποίο μπορούν να μεταφερθούν τροχοφόρα φορτία. Στα συμπεράσματα της ανάλυσης καταγράφηκαν τα πλεονεκτήματα της χρήσης του φυσικού αερίου έναντι των υγρών ναυτιλιακών καυσίμων.

Συγκρίθηκε η περιβαλλοντική επίδοση του αερίου έναντι του HFO, του MGO, αλλά και έναντι ενός συνθετικού ντήζελ που παράγεται στη βάση αερίων συστατικών (Gas-to-Liquid, GTL). Πρέπει να αναφερθεί ότι τα συγκεκριμένα δεδομένα έχουν αξιοποιηθεί από αρκετές επιστημονικές έρευνες λόγω των ποικίλων επιμέρους δεικτών περιβαλλοντικού αποτυπώματος οι οποίοι εκτιμώνται. Στις διάφορες διεργασίες που συναποτελούν τον κύκλο ζωής περιλαμβάνεται και το στάδιο αποθήκευσης του LNG στον τερματικό σταθμό.

Καύσιμη ύλη	Δυναμικό οξίνισης των ωκεανών (g SO ₂ -eq/(t·km))	Δυναμικό ευτροφισμού (g PO ₄ ³⁻ -eq/(t·km))
HFO (σύνολο)	0.82	0.1
Εξόρυξη και αποθήκευση	0.03	0.0012
Αποθήκευση και χρήση	0.8	0.103
HFO με πλυντρίδα (σύνολο)	0.62	0.0013
Εξόρυξη και αποθήκευση	0.03	0.11
Αποθήκευση και χρήση	0.59	0.1
MGO (σύνολο)	0.58	0.0013
Εξόρυξη-Αποθήκευση	0.03	0.11
Αποθήκευση και χρήση	0.55	0.1
GTL (σύνολο)	0.59	0.098
Εξόρυξη και αποθήκευση	0.06	0.1
Αποθήκευση και χρήση	0.53	0.006
MGO και επεξεργασία καυσαερίων με SCR (σύνολο)	0.14	0.0975
Εξόρυξη και αποθήκευση	0.04	0.02
Αποθήκευση και χρήση	0.1	0.0022
GTL και επεξεργασία καυσαερίων με SCR (σύνολο)	0.15	0.015
Εξόρυξη και αποθήκευση	0.07	0.022
Αποθήκευση και χρήση	0.08	0.0069
LNG από Βόρειο Θάλασσα (σύνολο)	0.08	0.015
Εξόρυξη και αποθήκευση	0.02	0.01
Αποθήκευση και χρήση	0.06	0.0011
LNG από Κατάρ (σύνολο)	0.08	0.012
Εξόρυξη και αποθήκευση	0.02	0.01
Αποθήκευση και χρήση	0.06	0.0013

Πίνακας 4.4 Σύγκριση περιβαλλοντικής καυσίμων που χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία έπειτα από Ανάλυση Κύκλου Ζωής ως προς τα δυναμικά οξίνισης των ωκεανών και ευτροφισμού.

Η απόδοση υγροποίησης του φυσικού αερίου θεωρήθηκε ίση με 92%, ενώ έγινε η παραδοχή ότι το 8.5% της ποσότητας του αερίου καταναλώνεται κατά την υγροποίησή του και την αποθήκευσή του. Λήφθηκαν δε υπ' όψιν τα σενάρια μεταφοράς του συγκεκριμένου αερίου τόσο από τη Βόρειο Θάλασσα όσο και από το Κατάρ.

Τα αποτελέσματα που σχετίζονται με τις περιβαλλοντικές συνέπειες της χρήσης των καυσίμων σε ό,τι αφορά τον ευτροφισμό (υπερβολική αύξηση της συγκέντρωσης των θρεπτικών στοιχείων στα ύδατα η οποία έχει ως αποτέλεσμα τον περιορισμό της συγκέντρωσης του διαλελυμένου οξυγόνου, με συνέπεια την αλλοίωση της βιοποικιλότητας, σε αυτή την περίπτωση λόγω της απελευθέρωσης οξειδίων του αζώτου) αλλά και την οξίνιση των ωκεανών (λόγω της απελευθέρωσης οξειδίων του θείου και του αζώτου) παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.4.

Είναι φανερό ότι η περιβαλλοντική επίδοση του φυσικού αερίου εν συγκρίσει με τα υπόλοιπα καύσιμα, ακόμη και στα σενάρια χρήσης των προβλεπόμενων από τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς αντιρρυπαντικών τεχνολογιών, είναι καλύτερη.

4.2. Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου

Ο χαρακτηρισμός του «φαινομένου του θερμοκηπίου» ως τέτοιου σχετίζεται με τη συγκράτηση της υπέρυθρης ηλιακής ακτινοβολίας από συγκεκριμένα αέρια μέσα στην ατμόσφαιρα πριν η ακτινοβολία απελευθερωθεί στην εξώσφαιρα. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα να επιταχύνεται η άνοδος της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας.

Οι περισσότερο σημαντικές συνέπειες του φαινομένου αντιστοιχούν στην ανύψωση της στάθμης των θαλασσιών υδάτων, την τήξη των «μόνιμων» πάγων, την απώλεια ενός μέρους της βιοποικιλότητας, την μεταβολή του τοπικού μικροκλίματος, διάφορα ακραία φαινόμενα, την οξίνιση των υδάτων των ωκεανών, καταστροφές ορισμένων καλλιεργειών και επιδείνωση των δυσμενών συνεπειών της έκθεσης των κατοίκων πυκνοκατοικημένων πόλεων στους ατμοσφαιρικούς ρύπους. Ως κυρίως υπεύθυνα για την πρόκληση του φαινομένου είναι τα αέρια διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο και υποξείδιο του αζώτου [6].

Παρατηρείται λοιπόν πως η αξιοποίηση του LNG στον τομέα της ναυτιλίας ενδέχεται να έχει αρνητικές επιπτώσεις στο φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής, καθώς σε ορισμένες πρόσφατες έρευνες καταγράφονται σημαντικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου καθ' όλα τα στάδια του «κύκλου ζωής» του καυσίμου. Γι' αυτό η έρευνα έχει προσανατολιστεί στην εξέταση λύσεων οι οποίες θα αποσκοπούν στον περιορισμό των συγκεκριμένων εκπομπών. Εξάλλου, κατά την προη-

γούμενη δεκαετία η ναυτιλία ευθυνόταν για την έκλυση του 2-3% των ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα.

Το 2011 ο IMO υιοθέτησε ορισμένα μέτρα με δεσμευτικό χαρακτήρα για τον περιορισμό των εν λόγω εκπομπών. Ωστόσο, η αύξηση του βαθμού χρήσης του LNG μπορεί να επιφέρει την επιδείνωση του φαινομένου της υπερθέρμανσης του πλανήτη ή να αναιρέσει εν μέρει τα περιβαλλοντικά οφέλη που διέπουν τη χρήση του φυσικού αερίου και των ΑΠΕ στην οποία εστιάζει η διεθνής κοινότητα. Κατά συνέπεια, αποκτούν ιδιαίτερη σημασία οι προσπάθειες ελαχιστοποίησης των εκπομπών ή των διαρροών του μεθανίου τόσο κατά την παραγωγή όσο και κατά την επεξεργασία, τη μεταφορά και τη διανομή του συγκεκριμένου καυσίμου, εφόσον το μεθάνιο χαρακτηρίζεται ως από δυναμικό υπερθέρμανσης (global warming potential, GWP) 25 φορές μεγαλύτερο από εκείνο του αερίου που θεωρείται παραδοσιακά υπεύθυνο για την κλιματική αλλαγή, ήτοι του διοξειδίου του άνθρακα.

Αξίζει, λοιπόν, να εστιάσει κανείς σε όλα τα στάδια διαχείρισης του καυσίμου τόσο για την εκτίμηση των εκπομπών μεθανίου όσο και των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Αναφέρεται δε ότι κατά την παραγωγή του φυσικού αερίου ενδέχεται να καταναλώνονται μεγαλύτερα ποσά ενέργειας εν σχέσει με την εξόρυξη του αργού πετρελαίου. Έπειτα, οι διαρροές μεθανίου στην ατμόσφαιρα στα διάφορα στάδια της εργασίας μπορεί να ενέχουν σημαντικότερη επιβάρυνση του περιβάλλοντος [4,20].

Η καύση του φυσικού αερίου έναντι των υγρών ναυτιλιακών καυσίμων στους κινητήρες των πλοίων συνεπάγεται γενικά μειωμένες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρεται ότι η χρήση του LNG έχει ως αποτέλεσμα τον περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα περίπου κατά 20% έως 30% λόγω της μικρότερης αναλογίας του άνθρακα ως προς το υδρογόνο που χαρακτηρίζει τα συστατικά του φυσικού αερίου.

Ωστόσο, όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι εκπομπές του μεθανίου, στην περίπτωση που δεν ελεγχθούν ενδέχεται να συμβάλλουν σημαντικά στο δυναμικό της υπερθέρμανσης του πλανήτη που διέπει τη διαχείριση και την κατανάλωση του LNG, ήτοι όχι μόνον την αξιοποίησή του και την αποθήκευσή του εντός του πλοίου, αλλά και όλα τα παραγωγικά στάδια που συνδέονται με την εξόρυξη και εμπορία του.

Στον Πίνακα 4.5 καταγράφονται οι δυνατότητες περιορισμού των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που οφείλονται στις τροποποιήσεις των κινητήρων ή/και την εγκατάσταση συστήματος

αντιρρυπαντικής τεχνολογίας ή/και την αλλαγή καυσίμου κατά τη χρήση υγρών ναυτιλιακών καυσίμων και που οφείλεται στη χρήση του φυσικού αερίου.

Περίπτωση	Βαθμός περιορισμού των εκπομπών CO ₂ (%)
Κύριες εσωτερικές τροποποιήσεις δίχρονου κινητήρα, λειτουργία σε χαμηλή ταχύτητα	0
Αναβαθμισμένες εσωτερικές τροποποιήσεις του κινητήρα	0
Άμεση εισαγωγή νερού	0
Χρήση κινητήρα υγρού αέρα	0
Εγκατάσταση συστήματος που επιτρέπει την ανακυκλοφορία καυσαερίων και εγκατάσταση πλυντρίδας	-93
SCR, χρήση υγρού ναυτιλιακού καυσίμου που περιέχει 2.7% κ.β. θείο	0
Εγκατάσταση συστήματος πλύσης με θαλασσινό νερό	-75
Αλλαγή καυσίμου (από HFO 2.7% κ.β. σε 1.5% κ.β. θείο)	-44
Αλλαγή καυσίμου (από HFO 2.7% κ.β. σε MDO >0.5% κ.β. θείο)	-81
Ντήζελ ναυτιλίας χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (από MDO 0.5% κ.β. σε MGO >0.1% κ.β. θείο)	-80
Χρήση φυσικού αερίου (LNG)	-90

Πίνακας 4.5 Μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που οφείλονται στη χρήση υγρών ναυτιλιακών καυσίμων και τη χρήση του LNG.

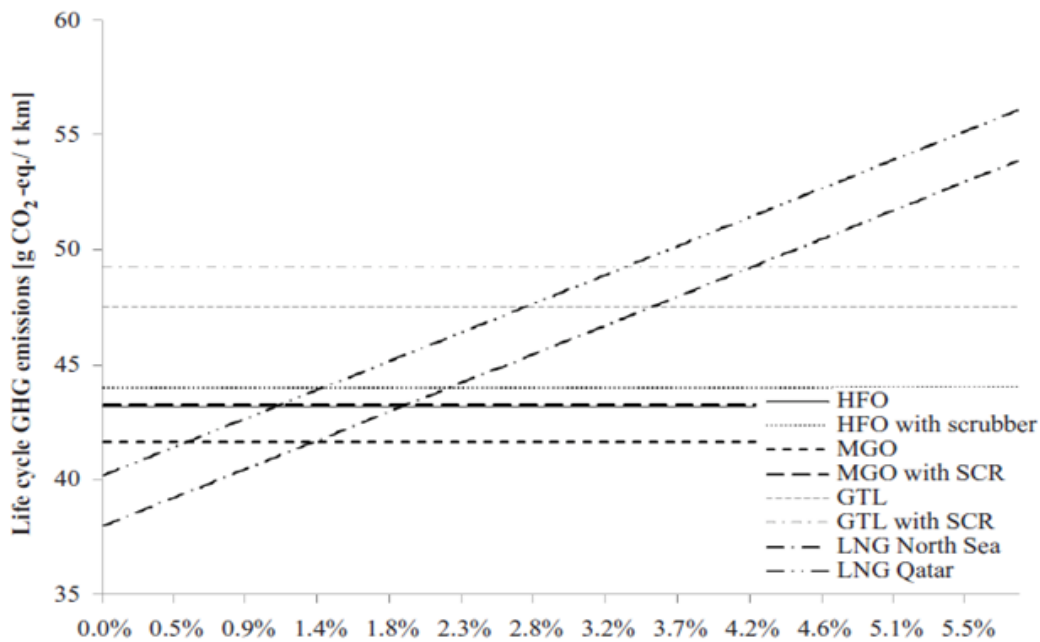
Στον Πίνακα 4.6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής παρουσιασμένης στο προηγούμενο Υποκεφάλαιο, στην οποία υιοθετήθηκε η παραδοχή περί διαρροών μεθανίου της τάξης του 0.17% και περί πραγματοποίησης καύσης του διαφεύγοντος αερίου (flaring) σε ποσοστό 0.25% του υγροποιημένου αερίου που παράγεται διά της υγροποίησης.

Καύσιμη ύλη	Δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (g CO ₂ -eq/(t·km))
HFO (σύνολο)	43.2
Εξόρυξη και αποθήκευση	4.2
Αποθήκευση και χρήση	39.0
HFO με πλυντρίδα (σύνολο)	44.3
Εξόρυξη και αποθήκευση	4.3
Αποθήκευση και χρήση	40.0
MGO (σύνολο)	41.5
Εξόρυξη-Αποθήκευση	4.5
Αποθήκευση και χρήση	37.0
GTL (σύνολο)	47.0
Εξόρυξη και αποθήκευση	10.0
Αποθήκευση και χρήση	37.0
MGO και επεξεργασία καυσαερίων με SCR (σύνολο)	43.1
Εξόρυξη και αποθήκευση	6.1
Αποθήκευση και χρήση	37.0
GTL και επεξεργασία καυσαερίων με SCR (σύνολο)	49.0
Εξόρυξη και αποθήκευση	12.0
Αποθήκευση και χρήση	37.0
LNG από Βόρειο Θάλασσα (σύνολο)	38.0
Εξόρυξη και αποθήκευση	4.8
Αποθήκευση και χρήση	33.2
LNG από Κατάρ (σύνολο)	40.0
Εξόρυξη και αποθήκευση	7.0
Αποθήκευση και χρήση	33.0

Πίνακας 4.6 Σύγκριση περιβαλλοντικής καυσίμων που χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία έπειτα από Ανάλυση Κύκλου Ζωής ως προς το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη.

Ακόμη, οι εν λόγω εκπομπές εκτιμώνται ως αρκετά υψηλότερες εν συγκρίσει με τα υπόλοιπα σενάρια που εξετάζονται (συγκεκριμένα $4 \text{ g CO}_2\text{-eq}/(\text{t}\cdot\text{km})$ σε σχέση με το $1 \text{ g CO}_2\text{-eq}/(\text{t}\cdot\text{km})$ ή λιγότερο το οποίο αντιστοιχεί στα άλλα σενάρια). Οι ισοδύναμες αυτές εκπομπές αφορούν κυρίως τις διαρροές μεθανίου από τον κινητήρα, αλλά γενικώς σχετίζονται με τον συνολικό κύκλο ζωής του LNG. Επίσης, η ποσοτικοποίηση των συγκεκριμένων εκπομπών είναι αρκετά δύσκολη, γεγονός που σημαίνει σημαντικό βαθμό αβεβαιότητας σε ό,τι αφορά την εκτίμηση του συνολικού περιβαλλοντικού αποτυπώματος της αξιοποίησης του LNG, τουλάχιστον αναφορικά με τις επιπτώσεις της στο φαινόμενο του θερμοκηπίου [2].

Ειδικότερα, η εργασία [2] καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η εξάρτηση αυτού του αποτυπώματος από τις ποικίλες διαρροές μεθανίου είναι αρκετά έντονη και, ως εκ τούτου, είναι αναγκαία η βέλτιστη διαχείριση του καυσίμου καθ' όλα τα στάδια της χρήσης του (Σχήμα 4.3). Για παράδειγμα, ο εξοπλισμός που σχετίζεται με τη διαχείρισή του θα πρέπει να συντηρείται κατάλληλα και να επιβλέπεται ορθά, ενώ θα πρέπει να λειτουργούν αυτοματοποιημένα συστήματα πρόληψης, ανίχνευσης και αντιμετώπισης των διαρροών..



Σχήμα 4.3 Εξάρτηση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από τις ποικίλες διαρροές του μεθανίου.

Ταυτοχρόνως, απαιτείται η εκπόνηση περαιτέρω ερευνών με αντικείμενο την ποσοτικοποίηση των συγκεκριμένων διαρροών σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής και, ειδικότερα, στην αξιοποίησή του ως καυσίμου ναυτιλίας σε κινητήρες διπλού καυσίμου.

4.3 Κατανάλωση ενεργειακών πόρων

Η περιβαλλοντική βιωσιμότητα ενός καυσίμου (και ενός οποιουδήποτε προϊόντος) σχετίζεται όχι μόνον με την «άμεση» επιβάρυνση που προκαλείται από τις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων που προκύπτουν από την καύση του, αλλά και από τον βαθμό στον οποίον αξιοποιείται αποδοτικά η περιεχόμενη σε αυτό ενέργεια.

Προς αυτή την κατεύθυνση ο ρόλος των εγκαταστάσεων συστημάτων ανάκτησης ενέργειας είναι αποφασιστικός, οπότε τίθεται το ερώτημα ποια συστήματα ανάκτησης είναι τα βέλτιστα και σε ποιες περιπτώσεις. Σημειωτέον δε ότι στα συστήματα αυτά εντάσσονται τα συστήματα οργανικού κύκλου Rankine (Organic Rankine Cycle, ORC), τα κελία καυσίμων και οι λέβητες ανάκτησης θερμότητας. Παρακάτω θα παρουσιαστούν τα πιθανά σενάρια ενεργειακής ανάκτησης εν σχέσει με τους αντίστοιχους ρύπους που εκπέμπονται, σύμφωνα με την ανάλυση των Burel et al. στην εργασία τους [5] με αντικείμενο τη λειτουργία δεξαμενόπλοιου “Handysize”.

Στα σενάρια που εξετάζονται, και στα οποία θεωρείται ότι το LNG εμφανίζει τις καλύτερες περιβαλλοντικές επιδόσεις σε σχέση με τα υγρά ναυτιλιακά καύσιμα (τουλάχιστον σε ό,τι αφορά την καύση του) το συγκεκριμένο δεξαμενόπλοιο λειτουργεί με τη βοήθεια κινητήρα διπλού καυσίμου και ένα σύστημα που καθιστά εφικτό τον έλεγχο της ισχύος (PTI/PTO).

Στο σύστημα που αφορά τη διαχείριση της ενέργειας εντάσσονται δύο λέβητες αερίου με απόδοση της τάξης του 88%. Η θερμική ισχύς που χρησιμοποιείται για την πρόωση του σκάφους είναι συνάρτηση της ταχύτητας και σχετίζεται με το ποσοστό κατά το οποίο μεταβάλλεται η ποσότητα του φυσικού αερίου εντός του συστήματος εξαερώσεως.

Τα σενάρια ανάκτησης ενέργειας, για κάθε ένα από τα οποία υπολογίστηκαν η ενεργειακή απόδοση, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, αλλά και η κατανάλωση του καυσίμου (Σχήματα 4.4 – 4.6) έχουν ως εξής:

1. Καμία ανάκτηση ενέργειας.
2. Ανάκτηση χρήσει λέβητα ανάκτησης.
3. Εγκατάσταση ενός συστήματος ORC.
4. Εγκατάσταση ενός συστήματος ORC, καθώς και ανάκτηση ενέργειας με τη βοήθεια του συμπυκνωτή του εν λόγω συστήματος.

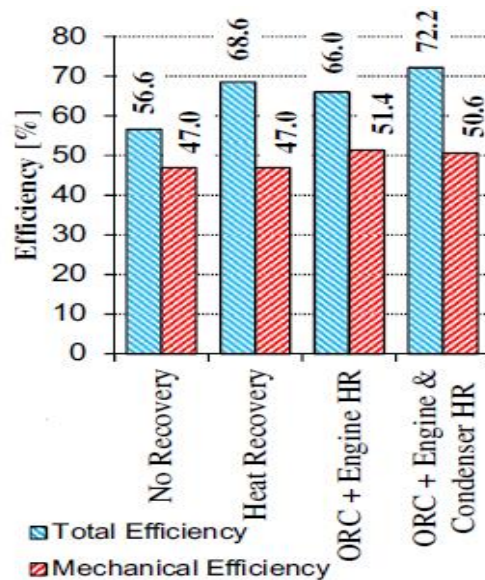
Όπως αναμένεται, η ανακτώμενη ενέργεια και η ηλεκτρική ενέργεια μειώνονται με τον περιορισμό του φορτίου της μηχανής.

Πρέπει να σημειωθεί ότι στη συνολική απόδοση υπεισέρχονται τόσο η ενέργεια που αξιοποιείται για θέρμανση, αλλά και για τη διατήρηση του φορτίου που μεταφέρεται σε κατάλληλη θερμοκρασία. Η μηχανική απόδοση ορίζεται ως ο λόγος της μηχανικής και της ηλεκτρικής ισχύος ως προς την ενέργεια που περιέχεται στο καύσιμο.

Συμπεραίνεται δε ότι, εφόσον δεν υφίσταται σύστημα ενεργειακής ανάκτησης, η ενεργειακή απόδοση στην περίπτωση που διεξάγεται δρομολόγιο με δύο διαδρομές υπολογίζεται ως 56,7%.

Η δε μηχανική απόδοση ανέρχεται στο 47% και οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε 30.850 tn σε ετήσια βάση. Η κατανάλωση LNG εκτιμάται ως 11.220 tn ανά έτος.

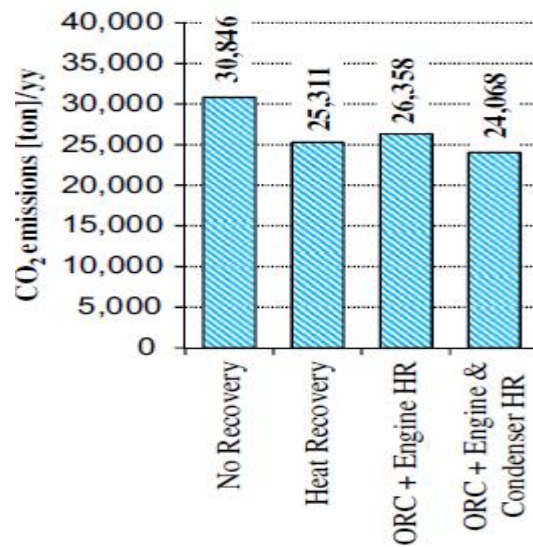
Στο δεύτερο σενάριο η μηχανική απόδοση εκτιμάται ως σταθερή, όμως η συνολική απόδοση ανέρχεται σε 68,6%. Σε αυτή την περίπτωση παρατηρείται δραστική μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, καθώς και της κατανάλωσης του καυσίμου.



Σχήμα 4.4 Συνολική απόδοση και μηχανική απόδοση για τα εξεταζόμενα σενάρια ενεργειακής ανάκτησης.

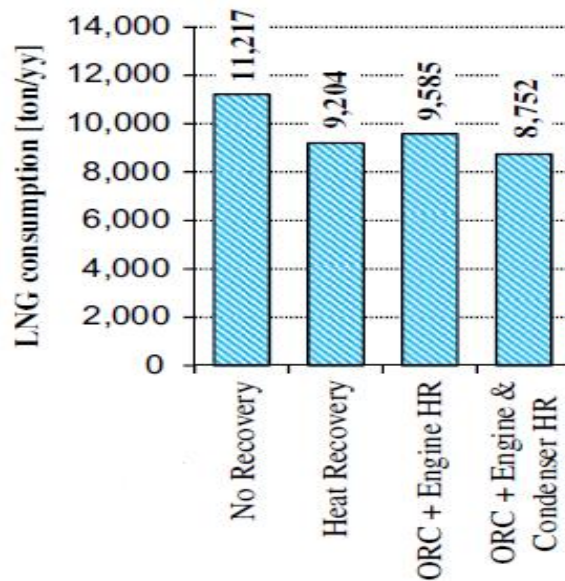
Στο τρίτο σενάριο εκτιμήθηκε αύξηση της μηχανικής απόδοσης στο 51,4% και περιορισμός της συνολικής απόδοσης, καθώς το μεγαλύτερο μέρος της θερμικής ισχύος δεν μπορεί να ανακτηθεί, ώστε να πραγματοποιηθεί η θέρμανση του φορτίου.

Στο τέταρτο σενάριο η μηχανική απόδοση ανήλθε σε παρόμοια επίπεδα, ήτοι 50,6%, όμως εκτιμήθηκε μεγαλύτερη συνολική απόδοση (72,2%), ανώτερη κατά 5% σε σύγκριση με τη λειτουργία τυπικού δεξαμενόπλοιου που συνήθως αντιστοιχεί στο δεύτερο σενάριο. Στην περίπτωση που δεν απαιτείται η διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας, είναι δυνατή η εξοικονόμηση LNG κατά 9%.



Σχήμα 4.5 Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για τα εξεταζόμενα σενάρια ενεργειακής ανάκτησης.

Εν τούτοις, ακόμη και στις περιπτώσεις απουσίας συστήματος ενεργειακής ανάκτησης, η περιβαλλοντική επίδοση του σκάφους το οποίο κινείται με χρήση LNG είναι, αναφορικά με την καύση καθεαυτή, βελτιωμένο σε σύγκριση με το ίδιο σκάφος που κινείται με τη βοήθεια HFO



Σχήμα 4.6 Κατανάλωση φυσικού αερίου για τα εξεταζόμενα σενάρια ενεργειακής ανάκτησης.

Στην τελευταία περίπτωση, εφόσον ληφθεί υπ' όψιν η ίδια ενεργειακή απόδοση, θερμογόνος δύναμη του καυσίμου της τάξης των 40,8 MJ/kg και ο συντελεστής εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα ίσος με 3,1 kg/kg HFO, η κατανάλωση του καυσίμου ανέρχεται στους 13.200 τν σε ετήσια βάση, ενώ οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα 41.100 τν σε ετήσια βάση..

4.4 Επιπτώσεις από θαλάσσιο ατύχημα

Στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που ενέχει η χρήση των υγρών ορυκτών καυσίμων περιλαμβάνεται και η θαλάσσια ρύπανση εξαιτίας ατυχήματος. Οι πετρελαιοκηλίδες που σε αυτή την περίπτωση μπορεί να δημιουργηθούν συνιστούν, εφόσον το ατύχημα σχετίζεται με δεξαμενόπλοιο μεταφοράς πετρελαίου ή υγρού ναυτιλιακού καυσίμου, σημαντική πηγή ρύπανσης των θαλάσσιων υδάτων. Όπως είναι ευνόητο, το συγκεκριμένο φαινόμενο είναι περισσότερο έντονο σε ζώνες μεγάλης παραγωγής.

Οι υγροί υδρογονάνθρακες ως ελαφρύτεροι σε σχέση με το νερό επιπλέουν επί της υδάτινης επιφάνειας. Καθώς οι υδρογονάνθρακες θα βρεθούν στα θαλάσσια ύδατα ξεκινάει η φυσική διαδικασία βιοδιάσπασής τους από τους μικροοργανισμούς που διαθέτουν αυτή την ικανότητα. Έπειτα από περίπου τρεις μήνες μετά το ατύχημα το πετρελαϊκό υπόλειμμα αποτελείται από υδρόφοβο τμήμα, συσσωματωμένο σε σβώλους, και από υδρόφιλο τμήμα που προσβάλλει σημαντικές ποσότητες νερού και τρέπεται σε γαλάκτωμα παχύρρευστης φύσεως το οποίο λαμβάνει τη μορφή ελαιώδους ιλύος.

Το στρώμα που παραμένει στην επιφάνεια των θαλάσσιων υδάτων περιορίζει στο ελάχιστο τον εμπλουτισμό του νερού με ατμοσφαιρικό οξυγόνο και παρεμποδίζει την ηλιακή ακτινοβολία να διεισδύσει στο θαλάσσιο βάθος, ώστε να πραγματοποιηθεί η φωτοσύνθεση. Επίσης, συνεπάγεται αύξηση των θερμοκρασιακών επιπέδων του νερού και την υπέρμετρη ανάπτυξη των μικροοργανισμών οι οποίοι καταναλώνουν οξυγόνο. Τα φυτά και τα μαλάκια είναι οργανισμοί αρκετά ευπαθείς στη συγκεκριμένη ρύπανση, καθώς προκαλείται δηλητηρίασή τους και ο θάνατός τους από ασφυξία. Το ίδιο παθαίνουν και τα ψάρια τα οποία δεν έχουν εγκαταλείψει εγκαίρως την περιοχή. Η πίσσα που καταλήγει στα παράλια προκαλεί την καταστροφή φυτικών και ζωικών οργανισμών και εκτιμάται ότι για τη μερική αποκατάσταση της παράκτιας χλωρίδας απαιτούνται περί τα δύο με τρία έτη.

Το πετρέλαιο συνεπάγεται δυσμενείς επιπτώσεις και στα πτηνά του θαλάσσιου χώρου. Τα θαλασσοπούλια διατηρούν σταθερά υψηλή θερμοκρασία σώματος, ενώ τα φτερά αυτών λειτουργούν ως θερμομονωτές και ως μέσο στεγανοποίησής τους έναντι του νερού. Τα πτηνά που έρχονται σε επαφή με το πετρέλαιο χάνουν τη συγκεκριμένη δυνατότητα και πεθαίνουν από ασφυξία μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα. Επιπλέον, η επαφή τους με το πετρέλαιο δυσχεραίνει την πτήση τους και, ως εκ τούτου, εκτίθενται περισσότερο στα τοξικά συστατικά των πετρελαιοκηλίδων ή πεθαίνουν λόγω δύσπνοιας [23].



Σχήμα 4.7 Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις ενός θαλάσσιου ατυχήματος στο ζωικό βασίλειο

Αξίζει δε να αναφερθεί ότι μία πετρελαιοκηλίδα επιδρά στο σύνολο της διατροφικής αλυσίδας. Ακόμη, μπορεί να επηρεάσει το ανοσοποιητικό σύστημα, την ανάπτυξη, καθώς και την ψυχολογία διαφόρων οργανισμών, με κυριότερο όμως αποτέλεσμα τον περιορισμό ή ακόμη και την εξαφάνιση κάποιων πληθυσμών της θαλάσσιας πανίδας και χλωρίδας στην πληγείσα περιοχή. Οι προκληθείσες βλάβες στους διάφορους οργανισμούς, καθώς και ο χρόνος αποκατάστασης των πληθυσμών και των οικοσυστημάτων ποικίλλουν από είδος σε είδος [28].

5 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

5.1 Ηλιακή ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια είναι ουσιαστικά ανεξάντλητη, καθώς προέρχεται από τον ήλιο. Είναι εντελώς φιλική προς το περιβάλλον, ενώ η μετατροπή της σε ηλεκτρισμό δεν συνεπάγεται ρύπανση. Η εκμετάλλευσή της διακρίνεται σε δύο κατηγορίες εφαρμογών:

1. Στα ενεργητικά και παθητικά ηλιακά θερμικά συστήματα
2. Στα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Τα πρώτα εκμεταλλεύονται την εκπεμπόμενη διά της ηλιακής ακτινοβολίας θερμότητα, ενώ η λειτουργία των δεύτερων εδράζεται στη μετατροπή της ακτινοβολίας σε ηλεκτρισμό διά μέσου του φωτοηλεκτρικού φαινομένου.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούν ηλεκτρογεννήτριες συγκροτημένες από πολλά επιμέρους στοιχεία σε επίπεδη διάταξη. Ειδικότερα, στον τομέα της ναυτιλίας οι εν λόγω συλλέκτες μπορούν να περιορίσουν τη συνολική κατανάλωση καυσίμου κατά 3.5% για δεξαμενόπλοια και κατά 2.5% για οχηματαγωγά.

Ένα παράδειγμα αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας στη ναυτιλία αφορά το σκάφος Solar Eagle και άλλα τρία παρόμοια πλοία. Τα σκάφη κινούνται επί τη βάση ενός υβριδικού συστήματος υγρού ναυτιλιακού καυσίμου και φωτοβολταϊκών πάνελ. Η συγκεντρωμένη ηλεκτρική ενέργεια που έχει προκύψει από την ηλιακή ακτινοβολία αποθηκεύεται και χρησιμοποιείται όταν το σκάφος εξέρχεται από το λιμάνι ή εισέρχεται σε αυτό. Όταν το σκάφος κινείται με μεγαλύτερη ταχύτητα στον ωκεανό χρησιμοποιεί ντήζελ για την πρόωσή του [27].

5.2 Αιολική ενέργεια

Η αιολική ενέργεια προέρχεται από τη μηχανική ενέργεια του ανέμου, από τις κινήσεις αερίων μαζών από ψυχρότερες σε θερμότερες περιοχές. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης αφορούν την αποκεντρωμένη της φύση και το γεγονός ότι δεν συνεπάγεται την έκλυση αερίων θερμοκηπίου. Επί του παρόντος, η αιολική ενέργεια αποτελεί την οικονομικότερη επιλογή σε σχέση με τις υφιστάμενες μορφές ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές [12].

Ειδικότερα, στη ναυτιλία [12], η αιολική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τους εξής τρόπους:

1. Με παραδοσιακά πανιά, ούτως ώστε να εξασφαλισθεί η παροχή συμπληρωματικής ισχύος για τη λειτουργία του πλοίου. Εν τούτοις, συνήθως δεν είναι πρακτικά εφαρμόσιμη, αφού η κλίση του πλοίου μπορεί να είναι ανάλογη των καιρικών συνθηκών.
2. «Αετός»: Η χρήση του προϋποθέτει την εγκατάσταση πολύπλοκων συστημάτων ανάκτησης, εκτόξευσης και ελέγχου. Κατά την εταιρεία Skysails, η χρήση αετών μπορεί να συνεπάγεται περιορισμό καυσίμου από 10% έως 15% .
3. Στέρια ιστία σε σχήμα πτερυγίου: Η διάταξη προσιδιάζει τα πτερύγια αεροπλοίων, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται ώθηση με μικρότερη αντίσταση σε σχέση με τα συμβατικά πανιά. Εκτιμάται ότι μπορεί να επιτευχθεί σημαντική εξοικονόμηση καυσίμου (21% για δεξαμενόπλοια και 8,5% για οχηματαγωγά).
4. Κινητήρες Flettner: Σε αυτή την περίπτωση εγκαθίστανται ρότορες επί του σκάφους οι οποίοι μετατρέπουν σε μηχανική ενέργεια την αιολική με χρήση του φαινομένου της δυναμικής άνωσης. Η κίνηση του πλοίου επωφελείται από την επιπρόσθετη ώση με συνέπεια τον περιορισμό της κατανάλωσης καυσίμου. Για παράδειγμα, εκτιμάται ότι για ένα φορτηγό Supramax που είναι εξοπλισμένο με τέσσερις αιολικούς κινητήρες μπορεί να εξοικονομηθούν 1.023 τν καυσίμου σε ημερήσια βάση.
5. «Λίπανση» με τη βοήθεια αέρα: Εναλλακτικά, ο συμπιεσμένος αέρας μπορεί να διέλθει διά μέσου μίας εσοχής του κάτω τμήματος του κύτους του σκάφους και κατ' αυτόν τον τρόπο να μειωθεί η αντίσταση μεταξύ της επιφάνειας της γάστρας και του νερού, με αποτέλεσμα τον περιορισμό της απαιτούμενης ισχύος πρόωσης. Εκτιμάται ότι με τη χρήση αυτής της μεθόδου μπορεί να εξοικονομηθεί καύσιμο κατά 15% για δεξαμενόπλοια, 7,5% για πλοία που μεταφέρουν εμπορευματοκιβώτια και 3,5% για οχηματαγωγά.

Η ιρλανδική κατασκευάστρια εταιρεία B9 Shipping κάνει λόγο για ένα πρωτοποριακό σύστημα ιστίων (“Dynarig”) που αξιοποιεί την αιολική ενέργεια στον μέγιστο βαθμό, υποστηρίζοντας ότι τα ιστία θα επαρκούν για την κίνηση ενός σκάφους σε ποσοστό 60% και άνω των δρομολογίων του.

Επιπλέον, το MV Beluga SkySails (της γερμανικής κατασκευάστριας εταιρείας Beluga Fleet Management GmbH) αποτελεί γερμανικό σκάφος για τη μεταφορά εμπορευματοκιβωτίων και το σύστημα πρόωσης περιλαμβάνει έναν «αετό» που προσιδιάζει ένα αλεξίπτωτο επιφάνειας 600 m². Η εγκατάσταση του συστήματος μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της κατανάλωσης καυσίμου από 30% έως 50% αναλόγως των ανέμων οι οποίοι επικρατούν στη θάλασσα. Εκτιμάται δε ότι, η συ-

γκεκριμένη τεχνολογία δύναται να εφαρμοστεί στα 60.000 εκ των 100.000 πλοίων, ανεξαρτήτου τύπου τα οποία έχουν καταγραφεί στον κατάλογο της Lloyds [27].

5.3 Βιοκαύσιμα

Στα βιοκαύσιμα υπεισέρχονται τόσο η βιομάζα, το βιοαέριο και τα υγρά βιοκαύσιμα που παράγονται με διάφορες χημικές διεργασίες. Τα τελευταία διακρίνονται σε βιοκαύσιμα πρώτης, δεύτερης και τρίτης γενιάς.

Στην πρώτη γενιά ανήκουν εκείνα τα οποία παράγονται με βάση καλλιέργειες που εναλλακτικά χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τροφών και σε αυτά εντάσσονται κυρίως το βιοντήζελ και η βιοαιθανόλη. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε μείγματα με ορυκτά καύσιμα (ντήζελ και βενζίνη αντιστοίχως).

Τα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς παράγονται με χρήση προηγμένων τεχνολογιών (π.χ. βιοαιθανόλη από λιγνοκυτταρινούχο ύλη), ενώ τα βιοκαύσιμα τρίτης γενιάς στηρίζονται στην ανάπτυξη φυκών. Το δε βιοαέριο αποτελεί μείγμα μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα και προέρχεται από την αναερόβια βιοαποικοδόμηση ύλης πλούσιας σε βιοαποικοδομήσιμο άνθρακα, όπως τα αστικά στερεά απόβλητα [30].

Η ιρλανδική κατασκευάστρια εταιρεία B9 Shipping αναπτύσσει σκάφη που θα λειτουργούν στη βάση υβριδικών συστημάτων, δηλαδή με χρήση αιολικής ενέργειας και βιοκαυσίμων. Τα σκάφη θα κινούνται κυρίως με τη βοήθεια του ανέμου. Μόνον σε περιπτώσεις νηνεμίας θα χρησιμοποιείται ο κινητήρας του σκάφους που θα καταναλώνει βιομεθάνιο παραγόμενο από οργανικά βιομηχανικά και αστικά απόβλητα.

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η άνοδος της τιμής των καυσίμων και οι δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις που ενέχει η χρήση μη επαρκώς επεξεργασμένων υδρογονανθράκων καθιστούν αναγκαίο τον μετασχηματισμό της ναυτιλίας με τέτοιον τρόπο ώστε ο συγκεκριμένος οικονομικός τομέας να είναι βιώσιμος από περιβαλλοντική και οικονομική άποψη. Οι ρυθμιστικές αρχές ήδη έχουν ασκήσει πιέσεις προς τον περιορισμό του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Σημείο σταθμός υπήρξε η δημοσίευση της MARPOL και ιδίως του Παραρτήματος VI που περιλαμβάνεται σε αυτήν.

Από τα ορυκτά καύσιμα που χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία ξεχωρίζουν τα MGO, HDO, HFO καθώς και το φυσικό αέριο, το οποίο μεταφέρεται και αποθηκεύεται ως LNG. Με βάση τις διάφορες περιβαλλοντικές αναλύσεις που έχουν αναφερθεί, σε ό,τι αφορά το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της καύσης, το φυσικό αέριο είναι το πλέον φιλικό προς το περιβάλλον, αφού η χρήση του συνεπάγεται τον περιορισμό των εκπομπών τοξικών ρύπων όσο και των αερίων θερμοκηπίου. Για την ακριβή, ωστόσο, εκτίμηση των συνολικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων της χρήσης του θα πρέπει να συνεκτιμώνται και τα στάδια εξόρυξης και διαχείρισης του φυσικού αερίου, ενώ επίσης είναι αναγκαίο να ελαχιστοποιούνται οι όποιες διαρροές μεθανίου στην ατμόσφαιρα.

Σε ό,τι αφορά τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αυτή μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να λειτουργήσει συμπληρωματικά ως προς την ισχύ που αποδίδεται με χρήση των ορυκτών καυσίμων. Σε αυτές τις περιπτώσεις, μπορεί να αξιοποιηθούν η ηλιακή ενέργεια, με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων, η αιολική ενέργεια και τα βιοκαύσιμα.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1	Πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας σε διεθνές επίπεδο (1990-2015) και προβολή αυτής έως το 2040.	1
Σχήμα 1.2	Καμπύλη απόσταξης βενζίνης κατά ASTM-D86	3
Σχήμα 1.3	Γεωλογικοί σχηματισμοί με πετρέλαιο, φυσικό αέριο και αλμυρό νερό	4
Σχήμα 1.4	Εκτιμώμενα αποθέματα φυσικού αερίου σε χώρες με τους μεγαλύτερους αποταμιευτήρες το 2014	8
Σχήμα 1.5	Διάγραμμα ροής τυπικού διυλιστηρίου	6
Σχήμα 1.6	Δεξαμενόπλοιο μεταφοράς LNG	9
Σχήμα 1.7	Στάδια διαχείρισης LNG	10
Σχήμα 3.1	“Creole Spirit”	22
Σχήμα 4.1	Εκπομπές οξειδίων του αζώτου	25
Σχήμα 4.2	ECAs	25
Σχήμα 4.3	Εξάρτηση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από τις ποικίλες διαρροές του μεθανίου	35
Σχήμα 4.4	Συνολική απόδοση και μηχανική απόδοση για τα εξεταζόμενα σενάρια ενεργειακής ανάκτησης	37
Σχήμα 4.5	Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για τα εξεταζόμενα σενάρια ενεργειακής ανάκτησης	38
Σχήμα 4.6	Κατανάλωση φυσικού αερίου για τα εξεταζόμενα σενάρια ενεργειακής ανάκτησης	38
Σχήμα 4.7	Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις ενός θαλάσσιου ατυχήματος στο ζωικό βασίλειο	40

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1	Τυπική στοιχειακή σύσταση του αργού πετρελαίου	2
Πίνακας 1.2	Σύσταση διαφόρων ειδών φυσικού αερίου που ανήκουν στις κατηγορίες του ανεξάρτητου και του παρελκόμενου γυσικού αερίου	7
Πίνακας 2.1	Προδιαγραφές MGO (DMA) κατά ISO 8217	13
Πίνακας 2.2	Προδιαγραφές HDO (DMB) κατά ISO 8217	14
Πίνακας 2.3	Προδιαγραφές HFO κατά ISO 8217	18
Πίνακας 4.1	Όρια περιεκτικότητας καυσίμου ναυτιλίας σε θείο	26
Πίνακας 4.2	Πρόγραμμα περιορισμού των εκπομπών NO _x	26
Πίνακας 4.3	Μείωση των εκπομπών οξειδίων του θείου, οξειδίων του αζώτου και των σωματιδιακών εκπομπών που οφείλονται στη χρήση υγρών ναυτιλιακών καυσίμων και τη χρήση του LNG	28
Πίνακας 4.4	Σύγκριση περιβαλλοντικής καυσίμων που χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία έπειτα από ανάλυση κύκλου ζωής ως προς τα δυναμικά οξίνισης των ωκεανών και ευτροφισμού	30
Πίνακας 4.5	Μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που οφείλονται στη χρήση υγρών ναυτιλιακών καυσίμων και τη χρήση του LNG	33
Πίνακας 4.6	Σύγκριση περιβαλλοντικής καυσίμων που χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία έπειτα από ανάλυση κύκλου ζωής ως προς το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη	34

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

- [1] Acciario M., Real option analysis for environmental compliance: LNG and emission control areas *Transport. Res. Part D: Transport. Environ*, 28, 2014, 41-50.
- [2] Bengtsson S., Andersson K., Fridell E., A comparative life cycle assessment of marine fuels: liquefied natural gas and three other fossil fuels. *Proc. Inst. Mech. Eng., Part M: J. Eng. Maritime Environ.* 225(2), 2011, 97–110.
- [3] British Petroleum (BP) Natural gas production. (2015). (<https://www.iea.org/weo2017/>)
- [4] [Brynolf S., Magnusson M., Fridell E., Andersson K., Compliance possibilities for the future ECA regulations through the use of abatement technologies or change of fuels. *Transp. Res. Part D: Transp. Environ.* 28, 2014, 6–18.
- [5] Burel F., Taccani R., Zuliani N., Improving sustainability of maritime transport through utilization of Liquefied Natural Gas (LNG) for propulsion. *Energy* 57, 2013, 412-420.
- [6] Cheremisinoff T.P., *Handbook of Air Pollution Prevention and Control*. Waltham, MA: Butterworth-Heinemann, (2002).
- [7] Corbett J.J., Fischbeck P., Emissions from Ships. *Science* 278(5339), 1997, 823-824.
- [8] Cozzani V., Rota R., Tugnoli A., et al., Safety of LNG Regasification Terminals: the Blue Book Approach. *Chemical Engineering Transactions* 34, 2011, 1105-1110.
- [9] Eyring V., Corbett J., Lee D.S., Winebrake J.J., Brief summary of the impact of ship emissions on atmospheric composition, climate, and human health. Document submitted to the Health and Environment sub-group of the International Maritime Organization. London: IMO Reports, (2007).
- [10] Gold T., The origin of natural gas and petroleum and the prognosis for future supplies. *Ann. Rev. Energy* 10, 1985, 53-77.
- [11] Guo B., Ghalamor A., *Natural Gas Engineering Handbook*. Houston, TX: Gulf Publishing Company, (2005).
- [12] IGU, Global LNG Carriers, (2019). (<https://www.igu.org/news-type/lng-2019>)

- [13] International Maritime Organization (IMO), Second IMO GHG Study 2009. London: IMO, (2009).
- [14] International Maritime Organization (IMO), Third IMO GHG Study 2014. London: IMO, (2014).
- [15] Maritime Connector, Arctic Princess, (2011).
(<http://maritime-connector.com/shi/arctic-princess-9271248/>)
- [16] Masouros, P.E. Corporate Law and Economic Stagnation: How Shareholder Value and Short-Termism Contribute to the Decline of the Western Economies. The Hague: Eleven International Publishing, (2013).
- [17] Olivier & Favennec, Analysis of cost structure and functions in oil transport and refining. Centre for Economics and Management, IFP School Rueil-Malmaison, (2005).
- [18] Posplech P. Full Speed Ahead with Gas. Marine News, 72, (2013).
- [19] Schuller O., Kupferschmid S., Hengstler J., Whitehouse S., Life Cycle GHG Emission Study on the Use of LNG as Marine Fuel, (2019).
(https://www.tradewindsnews.com/incoming/article1753510.ece5/BINARY/Well-to-wake_study.pdf%20)
- [20] Teekay, Timeline: Journey and Delivery of Creole Spirit, (2016).
(<https://www.teekay.com/blog/2016/03/16/journey-delivey-creole-spirit>)
- [21] Thompson H., Corbett J.J., Winebrake J.J., Natural gas as a marine fuel. Energy Policy 87, 2015, 153-167.
- [22] US Energy Information Administration (EIA), Annual Energy Outlook. Washington, DC: EIA Publications, (2016).
- [23] WLPGA, LPG for Marine Engines-The Marine Alternative Fuel, (2018).
(<https://www.wlpga.org/wp-content/uploads/2018/02/LPG-for-Marine-Engines-2017.pdf>)

ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ

- [24] Ασσαέλ Μ.Ι., Κακοσίμος Κ., Ανάλυση επικινδυνότητας. Θεσσαλονίκη, Τζιόλα (2008).
- [25] Αχιλιάς Δ., Ελευθεριάδης Ι., Νικολαΐδης Ν., Βιομηχανική οργανική χημεία. Α.Π.Θ. (2015).

- [26] Βασάλος Ι., Λεμονίδου Α., Ενεργειακές πρώτες ύλες. Α.Π.Θ. (2009).
- [27] Βολογιάννης Κ., Ναυτικοί κινητήρες και ναυτιλιακά καύσιμα. Μεταπτυχιακή διατριβή. Πανεπιστήμιο Πειραιώς (2017).
- [28] Κουρنيώτη Β., Εναλλακτικές πηγές ενέργειας στις θαλάσσιες μεταφορές. Περιβαλλοντικά οφέλη της νέας τεχνολογίας. Οικονομικά κόστη της τεχνολογικής αλλαγής για μια ναυτιλιακή εταιρεία. Μεταπτυχιακή διατριβή. Πανεπιστήμιο Πειραιώς (2013).
- [29] Μοίρα Π., Η θαλάσσια μεταφορά πετρελαίου. Απειλή στην ανάπτυξη του θαλάσσιου τουρισμού. (2007).
(<http://www.nomosphysis.org.gr/articles.php?artid=2831&lang=1&catid=1>)
- [30] Παπασταμάτη Ι.-Μ., Αξιολόγηση και τεχνική ανάλυση των απαιτούμενων παραμέτρων και υποδομών για την εγκατάσταση τερματικών σταθμών ανεφοδιασμού Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου σε λιμένες. Μεταπτυχιακή διατριβή. Πολυτεχνείο Κρήτης (2017).
- [31] Χατζηαντωνίου-Μαρούλη Κ., Δαβόρας Β., Βιοκαύσιμα, βιοαιθανόλη: συμβάλλουν στη βιώσιμη λύση του ενεργειακού προβλήματος (2012).
(<http://www.gcex.gr/wp-content/uploads/2012/03/46-B.-ΔΑΒΟΡΑΣ.pdf>)
- [32] Ναυτικά Χρονικά, Καινοτόμος η χρήση του LPG ως ναυτιλιακού καυσίμου, 10 Μαρτίου 2018.
(<http://www.naftikachronika.gr/2018/03/10/kainotomos-i-chrisi-tou-lpg-os-naftiliakou-kafsimou/>)