



ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ
ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΚΕΙΜΕΝΟ
ΑΚΑΔΗΜΙΩΝ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΚΑΥΣΙΜΑ ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ

ΘΕΝΙΑ Β. ΖΟΥΡΝΑΤΖΙΔΟΥ
ΒΑΣΙΛΗΣ Δ. ΣΤΑΜΑΤΟΠΟΥΛΟΣ

ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΤΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΚΑΥΣΙΜΑ-ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ

Θένια Ζουρνατζίδου

Χημικός Μηχανικός, MBA, MSc στην Προστασία Περιβάλλοντος και Βιώσιμη Ανάπτυξη

Βασίλης Σταματόπουλος

Εμπειρογνώμονας Καυσίμων Ναυτιλίας,
Διοίκηση Επιχειρήσεων, MBA σε Διαχείριση Ολικής Ποιότητας

ΑΘΗΝΑ
2025

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ

Η ναυτιλία βρίσκεται σε μια κρίσιμη καμπή της ιστορίας της. Ενώ παραμένει ο βασικός συνδετικός κρίκος του παγκόσμιου εμπορίου, μεταφέροντας περίπου το 90% των διεθνών εμπορευμάτων, καλείται ταυτόχρονα να ανταποκριθεί στις προκλήσεις της κλιματικής αλλαγής και της περιβαλλοντικής προστασίας. Στο επίκεντρο αυτής της μετάβασης βρίσκονται τα καύσιμα και τα λιπαντικά που τροφοδοτούν τα πλοία μας.

Επιπλέον, η διεθνής ναυτιλία βιώνει τη μεγαλύτερη τεχνολογική επανάσταση των τελευταίων αιώνων. Οι παραδοσιακές τεχνολογίες καυσίμων που βασίζονται στους υδρογονάνθρακες συνυπάρχουν πλέον με εναλλακτικά καύσιμα όπως το υδροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) και τα βιοκαύσιμα, ενώ εξερευνάται ακόμη και η χρήση μεθανόλης, αμμωνίας, υδρογόνου, πυρηνικής ενέργειας, καθώς και η εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την πρόωση των πλοίων.

Παράλληλα, αυτή η μετάβαση δεν είναι μόνο τεχνολογική αλλά και ρυθμιστική. Οι νέοι περιβαλλοντικοί κανονισμοί του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO), η στρατηγική για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και οι αυστηρότερες προδιαγραφές για τα καύσιμα χαμηλού θείου αναδιαμορφώνουν ριζικά τον κλάδο.

Το παρόν βιβλίο γράφτηκε με στόχο να καλύψει το ανανεωμένο αναλυτικό πρόγραμμα του μαθήματος «Καύσιμα - Λιπαντικά» των Ακαδημιών Εμπορικού Ναυτικού για την ειδικότητα των Μηχανικών, όπως αυτό εγκρίθηκε από το Υπουργείο Ναυτιλίας και Νησιωτικής Πολιτικής το 2023.

Το βιβλίο αυτό έχει σχεδιαστεί με γνώμονα να προσφέρει στους σπουδαστές και στις σπουδάστριες των Ακαδημιών Εμπορικού Ναυτικού μια ολοκληρωμένη κατανόηση των σύγχρονων καυσίμων και λιπαντικών ναυτιλίας. Από τη βασική χημεία των υδρογονανθράκων έως τις πιο προηγμένες τεχνολογίες εναλλακτικών καυσίμων, οι μελλοντικοί/ές μηχανικοί θα αποκτήσουν τις γνώσεις που απαιτούνται για να διαχειριστούν με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα τα συστήματα για την πρόωση και ενεργειακή τροφοδοσία των σύγχρονων πλοίων.

Το βιβλίο ακολουθεί τη δομή του εγκεκριμένου αναλυτικού προγράμματος και χωρίζεται σε δύο βασικά μέρη:

Στην Τεχνολογία Καυσίμων, ξεκινώντας από τις βασικές αρχές και τα παραδοσιακά καύσιμα όπως οι υδρογονάνθρακες, η βενζίνη και το ντίζελ, για να εξελιχθεί σε μια εκτενή παρουσίαση των εναλλακτικών καυσίμων που διαμορφώνουν το μέλλον της ναυτιλίας, όπως το LNG, το LPG, οι αλκοόλες, τα βιοκαύσιμα, η αμμωνία και το υδρογόνο, και φτάνει ακόμη και στην πυρηνική ενέργεια και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Στην Τεχνολογία Λιπαντικών, ξεκινώντας από τις βασικές αρχές της λίπανσης και καλύπτοντας τα διάφορα είδη λιπαντικών και τον ποιοτικό τους έλεγχο, για να φτάσει στα σύγχρονα βιο-λιπαντικά και τις περιβαλλοντικές πιστοποιήσεις που αποτελούν το μέλλον του κλάδου.

Επιπλέον, θέματα που δεν προβλέπονται από το ισχύον εκπαιδευτικό πρόγραμμα του Υπουργείου Ναυτιλίας και Νησιωτικής Πολιτικής, θεωρήθηκαν όμως απαραίτητα για τη γενικότερη επαγγελματική μόρφωση του μηχανικού του Εμπορικού Ναυτικού, αλλά και για την ενημέρωση στις νεότερες εξελίξεις, έχουν επίσης περιληφθεί. Τέτοια θέματα περιλαμβάνουν την αντιπροσωπευτική δειγματοληψία, τα συστήματα αποθείωσης (scrubbers), μετρητές μάζας ροής (MFMs) και άλλα σύγχρονα τεχνολογικά θέματα, που συμπληρώνουν την εκπαίδευση των μελλοντικών μηχανικών των πλοίων.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλουμε στην Επιτροπή Εκδόσεων του Ιδρύματος Ευγενίδου για την αμέριστη συνεργασία της με σκοπό την άρτια έκδοση του βιβλίου, καθώς και στον ομότιμο καθηγητή του ΕΜΠ κ. Μάριο Τσέζο για την επιστημονική επιμέλεια της έκδοσης.

Η συγγραφική ομάδα θα ήθελε ιδιαίτέρως να ευχαριστήσει κατά αλφαβητική σειρά:

- Τον κ. Αντώνη Γεώργαντζη για την πολύτιμη συνδρομή του στην παράγραφο του LPG.
- Τον κ. Ιωάννη Κουράση για την πολύτιμη συνδρομή του στην παράγραφο της πυρηνικής ενέργειας.
- Τον κ. Φώτη Μπελεξή για την πολύτιμη συνδρομή του στην παράγραφο για τα συστήματα αποθείωσης (scrubbers).
- Την κα Χρυσούλα Σωτηρίου για την πολύτιμη συνδρομή της στο κεφάλαιο για τα λιπαντικά.

Ιδιαίτερη αναφορά οφείλουμε να κάνουμε στο βιβλίο «Καύσιμα Ναυτιλίας» (εκδ. 2021) του Βασίλη και Δημήτρη Σταματόπουλου, στο οποίο βασίστηκαν τμήματα κεφαλαίων του παρόντος συγγράμματος. Επίσης, πρέπει να αναφέρουμε ότι ορισμένα κεφάλαια του παρόντος βιβλίου, όπως τα κεφάλαια 2.3 και 2.4 στηρίχθηκαν στην έκδοση του Ιδρύματος Ευγενίδου «Καύσιμα-Λιπαντικά» (2022) του Τριαντάφυλλου Παπαευαγγέλου. Αυτές οι εκδόσεις αποτέλεσαν σημαντικές πηγές αναφοράς για τη θεωρητική θεμελίωση των αντίστοιχων ενοτήτων.

Ελπίζουμε ότι το βιβλίο αυτό θα συμβάλει στη διαμόρφωση μιας νέας γενιάς μηχανικών ικανής να αντιμετωπίσει τις προκλήσεις του 21ου αιώνα, διατηρώντας παράλληλα την παράδοση αριστείας της ελληνικής ναυτιλίας.

Οι συγγραφείς
Βασίλης Σταματόπουλος
Θένια Ζουρνατζίδου

Βιογραφικά συγγραφέων

Η **Θένια Ζουρνατζίδου** είναι απόφοιτος της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ). Κατέχει το «Athens MBA» του Οικονομικού Πανεπιστημίου Αθηνών σε συνεργασία με το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ), καθώς και μεταπτυχιακό τίτλο (MSc) στην «Προστασία του Περιβάλλοντος και Βιώσιμη Ανάπτυξη» από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του ΑΠΘ. Το 2003 ξεκίνησε να εργάζεται στην Ασπροφός (Όμιλος ΕΛΠΕ), στη διεύθυνση Υγιεινής, Ασφάλειας και Περιβάλλοντος για 4 χρόνια, εκπονώντας μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων και διαχείριση αποβλήτων για διυλιστήρια και ΔΕΠΑ. Το 2007 εντάχθηκε στην Det Norske Veritas (DNV) ως Business Development Manager, ενώ το 2010 ανέλαβε τη διεύθυνση του γραφείου του Πειραιά. Από τον Οκτώβριο του 2016 έως και σήμερα εργάζεται στη Bureau Veritas (VeriFuel). Καθ' όλη τη διάρκεια των τελευταίων 18 χρόνων, έχει πραγματοποιήσει πολλές παρουσιάσεις και σεμινάρια για τα καύσιμα ναυτιλίας. Είχε την ολική επιμέλεια των εκδόσεων του βιβλίου «Καύσιμα Ναυτιλίας» (Βασίλη & Δημήτρη Σταματόπουλου, εκδ. 2018) και συμμετείχε και στη διόρθωση και επιμέλεια των κειμένων των εκδόσεων που ακολούθησαν.

Ο **Βασίλης Σταματόπουλος** είναι κάτοχος πτυχίου Bachelor και Master in Business Administration (MBA) με εξειδίκευση στη Διοίκηση Ολικής Ποιότητας από το Πανεπιστήμιο του Leicester. Εντάχθηκε στην Det Norske Veritas (DNV) το 1993 και ανέλαβε τη θέση του Περιφερειακού Διευθυντή των Πετρελαϊκών Υπηρεσιών της DNV για την Ευρώπη το 2010. Είναι συγγραφέας του βιβλίου «Καύσιμα Ναυτιλίας», το οποίο εκδόθηκε στα ελληνικά το 2018 και επανεκδόθηκε το 2021. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 25 ετών, έχει πραγματοποιήσει πολυάριθμες διαλέξεις και εκπαιδευτικά προγράμματα σε θέματα καυσίμων και έχει συμμετάσχει ως εμπειρογνώμονας σε διαφορές ποιότητας καυσίμων και αξιώσεις (bunker claims). Αποτελεί μέλος συμβουλευτικών επιτροπών και ομάδων εργασίας όπως η Υποεπιτροπή Bunker της Intertanko, η τεχνική επιτροπή ΕΛΟΤ ΕΤ66, ενώ ηγείται της ελληνικής ομάδας εργασίας CIMAC NMA – WG 7 για καύσιμα. Από την 1^η Οκτωβρίου 2015, ο Βασίλης ενσωματώθηκε στην Bureau Veritas (VeriFuel) και κατέχει σήμερα τη θέση του Παγκόσμιου Διευθυντή Επιχειρηματικής Ανάπτυξης.

Περιεχόμενα

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ | ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ

1.1 Εισαγωγή – Περιβαλλοντική συμμόρφωση στη ναυτιλία	1
1.2 Υγρά καύσιμα ναυτιλίας με βάση τους υδρογονάνθρακες.....	2
1.3 Αέρια – Υγροποιημένα καύσιμα ναυτιλίας.....	3
1.4 Εναλλακτικά καύσιμα ναυτιλίας.....	3

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ | ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

2.1 Εισαγωγή στις Μηχανές Εσωτερικής Καύσης και στους αεριοστρόβιλους.....	5
2.1.1 Γενικά.....	5
2.1.2 MEK τετράχρονες.....	6
2.1.3 MEK δίχρονες.....	7
2.1.4 Αεριοστρόβιλοι.....	7
2.2 Υγρά καύσιμα με βάση τους υδρογονάνθρακες.....	8
2.2.1 Προέλευση αργού.....	8
2.2.2 Το αργό πετρέλαιο	9
2.2.3 Υδρογονάνθρακες	10
2.2.4 Η διύλιση.....	10
2.2.5 Τύποι διυλιστηρίων	12
2.3 Ελαφριά κλάσματα απόσταξης αργού πετρελαίου ως καύσιμα – Βενζινοκινητήρες.....	15
2.3.1 Γενικά για τις βενζίνες.....	15
2.3.2 Ιδιότητες βενζίνης και προδιαγραφή ΕΛΟΤ EN 228:2014+A1:2017	16
2.3.3 Ποιότητα καύσης – Αριθμός οκτανίου.....	18
2.3.4 Λειτουργία βενζινοκινητήρα	21
2.4 Μεσαία κλάσματα απόσταξης αργού πετρελαίου ως καύσιμα – Κινητήρας ντίζελ	22
2.4.1 Στοιχεία καύσης στον πετρελαιοκινητήρα και το φαινόμενο του χτυπήματος.....	22
2.4.2 Παράγοντες που επηρεάζουν το χτύπημα στις πετρελαιομηχανές.....	25
2.4.3 Ιδιότητες ντίζελ και προδιαγραφή EN ISO 590:2022	26
2.4.4 Ρύπανση ατμόσφαιρας και καταλυτική τεχνολογία	28
2.5 Καύσιμα ναυτιλίας.....	29
2.5.1 Ταξινόμηση ναυτιλιακών καυσίμων βάσει περιεκτικότητας σε θείο.....	29
2.5.2 Τα βασικά χαρακτηριστικά των υπολειμματικών καυσίμων	29
2.5.3 Σύγκριση υπολειμματικών καυσίμων χαμηλού θείου (VLSFOs) και υψηλού θείου (HSFOs).....	36
2.5.4 Ανάμειξη καυσίμων	37
2.5.5 Προδιαγραφή ISO 8217:2024	40
2.5.6 Διαχείριση του καυσίμου στο πλοίο.....	48
2.5.7 Παράγοντες που επηρεάζουν την καύση	53
2.5.8 Συστήματα καθαρισμού καυσαερίων.....	55
2.6 Καύσιμα αεριοστροβίλων ναυτιλίας	57
2.6.1 Εισαγωγή.....	57
2.6.2 Γενικές απαιτήσεις για καύσιμα αεριοστροβίλων ναυτιλίας για εμπορικά πλοία.....	57
2.6.3 Ιδιότητες καυσίμου που επηρεάζουν την καύση	57
2.6.4 Καύσιμα αεριοστροβίλων ναυτιλίας	58
2.6.5 Τυπικές προδιαγραφές.....	58

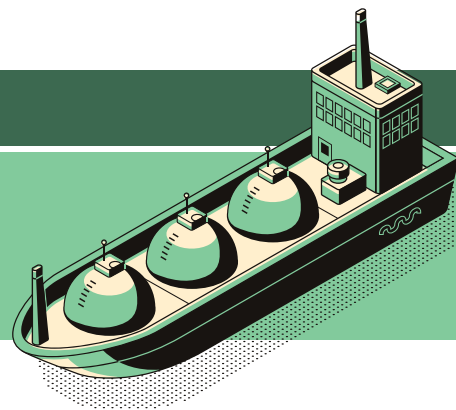
2.6.6 Βελτιωτικά και επεξεργασία καυσίμων.....	58
2.7 Παραλαβή ναυτιλιακών καυσίμων – Απαραίτητα έγγραφα που απαιτούνται για την παραλαβή.....	58
2.7.1 Το σημείο αναφοράς για τον ποσοτικό προσδιορισμό.....	59
2.7.2 Σύνοψη της διαδικασίας μέτρησης του καυσίμου κατά την παραλαβή.....	59
2.7.3 Απαραίτητα έγγραφα που παραδίδονται μετά το πέρας της πετρέλευσης.....	60
2.7.4 Μετρητές μάζας ροής.....	63
2.7.5 Δειγματοληψία.....	63
2.7.6 Διορθωτικές ενέργειες.....	66
2.7.7 Χημικά πρόσθετα.....	68
2.7.8 Εργαστηριακές δοκιμές ποιότητας καυσίμων.....	68
2.8 Επικινδυνότητα έκθεσης σε καύσιμα και όρια έκθεσης.....	69
2.8.1 Επικινδυνότητα έκθεσης.....	71
2.8.2 Υδρόθειο.....	71
2.9 Αέρια – Υγροποιημένα καύσιμα με βάση υδρογονάνθρακες.....	72
2.9.1 Το φυσικό αέριο.....	72
2.9.2 Υγροποιημένο φυσικό αέριο.....	73
2.9.3 Επεξεργασία και αποθήκευση επί του πλοίου.....	74
2.9.4 Υγραέριο.....	77
2.9.5 Περιβαλλοντικό πλαίσιο για LNG/LPG στη ναυτιλία.....	82
2.10 Αλκοόλες ως ναυτιλιακά καύσιμα.....	82
2.10.1 Παραγωγή μεθανόλης.....	82
2.10.2 Ιδιότητες μεθανόλης.....	83
2.10.3 Μεθανόλη ως ναυτιλιακό καύσιμο.....	83
2.10.4 Τύποι μεθανόλης.....	84
2.10.5 Πρότυπο ISO 6583:2024.....	86
2.10.6 Διαδικασία ανεφοδιασμού πλοίου με μεθανόλη.....	86
2.10.8 Η χρήση αιθανόλης ως καύσιμο πλοίων.....	89
2.10.9 Διαδικασία ανεφοδιασμού της αιθανόλης ως ναυτιλιακό καύσιμο.....	89
2.11 Βιοκαύσιμα ως ναυτιλιακά καύσιμα.....	89
2.11.1 Εισαγωγή.....	88
2.11.2 Βιομεθάνιο.....	89
2.11.3 Υγροποιημένο συνθετικό μεθάνιο.....	90
2.11.4 Βιοντίζελ.....	90
2.11.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα χρήσης των βιοκαυσίμων.....	95
2.12 Η αμμωνία ως ναυτιλιακό καύσιμο.....	96
2.12.1 Παραγωγή αμμωνίας.....	97
2.12.2 Ιδιότητες αμμωνίας.....	98
2.12.3 Ασφάλεια.....	99
2.12.4 Πρόωση πλοίων με αμμωνία – Τεχνολογίες στο πλοίο.....	100
2.12.5 Αποθήκευση και ανεφοδιασμός αμμωνίας.....	102
2.13 Υδρογόνο ως ναυτιλιακό καύσιμο.....	102
2.13.1 Παραγωγή υδρογόνου.....	103
2.13.2 Αποθήκευση υδρογόνου.....	105
2.13.3 Ασφάλεια.....	107
2.13.4 Το υδρογόνο ως ναυτιλιακό καύσιμο.....	107
2.14 Πυρηνική ενέργεια.....	108
2.14.1 Ο πυρήνας.....	108
2.14.2 Πυρηνική ενέργεια: Αλυσιδωτή αντίδραση σχάσης.....	108
2.14.3 Πυρηνικά καύσιμα και πυρηνική τεχνολογία.....	109
2.14.4 Ασφάλεια στην πυρηνική ενέργεια.....	111
2.14.5 Πυρηνική ενέργεια για την παραγωγή εναλλακτικών καυσίμων.....	111
2.14.6 Πυρηνική ενέργεια στη ναυσιπλοΐα.....	111
2.14.7 Προκλήσεις.....	112

2.14.8 Προοπτικές	112
2.15 Χρήση τεχνολογιών αξιοποίησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη ναυτιλία	113
2.15.1 Χρήση αιολικής ενέργειας στα πλοία	113
2.15.2 Χρήση ηλιακής ενέργειας στα πλοία	114

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ | ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ

3.1 Σκοπός και σημασία της λίπανσης	117
3.1.1 Τριβή	117
3.1.2 Θεωρία της λίπανσης - Λιπαντική μεμβράνη	118
3.1.3 Κύριοι παράγοντες που επιδρούν στη λίπανση	119
3.1.4 Λίπανση εδράνων	119
3.2 Είδη λιπαντικών	120
3.2.1 Γενικά χαρακτηριστικά λιπαντικού	120
3.2.2 Κατάταξη λιπαντικών	120
3.2.3 Παραγωγή και επεξεργασία ορυκτελαίων	123
3.2.4 Χημικά πρόσθετα	124
3.2.5 Συνθετικά λιπαντικά	124
3.2.6 Βιολιπαντικά	125
3.3 Ποιοτικός έλεγχος λιπαντικών	125
3.3.1 Μακροσκοπική εξέταση	125
3.3.2 Ιξώδες	125
3.3.3 Δείκτης ιξώδους	126
3.3.4 Σημείο ροής και σημείο θόλωσης	127
3.3.5 Σημείο ανάφλεξης	127
3.3.6 Αραίωση με καύσιμο	127
3.3.7 Αριθμός αλκαλικότητας	127
3.3.8 Αριθμός οξειδωσης	127
3.3.9 Περιεκτικότητα σε υγρασία	127
3.3.10 Περιεκτικότητα σε μέταλλα	128
3.3.11 Δείκτης ποσοτικοποίησης σωματιδίων	128
3.3.12 Αδιάλυτα σε πεντάνιο ή επτάνιο	128
3.3.13 Επιμόλυνση από σωματίδια	128
3.3.14 Ανάλυση με FT-IR	130
3.3.15 Δοκιμές λιπαντικών και λήψη επί του πλοίου	131
3.3.16 Δειγματοληψία	131
3.3.17 Αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών και διορθωτικές ενέργειες	132
3.3.18 Δοκιμές λιπαντικών επί του πλοίου και ανάλυση αποτελεσμάτων	133
3.4 Αλλοιώσεις λιπαντικών κατά τη χρήση – Ενδείξεις αλλοίωσης	133
3.5 Διαχείριση και φροντίδα λιπαντικών	134
3.6 Η ανάλυση – Πρόγραμμα ανάλυσης λιπαντικών	134
3.7 Αποθήκευση και χειρισμός λιπαντικών	136
3.7.1 Αποθήκευση λιπαντικού	136
3.7.2 Καθαρισμός λιπαντικού	136
3.7.3 Μείξη λιπαντικών	136
3.8 Τα λιπαντικά λίπη – Γράσα: τύποι και ιδιότητες	136
3.9 Μέτρα υγιεινής και ασφάλειας κατά τον χειρισμό λιπαντικών	137
Ευρετήριο	139
Βιβλιογραφία – Ηλεκτρονικές πηγές	140



1.1 Εισαγωγή - Περιβαλλοντική συμμόρφωση στη ναυτιλία

Μολονότι η συμμετοχή των θαλάσσιων μεταφορών στις συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου είναι σχετικά μικρή (σήμερα περίπου 2-3% των παγκόσμιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα), η προσδοκώμενη παγκόσμια οικονομική ανάπτυξη αναμένεται να συμβάλει σημαντικά στην αύξηση των συνολικών εκπομπών από τον τομέα της ναυτιλίας. Αυτό οφείλεται στον κομβικό ρόλο της ναυτιλίας στο παγκόσμιο σύστημα μεταφορών, καθώς περίπου το 90% των εμπορευμάτων διακινείται διά θαλάσσης. Για την αντιμετώπιση αυτής της πρόκλησης, διάφορες πολιτικές έχουν τεθεί σε εφαρμογή, με στόχο την έγκαιρη ανάσχεση της αυξητικής τάσης των εκπομπών. Συγκεκριμένα:

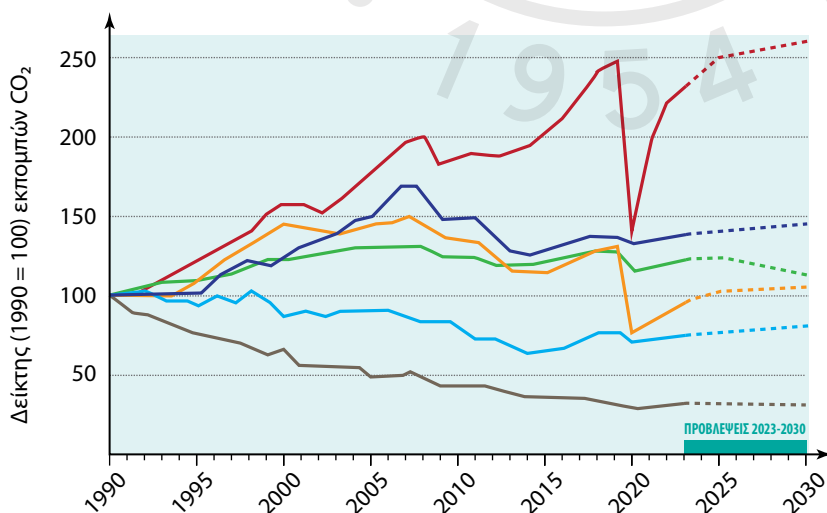
- 1) Έχουν θεσπιστεί αυστηροί περιορισμοί για τις εκπομπές ρύπων.
- 2) Προωθούνται εναλλακτικά καύσιμα χαμηλών εκπομπών.
- 3) Ενθαρρύνεται η υιοθέτηση νέων τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας και

4) εφαρμόζονται οικονομικά κίνητρα για τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος.

Το διάγραμμα του σχήματος 1.1 παρουσιάζει την εξέλιξη των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στον κλάδο των μεταφορών τόσο σε ευρωπαϊκό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο, συμπεριλαμβάνοντας ιστορικά δεδομένα και προβλέψεις έως το 2030. Η απεικόνιση αυτή καθιστά σαφή την ανάγκη για συντονισμένη δράση σε διεθνές επίπεδο, ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι μείωσης των εκπομπών που έχουν τεθεί από τους διεθνείς οργανισμούς.

Γίνεται έτσι κατανοητό γιατί η μείωση των εκπομπών αποτελεί έναν από τους πρωταρχικούς στόχους τόσο του **Διεθνούς Οργανισμού Ναυτιλίας** (International Maritime Organization – IMO) όσο και της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) στον τομέα της ναυτιλίας. Η προσπάθεια για τον περιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της ναυτιλίας ξεκίνησε ήδη από το 1960, όταν ο IMO άρχισε να εργάζεται συστηματικά πάνω στο ζήτημα.

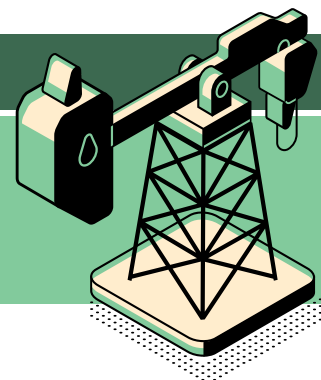
Ορόσημο στην προσπάθεια αυτή αποτέλεσε το Παράρτημα VI της Διεθνούς Σύμβασης (ΔΣ) για την



Σχ. 1.1

Μεταβολές των επιπέδων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από το 1990 μέχρι το 2030

— Σιδηρόδρομοι — Τοπικές αερογραμμές — Διεθνείς αερογραμμές
 — Χερσαίες μεταφορές — Τοπικές θαλάσσιες μεταφορές — Διεθνείς θαλάσσιες μεταφορές



2.1 Εισαγωγή στις Μηχανές Εσωτερικής Καύσης και στους αεριοστρόβιλους

2.1.1 Γενικά

Οι Μηχανές Εσωτερικής Καύσης (ΜΕΚ) αποτελούν τις κυρίαρχες πηγές ενέργειας στον παγκόσμιο εμπορικό στόλο, εξασφαλίζοντας τόσο την κίνηση των πλοίων όσο και την παραγωγή ηλεκτρικής, καθώς και άλλων μορφών ενέργειας για τις λειτουργικές ανάγκες του πλοίου και τη διαβίωση πληρώματος και επιβατών.

Η ιστορία των εμβολοφόρων ή παλινδρομικών ΜΕΚ ξεκινά το 1876 με τη μηχανή ανάφλεξης με σπινθήρα του Nikolaus Otto¹ και συνεχίζεται το 1892 με τη μηχανή ανάφλεξης με συμπίεση του Rudolf Diesel².

Η βασική αρχή λειτουργίας των ΜΕΚ είναι η μετατροπή της χημικής ενέργειας των υδρογονανθράκων σε ωφέλιμη μηχανική ενέργεια. Κατά τη λειτουργία τους, η χημική ενέργεια του καυσίμου μετατρέπεται αρχικά σε θερμική ενέργεια μέσω της διαδικασίας καύσης που συντελείται εντός των κυλίνδρων. Το εργαζόμενο μέσο αποτελείται αρχικά από το μείγμα καυσίμου-αέρα πριν την καύση και στη συνέχεια από τα καυσαέρια που προκύπτουν μετά την καύση. Η ενέργεια που απελευθερώνεται κατά την εκτόνωση αυτών των καυσαερίων μετατρέπεται τελικά σε μηχανικό έργο, το οποίο αξιοποιείται για την κίνηση του πλοίου ή την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο βασικός κινηματικός μηχανισμός των εμβολοφόρων παλινδρομικών ΜΕΚ αποτελείται από τρία θεμελιώδη εξαρτήματα:

- 1) Το **έμβολο** (που εκτελεί την παλινδρομική κίνηση).
- 2) Τον **διωστήρα** (το συνδετικό δηλ. εξάρτημα μεταξύ εμβόλου και στροφάλου) και
- 3) Τον **στρόφαλο** (που εκτελεί την περιστροφική κίνηση).

Μέσω αυτού του μηχανισμού, η ευθύγραμμη παλινδρομική κίνηση που εκτελούν τα έμβολα εντός των κυλίνδρων μετατρέπεται σε περιστροφική κίνηση

του στροφαλοφόρου άξονα μέσω των διωστήρων, επιτρέποντας έτσι την αξιοποίηση της ενέργειας που απελευθερώνεται κατά την καύση του μείγματος καυσίμου-αέρα.

Υπάρχουν πολλοί τύποι ΜΕΚ, που μπορούν να ταξινομηθούν με διάφορους τρόπους. Η ταξινόμηση των ΜΕΚ που χρησιμοποιούνται στα πλοία συνήθως γίνεται:

1) Με βάση την *εφαρμογή* σε **κύριες** μηχανές που χρησιμοποιούνται για την πρόωση του πλοίου και σε **βοηθητικές** μηχανές που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (ηλεκτροκινητήρες μηχανημάτων).

2) Με βάση τον *αριθμό περιστροφών* του στροφαλοφόρου άξονα σε σχέση με τον **κνωδακοφόρο** (camshaft), για την ολοκλήρωση του κύκλου λειτουργίας, διακρίνονται σε **δίχρονες μηχανές** (two-strokes) και **τετράχρονες μηχανές** (four-strokes). Ο κνωδακοφόρος είναι ένας περιστρεφόμενος άξονας με έκκεντρες προεξοχές, που χρησιμοποιείται στις ΜΕΚ για να ελέγχει το άνοιγμα και το κλείσιμο των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής. Κάθε προεξοχή του άξονα ενεργοποιεί μια βαλβίδα σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή του κύκλου λειτουργίας της μηχανής.

3) Με βάση το *είδος του καυσίμου* που χρησιμοποιείται σε μηχανές όπως **βαρέος υπολειμματικού καυσίμου** (μαζούτ ή Heavy Fuel Oil), **μηχανές ελαφρών καυσίμων** (ντίζελ), **μηχανές αέριων καυσίμων** και **φυσικού αερίου** και **μηχανές διπλού καυσίμου**, που μπορούν να καταναλώσουν δύο είδη καυσίμων.

4) Με βάση την *ταχύτητα περιστροφής* του στροφαλοφόρου άξονα - στροφές ανά λεπτό (revolutions per minute – rpm), σε **αργόστροφες μηχανές** (έως 350 rpm), **μεσόστροφες μηχανές** (έως 1.500 rpm), **πολύστροφες μηχανές** (έως 5.000 rpm) και **ταχύστροφες μηχανές** (από 5.000 rpm).

5) Με βάση τη *φορά περιστροφής* του στροφαλοφόρου άξονα, διακρίνονται σε **δεξιόστροφες**, **αριστερόστροφες** και **αναστρεφόμενες μηχανές** ή **μη αναστρεφόμενες μηχανές**.

1. Γερμανός μηχανικός (1832 – 1891)

2. Γερμανός μηχανικός και εφευρέτης (1858 – 1913)

6) Με βάση τον βασικό σχεδιασμό του κινητήρα και τη διάταξη των κυλίνδρων, π.χ. εμβολοφόρες. Τέλος, με βάση τον αριθμό των κυλίνδρων σε μονοκύλινδρες και πολυκύλινδρες.

7) Με βάση τον τρόπο που μεταδίδει την κίνηση στην έλικα ή στο μηχανήμα που λειτουργούν, διακρίνονται σε **μηχανές απευθείας μετάδοσης** και σε **μηχανές μέσω μειωτήρα** (γρναζιών).

2.1.2 ΜΕΚ τετράχρονες

Ο τετράχρονος κινητήρας κυριαρχεί στις σύγχρονες εφαρμογές μεταφορών, αποτελώντας την προτιμώμενη επιλογή στη συντριπτική πλειονότητα των επιβατικών οχημάτων, μοτοσικλετών και πολλών θαλάσσιων σκαφών. Η ονομασία του προέρχεται από τον χαρακτηριστικό κύκλο λειτουργίας του, ο οποίος ολοκληρώνεται σε τέσσερις διακριτές φάσεις, που αντιστοιχούν σε δύο πλήρεις περιστροφές του στροφαλοφόρου άξονα (720°). Οι τέσσερις αυτές φάσεις –**εισαγωγή, συμπίεση, καύση/εκτόνωση** και **εξαγωγή**– συνθέτουν έναν ολοκληρωμένο θερμοδυναμικό κύκλο, κατά τον οποίο το καύσιμο μετατρέπεται σε ωφέλιμο μηχανικό έργο με υψηλή θερμική απόδοση και ελεγχόμενες εκπομπές ρύπων (σχ. 2.1).

► Αναλυτικά στάδια λειτουργίας τετράχρονου κινητήρα

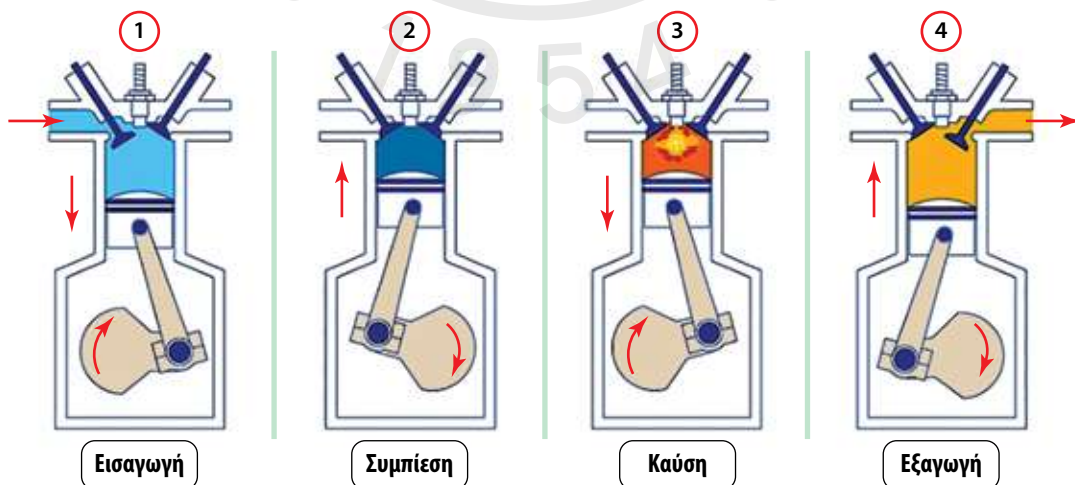
Οι τετράχρονοι κινητήρες, είτε βενζίνης είτε ντίζελ, με χρόνο λειτουργίας να ορίζεται η διαδρομή του εμβόλου από το **Άνω Νεκρό Σημείο (ΑΝΣ)** ως το **Κάτω Νε-**

κρό Σημείο (ΚΝΣ), λειτουργούν στα ακόλουθα στάδια:

1) Κατά το **πρώτο στάδιο**, αυτό της **εισαγωγής** (intake) το έμβολο κινείται από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ δημιουργώντας υποπίεση στον κύλινδρο, ενώ η βαλβίδα εισαγωγής παραμένει ανοιχτή. Ο ατμοσφαιρικός αέρας εισέρχεται στον κύλινδρο διερχόμενος πρώτα από το φίλτρο αέρα που κατακρατεί τα σωματίδια και τις ακαθαρσίες. Ανάλογα με τον τύπο του κινητήρα, το καύσιμο είτε αναμειγνύεται με τον αέρα μέσω του εξαερωτήρα (καρμπυρατέρ)³, είτε εγχύεται απευθείας στον κύλινδρο μέσω των εγχυτήρων (μπεκ) στα σύγχρονα συστήματα ψεκασμού.

2) Στο **δεύτερο στάδιο** της **συμπίεσης** (compression), με τις βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής πλήρως κλειστές, το έμβολο ανέρχεται προς το ΑΝΣ, συμπιέζοντας το περιεχόμενο του κυλίνδρου. Οι δακτύλιοι (ελατήρια) του εμβόλου εξασφαλίζουν τη στεγανότητα μεταξύ εμβόλου και κυλίνδρου, αποτρέποντας τη διαφυγή του συμπιεσμένου μείγματος. Η συμπίεση αυξάνει σημαντικά τη θερμοκρασία του μείγματος, προετοιμάζοντάς το για την επόμενη φάση της καύσης.

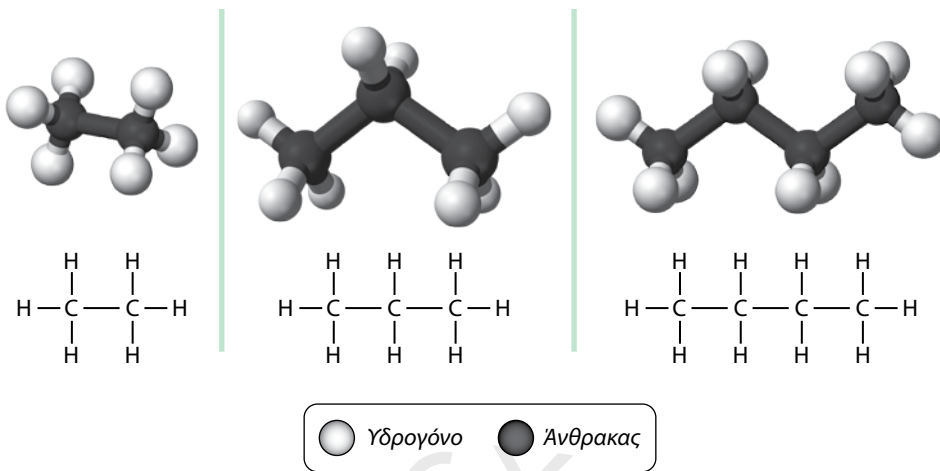
3) Το **τρίτο στάδιο** της **καύσης/εκτόνωσης** (combustion) είναι η φάση παραγωγής ισχύος. Το συμπιεσμένο μείγμα αναφλέγεται με διαφορετικό τρόπο ανάλογα με τον τύπο του κινητήρα: στους βενζινοκινητήρες, η ανάφλεξη προκαλείται από τον ηλεκτρικό σπινθήρα που παράγεται στο μπουζί (σπινθηριστής), ενώ στους πετρελαιοκινητήρες (ντίζελ), η ανάφλεξη επιτυγχάνεται αυτόματα λόγω της υψηλής θερμοκρασίας που αναπτύσσεται κατά τη συμπίεση (αυτα-



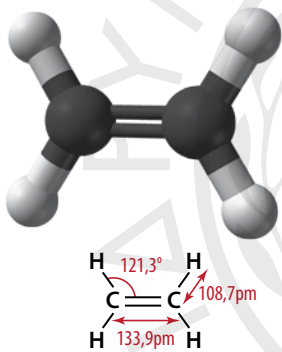
Σχ. 2.1

Λειτουργία τετράχρονης μηχανής

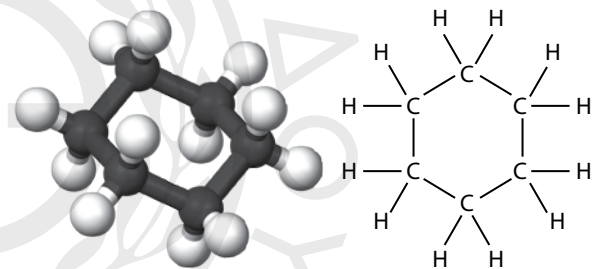
3. Συσκευή που δημιουργεί το κατάλληλο μείγμα αέρα – καυσίμου – παλαιότερη τεχνολογία.



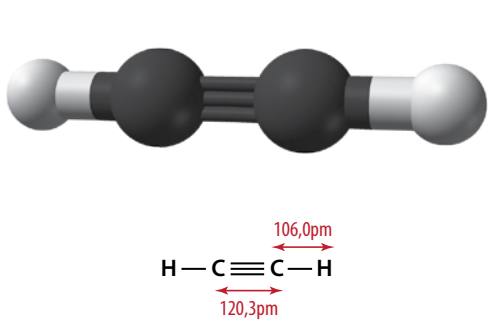
Σχ. 2.3
 Παράδειγμα:
 Αιθάνιο C_2H_6 , Προπάνιο C_3H_8 , Βουτάνιο C_4H_{10}



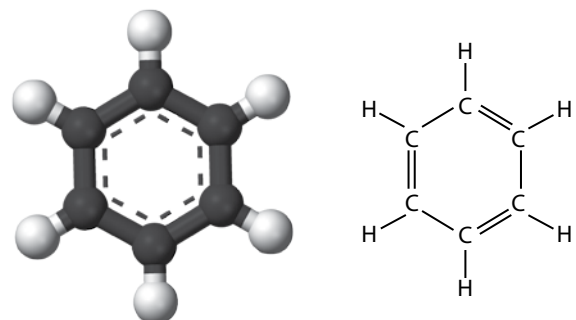
Σχ. 2.4
 Παράδειγμα:
 Αιθένιο (C_2H_4)



Σχ. 2.6
 Παράδειγμα:
 Κυκλοεξάνιο (C_6H_{12})



Σχ. 2.5
 Παράδειγμα:
 Ακετυλένιο (C_2H_2)



Σχ. 2.7
 Παράδειγμα:
 Βενζόλιο (C_6H_6)

1) Ατμοσφαιρική απόσταξη (atmospheric distillation)

Ο διαχωρισμός του πετρελαίου σε κλάσματα διαφορετικού μοριακού βάρους επιτυγχάνεται με απόσταξη σε ατμοσφαιρική πίεση, η οποία βασίζεται στο διαφορετικό σημείο ζέσης που παρουσιάζει κάθε κλάσμα. Για καλύτερο διαχωρισμό εφαρμόζεται η κλασματική απόσταξη σε ειδική στήλη.

Η αποστακτική στήλη είναι ένας κατακόρυφος χαλύβδινος σωλήνας ύψους 50 m (σχ. 2.9), ο οποίος χωρίζεται με οριζόντιους μεταλλικούς διάτρητους δίσκους σε περίπου 50 επίπεδα. Το αργό πετρέλαιο αρχικά προθερ-

μαίνεται σε εναλλάκτες θερμότητας χρησιμοποιώντας τη θερμότητα των προϊόντων μέχρι θερμοκρασία περίπου 260 °C. Στη συνέχεια, οδηγείται σε φούρνο για να θερμανθεί μέχρι την επιθυμητή θερμοκρασία εισόδου στην ατμοσφαιρική στήλη, η οποία κυμαίνεται από 300 μέχρι 500 °C και πίεση 50 psi ($\approx 3,5$ atm) (σχ. 2.10).

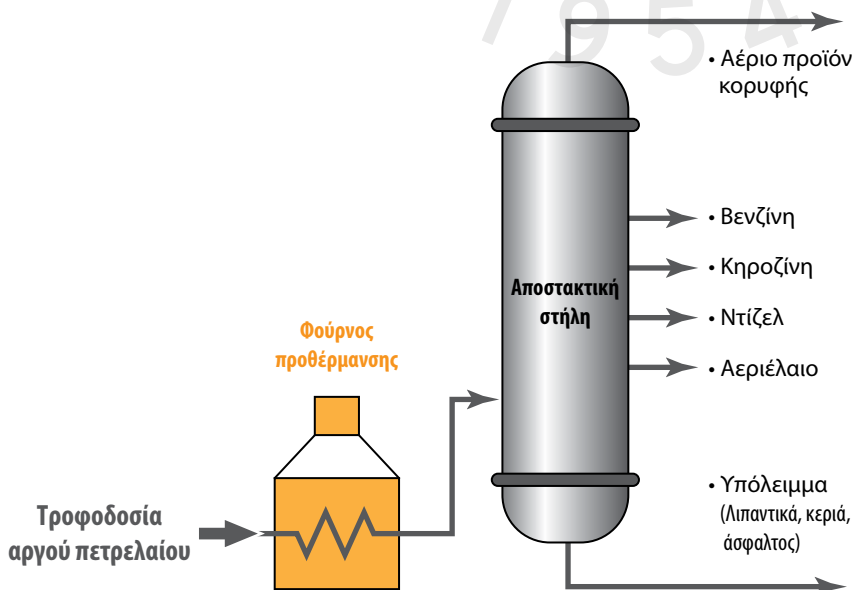
Εκεί γίνεται ο διαχωρισμός των διαφόρων κλασμάτων (προϊόντων) ανάλογα με το σημείο ζέσης ή βρασμού (boiling point), όπως προαναφέρθηκε. Ειδικότερα:

α) Στο πάνω μέρος της στήλης παράγονται τα ελαφρά προϊόντα (με χαμηλό σημείο ζέσης), όπως το με-



Σχ. 2.9

Στήλες κλασματικής απόσταξης



Σχ. 2.10

Ατμοσφαιρική διύλιση
(Atmospheric distillation)

Κανένας προμηθευτής καυσίμου δεν μπορεί να εγγυηθεί ότι το προϊόν του είναι συμβατό με κάποιο άλλο καύσιμο που μπορεί να έχει το πλοίο στις δεξαμενές του.

Με τον όρο **συμβατότητα** αναφερόμαστε στη δυνατότητα ανάμειξης δύο διαφορετικής προέλευσης καυσίμων χωρίς να διαχωριστούν και να σχηματίσουν λάσπη (sludge).

Οι παράγοντες που καθορίζουν τη διαφορετική προέλευση καυσίμων είναι:

α) Η διαφορά στην πυκνότητα και στο ιξώδες.

β) Το υψηλότερο σημείο ροής του ενός καυσίμου σε σχέση με το άλλο

γ) Η διαφορετική διυλιστική επεξεργασία (πρωτογενής έναντι δευτερογενούς διύλισης) και

δ) η προέλευση από διαφορετικό αργό πετρέλαιο.

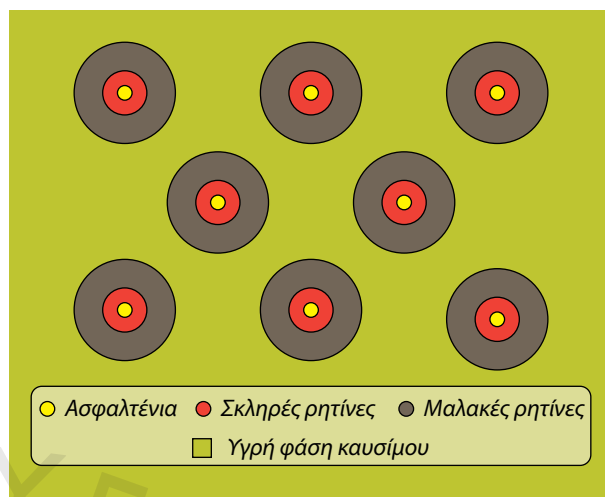
3) **Ασφαλτένια – σταθερότητα καυσίμου και ο ρόλος των ασφαλτενίων.** Η σταθερότητα του καυσίμου χαρακτηρίζεται από την ομοιόμορφη κατανομή των ασφαλτενίων (σχ. 2.19), τα οποία παραμένουν διασκορπισμένα στην υγρή φάση και συμβάλλουν στην αύξηση της ενέργειας κατά την καύση αντί να κατακάθονται στον πυθμένα της δεξαμενής.

Τα ασφαλτένια αποτελούνται κυρίως από πολυπυρηνικούς υδρογονάνθρακες υψηλού μοριακού βάρους που περιέχουν άνθρακα, υδρογόνο, θείο, άζωτο και τρία βασικά μέταλλα: νικέλιο, σίδηρο και βανάδιο. Ο καθοριστικός παράγοντας για τη διατήρηση της ομοιόμορφης διασποράς τους είναι η **διαθέσιμη διαλυτότητα** του καυσίμου.

Για να διατηρηθεί η σταθερότητα, η διαθέσιμη διαλυτότητα πρέπει να υπερβαίνει την απαιτούμενη. Αυτή η ισορροπία είναι κρίσιμη κατά την ανάμειξη για την παραγωγή ενδιάμεσων καυσίμων, καθώς αν το υπολειμματικό καύσιμο δεν διαθέτει επαρκή διαλυτότητα, θα προκληθεί διαχωρισμός των συστατικών.

Η διαθέσιμη διαλυτότητα εξαρτάται άμεσα από τα αρωματικά στοιχεία του καυσίμου (κυκλικούς υδρογονάνθρακες). Όσο υψηλότερη είναι η αρωματικότητα, τόσο μεγαλύτερη είναι και η διαθέσιμη διαλυτότητα.

Λόγω της πολικής φύσης τους, τα ασφαλτένια φυσιολογικά απωθούν το ένα το άλλο, διατηρώντας έτσι τη διασπορά τους. Ωστόσο, εάν το περιβάλλον του καυσίμου είναι κυρίως παραφινικό και στερείται επαρκών αρωματικών στοιχείων, τα ασφαλτένια αρχίζουν να προσελκύνονται μεταξύ τους (σχ. 2.20), σχηματίζοντας μεγάλες μάζες που τελικά κατακρημνίζονται ως **λάσπη** (sludge) στον πυθμένα της δεξαμενής.

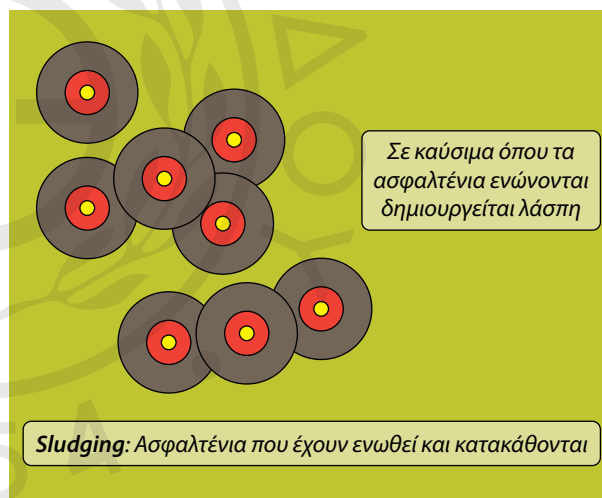


Σχ. 2.19

Δομή του καυσίμου



Τα ασφαλτένια είναι μικρότερα από ένα micron.

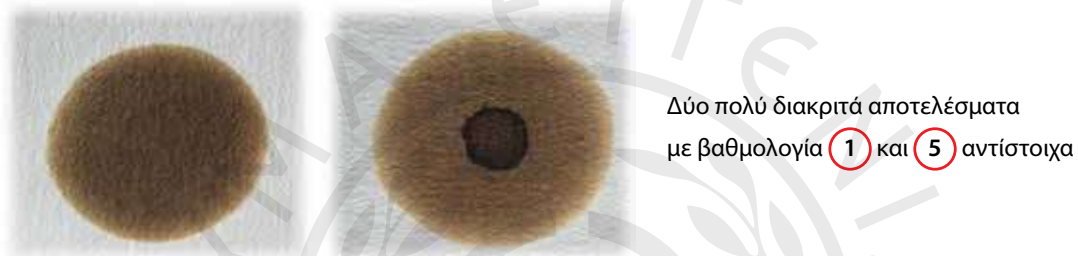
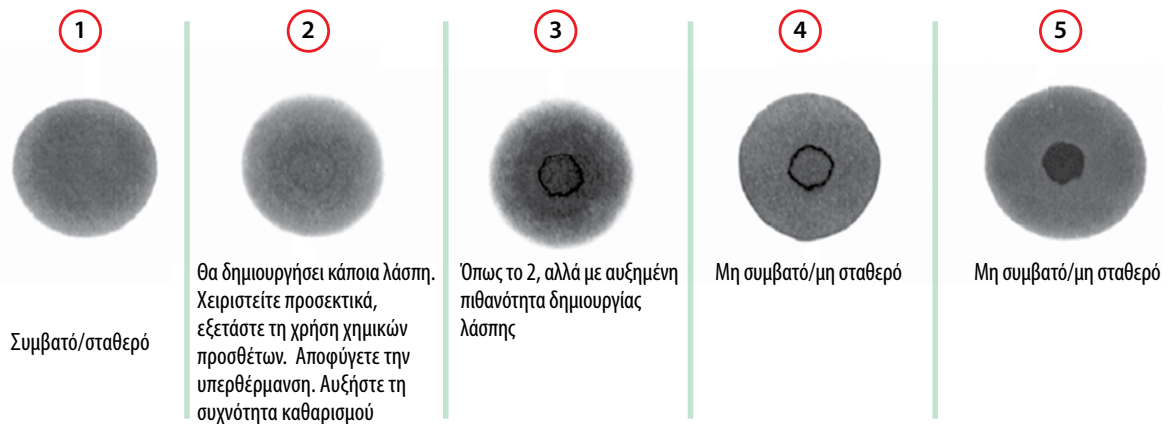


Σχ. 2.20

Η ένωση των ασφαλτενίων

Επιπλέον, η αραίωση ενός υπολειμματικού καυσίμου με απόσταγμα, μπορεί να προκαλέσει ξαφνική κατάρρευση της σταθερότητας, αυξάνοντας έτσι το ποσοστό λάσπης, επειδή το απόσταγμα δεν περιέχει αρωματικούς υδρογονάνθρακες.

4) **Μέθοδοι ανάλυσης.** Η αξιολόγηση της τάσης ενός καυσίμου να δημιουργεί λάσπη είναι κρίσιμη για την πρόβλεψη προβλημάτων σταθερότητας. Οι τρεις βασικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται γι' αυτήν την αξιολόγηση, σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα ISO, είναι οι ακόλουθες:



Σχ. 2.21
Τεστ συμβατότητας –
Μέχρι και το Νο 3, το αποτέλεσμα είναι ικανοποιητικό

πρότυπο, απαιτείται η έγκριση τουλάχιστον του **75% των μελών** που δικαιούνται ψήφο. Αυτή η προσέγγιση εξασφαλίζει ότι τα πρότυπα είναι:

- 1) Αξιόπιστα και εφαρμόσιμα παγκοσμίως.
- 2) Αποδεκτά από όλους τους βασικούς φορείς του κλάδου.
- 3) Ανταποκρίνονται στις σύγχρονες τεχνολογικές εξελίξεις.

► Η Τεχνική Επιτροπή για τα ναυτιλιακά καύσιμα

Το πρότυπο **ISO 8217** για τα ναυτιλιακά καύσιμα εκπονείται από την **Τεχνική Επιτροπή ISO/TC 28** (Πετρελαϊκά προϊόντα και λιπαντικά), και συγκεκριμένα από την **Υποεπιτροπή SC 4** που ασχολείται με τις ταξινομήσεις και προδιαγραφές.

Στην επιτροπή συμμετέχουν όλοι οι βασικοί φορείς της ναυτιλιακής βιομηχανίας:

- 1) **Προμηθευτές καυσίμων** - που παράγουν και διανέμουν τα καύσιμα.
- 2) **Κατασκευαστές μηχανών** - που σχεδιάζουν τις ναυτικές μηχανές.
- 3) **Νηογνώμονες** - που ελέγχουν την ασφάλεια.
- 4) **Εταιρείες ανάλυσης καυσίμων** - που πιστοποι-

ούν την ποιότητα.

- 5) **Ναυτιλιακές εταιρείες** - που χρησιμοποιούν τα καύσιμα.

► Η Νέα Έκδοση ISO 8217:2024

Οι προδιαγραφές του **ISO 8217** αναθεωρούνται συνήθως κάθε πέντε χρόνια, αλλά μπορεί να γίνει και νωρίτερα όταν απαιτούνται επείγουσες αλλαγές. Η έκδοση **2024 αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές αναθεωρήσεις** στην ιστορία του προτύπου, καθώς:

- 1) Ενσωματώνει τις νέες περιβαλλοντικές απαιτήσεις μετά το **IMO 2020**.
- 2) Προσθέτει νέους πίνακες για καύσιμα χαμηλού θείου (**VLSFO**).
- 3) Περιλαμβάνει προδιαγραφές για βιοκαύσιμα με υψηλό περιεχόμενο **FAME**.
- 4) Αντικατοπτρίζει τη μετάβαση προς πιο βιώσιμα ναυτιλιακά καύσιμα.

Επίσης πρέπει να τονισθεί ότι το **ISO 8217** θεωρείται **προδιαγραφή αγοράς** (purchasing specification), αφού στην ουσία καθορίζει τις απαιτήσεις για τα ναυτιλιακά καύσιμα, πριν τον κατάλληλο καθαρισμό τους πάνω στο πλοίο που προηγείται της χρήσης.

Επεξηγήσεις στους τύπους αποσταγμάτων

DMX: Ειδικού τύπου Gas oil. Χρησιμοποιείται σε έκτακτες καταστάσεις. Ειδικής χρήσης απόσταγμα μόνο για εξωτερική χρήση (π.χ. στις σωσίβιες λέμβους). Η ιδιαιτερότητά του είναι ότι δεν παγώνει λόγω της επεξεργασίας του με χημικά, γι' αυτόν τον λόγο έχει και ελάχιστο σημείο ανάφλεξης 43°C, που εξηγεί και την αποκλειστική του χρήση εξωτερικά του μηχανοστασίου (external to the machinery space).

DMA: (Marine Gas Oil). Χρησιμοποιείται σε γενικές εφαρμογές, δεν πρέπει να περιέχει υπολειμματικά κλάσματα.

DFA: (Marine Gas Oil). Χρησιμοποιείται σε γενικές εφαρμογές, δεν πρέπει να περιέχει υπολειμματικά κλάσματα. Ο πωλητής θα πρέπει να αναφέρει την περιεκτικότητα σε FAME σύμφωνα με την παρεχόμενη μέθοδο δοκιμής ή βάσει του λόγου ανάμειξης (δηλώνοντας εάν πρόκειται για λόγο κατά μάζα ή όγκο).

DMZ: (Marine Gas Oil), αλλά με αυξημένο ιξώδες (ελάχιστη τιμή 3 cSt στους 40°C). Χρησιμοποιείται σε γενικές εφαρμογές, δεν πρέπει να περιέχει υπολειμματικά κλάσματα.

DFZ: (Marine Gas Oil), αλλά με αυξημένο ιξώδες (ελάχιστη τιμή 3 cSt στους 40°C). Χρησιμοποιείται σε γενικές εφαρμογές, δεν πρέπει να περιέχει υπολειμματικά κλάσματα. Ο πωλητής θα πρέπει να αναφέρει την περιεκτικότητα σε FAME σύμφωνα με την παρεχόμενη μέθοδο δοκιμής ή βάσει του λόγου ανάμειξης (δηλώνοντας εάν πρόκειται για λόγο κατά μάζα ή όγκο).

DMB: (Marine Diesel Oil). Προκύπτει από ανάμειξη Marine Gas Oil με ίχνος υπολειμματικού συστατικού. Χρησιμοποιείται σε γενικές εφαρμογές, μπορεί να περιέχει ανιχνεύσιμα ποσοστά υπολειμματικών κλασμάτων.

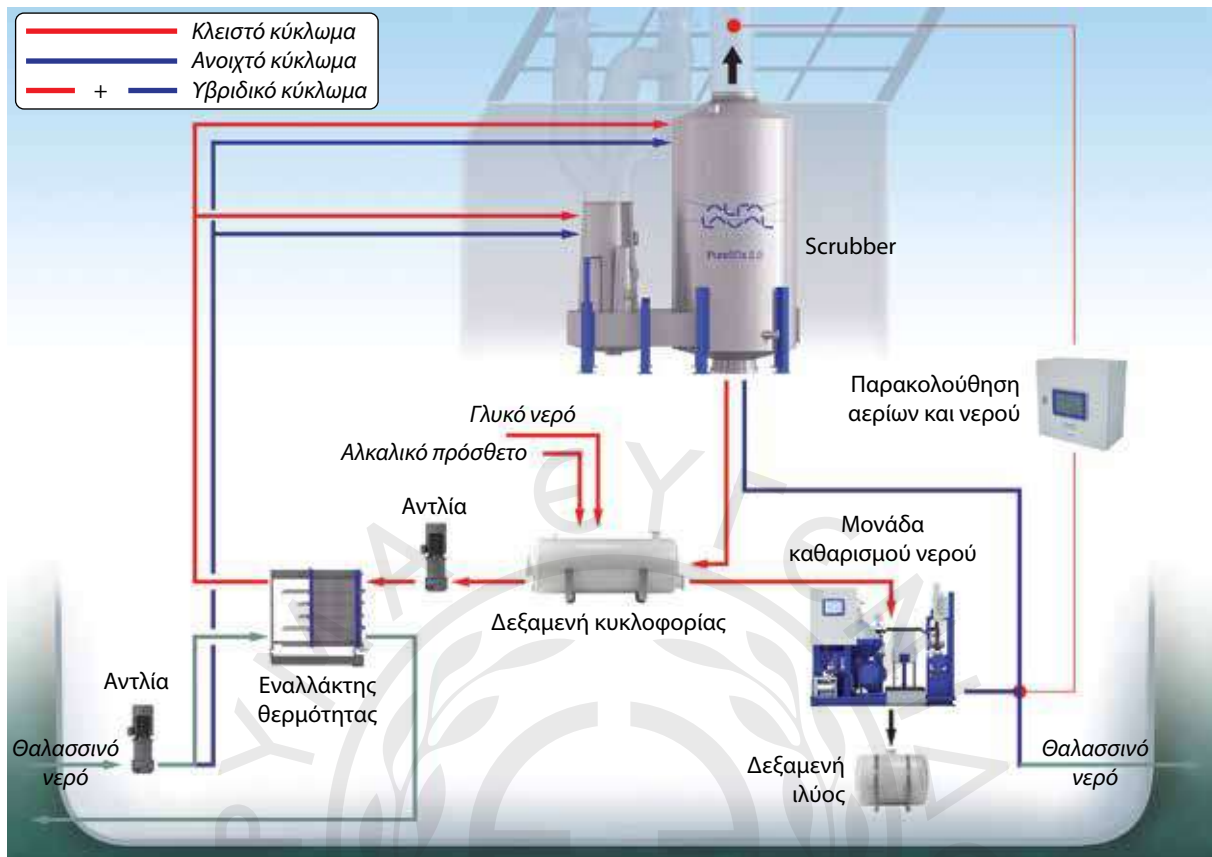
DFB: (Marine Diesel Oil). Προκύπτει από ανάμειξη MGO με ίχνος υπολειμματικού συστατικού. Χρησιμοποιείται σε γενικές εφαρμογές, μπορεί να περιέχει ανιχνεύσιμα ποσοστά υπολειμματικών κλασμάτων. Ο πωλητής θα πρέπει να αναφέρει την περιεκτικότητα σε FAME σύμφωνα με την παρεχόμενη μέθοδο δοκιμής ή βάσει του λόγου ανάμειξης (δηλώνοντας εάν πρόκειται για λόγο κατά μάζα ή όγκο).

Η μέγιστη περιεκτικότητα FAME στα DMX, DMA, DMZ και DMB, δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0,5% (de minimis level).

Πίνακας 2.18
ISO 8217:2024 – Υπολειμματικά καύσιμα
με μέγιστο ποσοστό θείου 0,50%

Χαρακτηριστικά	Μονάδες	Όριο	RMA	RME	RMG	RMK	Μέθοδοι δοκιμών και αναφορές
			20-0,5	180-0,5	380-0,5	500-0,5	
			RMA	RME	RMG	RMK	
			20-0,1	180-0,1	380-0,1	500-0,1	
Κινηματικό ιξώδες στους 50 °C	mm ² /s	max	20,00	180,0	380,0	500,0	ISO 3104
		min	2,000	20,0	120,0	150,0	
Πυκνότητα στους 15 °C	kg/m ³	max	955,0	991,0		1010,0	ISO 3675 ή ISO 12185
CCAI		max	860	870			
Περιεκτικότητα σε θείο κατά μάζα	%	max	0,5 ή απαίτηση διεθνών κανονισμών				ISO 8754 ή ISO 14596 ή ASTM D4294
Σημείο ανάφλεξης	°C	min	60				ISO 2719
Υδροθείο	mg/kg	max	2,00				IP 570
Αριθμός οξέος	mg KOH/g	max	2,5				ASTM D664
Περιεκτικότητα άνθρακα κατά μάζα – Μικρομέθοδος	%	max	10,00	15,00	18,00	20,00	ISO 10370

(συνεχίζεται)



Σχ. 2.26

Διάταξη scrubber ανοιχτού βρόχου (μπλε γραμμή) και κλειστού βρόχου (κόκκινη γραμμή) κατασκευαστή Alfa Laval

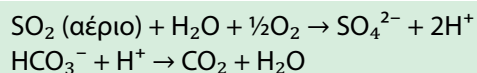
μπαγή σχεδιασμό και μπορούν να τοποθετηθούν απευθείας εντός της υπάρχουσας καπνοδόχου, προσφέροντας σημαντικό πλεονέκτημα σε πλοία με περιορισμένο διαθέσιμο χώρο, χωρίς να απαιτούνται εκτεταμένες δομικές τροποποιήσεις στην υπάρχουσα κατασκευή του πλοίου.

► Βασική λειτουργία και χημικές διεργασίες στα scrubbers

1) Ανοιχτού βρόχου με θαλασσινό νερό (open loop)

Το scrubber χρησιμοποιεί σύστημα ανοιχτού βρόχου με θαλασσινό νερό για την αποτελεσματική απομάκρυνση των SOx και PM από τα καυσαέρια.

Οι κύριες χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά τη διαδικασία αποθείωσης είναι οι εξής:

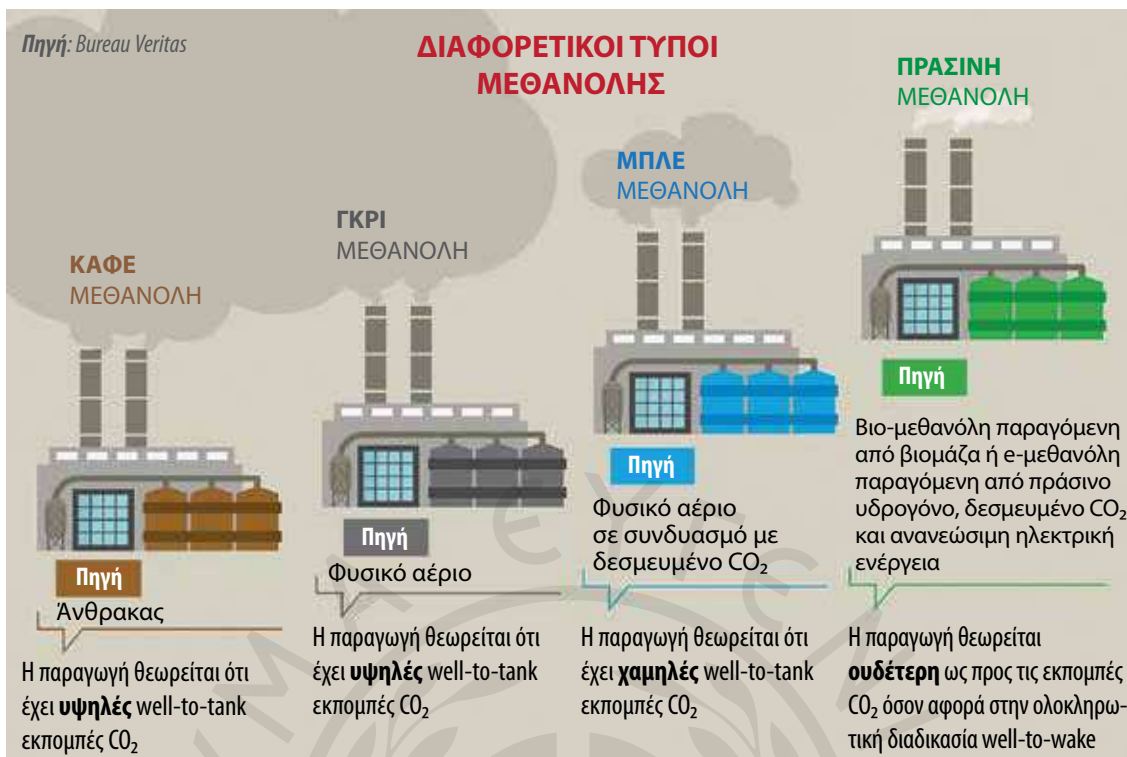


Το SO₂ απορροφάται από το θαλασσινό νερό και αντιδρά με το οξυγόνο, σχηματίζοντας θειικά ιόντα (SO₄²⁻) και ιόντα υδρογόνου (H⁺). Η αύξηση των ιόντων υδρογόνου μειώνει το pH, αυξάνοντας την οξύτητα. Τα διττανθρακικά ιόντα (HCO₃⁻) στο θαλασσινό νερό αντιδρούν με τα ιόντα υδρογόνου, εξουδετερώνοντας την οξύτητα και αποκαθιστώντας το pH.

Εκτός από το SO₂, ορισμένα NOx (κυρίως NO₂) μπορεί επίσης να αφαιρεθούν από τα καυσαέρια και να απορριφθούν με το νερό ως νιτρικά ιόντα.

Οι εκπομπές παρακολουθούνται συνεχώς για SOx και CO₂ μέσω αναλυτή εκπομπών αερίων, ενώ η ποιότητα του νερού πλύσης – όσον αφορά τους πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες και την θολρότητα (turbidity) – ελέγχεται σύμφωνα με τον IMO. Το Scrubber μπορεί να λειτουργεί σε ξηρή λειτουργία¹⁰ όταν χρησιμοποιείται συμβατό καύσιμο σε περιοχές που δεν απαιτείται καθαρισμός ή κατά τη συντήρηση.

10. Σε αυτήν την λειτουργία, τα καυσαέρια διέρχονται μέσω της εγκατάστασης χωρίς να πραγματοποιηθεί η διαδικασία πλύσης με νερό. Οπότε, το scrubber λειτουργεί απλά ως αγωγός καυσαερίων, αφού το πλοίο χρησιμοποιεί καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο που συμμορφώνονται ήδη με τους κανονισμούς.



Σχ. 2.43

Διαφορετικοί τύποι μεθανόλης



Η συλλογή και αποθήκευση άνθρακα στο πλοίο (Onboard Carbon Capture and Storage – OCCS) αποτελεί μια καινοτόμο τεχνολογία που αποσκοπεί στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) από τη ναυτιλία. Η τεχνολογία OCCS περιλαμβάνει την απορρόφηση, τη συμπίεση και την αποθήκευση του CO₂ που παράγεται από τις μηχανές ή τους λέβητες ενός πλοίου. Η διαδικασία περιλαμβάνει:

1) **Σύστημα απορρόφησης:** Το CO₂ διαχωρίζεται από τα καυσαέρια μέσω χημικών ή φυσικών μεθόδων, όπως η χρήση απορροφητικών ουσιών.

2) **Συμπίεση και υγροποίηση:** Μετά την απορρόφηση, το CO₂ συμπιέζεται και υγροποιείται για αποθήκευση.

3) **Αποθήκευση στο πλοίο:** Το υγροποιημένο CO₂ αποθηκεύεται σε ειδικές δεξαμενές μέχρι να παραδοθεί σε λιμάνια ή στις εγκαταστάσεις για τελική διαχείριση ή αξιοποίηση.

Οι σημαντικότεροι τρόποι και είδη συλλογής CO₂ είναι: η **χημική απορρόφηση** (με χρήση αμινών ή άλλων χημικών ουσιών που αντιδρούν με το CO₂ στα καυσαέρια), η **φυσική απορρόφηση** με εκμετάλλευση φυσικών φαινομένων, όπως η διαλυτότητα του CO₂ σε υγρά, μεμβράνες διαχωρισμού (με χρήση ειδικών μεμβρανών που επιτρέπουν τη διέλευση του CO₂, ενώ συγκρατούν άλλα αέρια), ο **κρυογενικός**

διαχωρισμός (με ψύξη των καυσαερίων σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, ώστε να συμπυκνωθεί το CO₂) και τέλος η **χρήση στερεών υλικών** (όπως ζεόλιθοι ή ενεργός άνθρακας, που δεσμεύουν το CO₂).

Η τεχνολογία OCCS μπορεί να μειώσει τις εκπομπές CO₂ κατά 85 – 95%, ανάλογα με την αποδοτικότητα του συστήματος, αλλά απαιτεί σημαντική αρχική επένδυση και συνεχές κόστος συντήρησης. Ερευνητικά έργα στοχεύουν στη βελτίωση της αποδοτικότητας και της μείωσης του κόστους των συστημάτων OCCS.

4) **Πράσινη Μεθανόλη (e-Methanol):** Η πλέον βιώσιμη επιλογή, καθώς είναι πλήρως ουδέτερη ως προς τον άνθρακα. Παράγεται από πράσινο υδρογόνο μέσω ηλεκτρόλυσης νερού με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ή CO₂ από βιογενείς πόρους, δέσμευση αέρα ή συλλεγόμενες βιομηχανικές εκπομπές. Το ανθρακικό αποτύπωμα υπολογίζεται ως μηδενικό, καθώς το CO₂ που απελευθερώνεται κατά την καύση προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές και επανεισέρχεται στον φυσικό κύκλο.

Τέλος, όσον αφορά στη **βιομεθανόλη** (biomethanol), αυτή μπορεί να παραχθεί από την αεριοποίηση **βιομάζας** για την παραγωγή συνθετικού αερίου, το οποίο μετατρέπεται σε βιομεθανόλη μέσω μιας διαδικασίας σύνθεσης μεθανόλης. Η βιομεθανόλη μπορεί

Πίνακας 2.33

Τυπική σύγκριση παραδοσιακών (ορυκτών) και βιοκαυσίμων ναυτιλίας

Παράμετρος	Ορυκτό καύσιμο			Βιοκαύσιμο		
	HSFO	VLSFO	DMA	RF	DF	FAME
Περιεχόμενο FAME				(1-99%)	(1-99%)	(100%)
Ιξώδες (cSt)	380 – 500	20 – 180	2 – 4	2 – 380	2 – 4	max 5
Πυκνότητα (kg/m ³)	930 - 1010	840 - 1010	max 890	860 – 1010	860 – 900	860 – 900
Περιεκτικότητα σε Θείο (% m/m)	2,60	0,46	0,0010 – 1,00	0,0010 – 3,50	0,0010 – 1,00	max 0,0010
Καθαρή ενεργειακή περιεκτικότητα (MJ/kg)	40	41	42	41 – 37	42 – 37	37
Περιεκτικότητα FAME (% m/m)	max 0,5	max 0,5	max 0,5	1 – 99	1 – 99	min 96,5
Ανθρακούχο υπόλειμμα (MCR) (% m/m)	10 – 20	3 – 10	max 0,3	3 – 20	max 0,3	NA
Τέφρα (% m/m)	0,07 – 0,15	0,07 – 0,15	0,01	0,01 – 0,15	max 0,01	max 0,02
Σημείο ροής (PP) (°C)	max 30	max 30	(-6) – 6	max 30	(-6) – 6	NA
Νερό (% v/v)	0,5	0,5	Καθαρό & Διαυγές	0,5	max 500 ppm	max 500 ppm
Τιμή οξύτητας (acid number) (mg KOH/g)	max 2,5	max 2,5	max 0,5	max 2,5	max 0,5	max 0,5

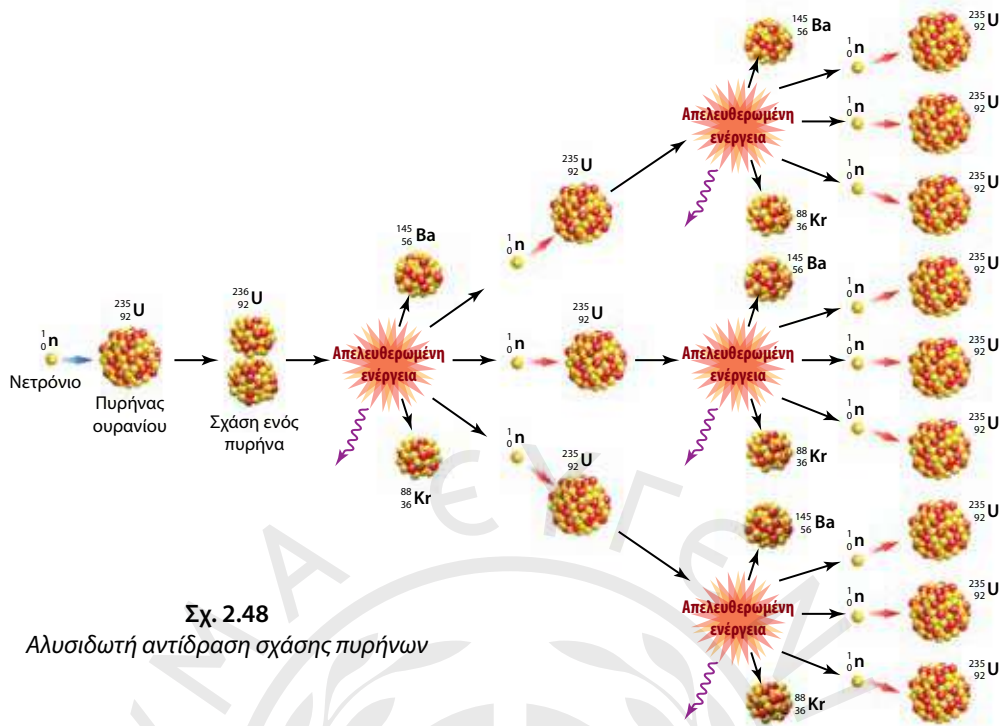
Στο σχήμα 2.44 απεικονίζεται μια συλλογή δειγμάτων διαφόρων ναυτιλιακών καυσίμων, τοποθετημένων σε διαφανή γυάλινα φιαλίδια, που επιτρέπουν τη σύγκριση των φυσικών τους χαρακτηριστικών. Από αριστερά διακρίνονται τα παραδοσιακά ορυκτά καύσιμα ναυτιλίας, συμπεριλαμβανομένων των βαρέων καυσίμων (HSFO), των καυσίμων με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο (VLSFO) με τις χαρακτηριστικές σκούρες αποχρώσεις τους.

Από δεξιά παρουσιάζονται δείγματα από διάφορα βιοκαύσιμα ναυτιλίας, όπως βιοντίζελ (FAME), υδρογονοκατεργασμένα φυτικά έλαια (HVO) και άλλα βιοκαύσιμα, τα οποία διακρίνονται για τις πιο ανοιχτόχρωμες και διαυγείς αποχρώσεις τους. Η οπτική αντιπαράθεση αναδεικνύει τις διαφορές στη σύσταση και τις φυσικοχημικές ιδιότητες μεταξύ συμβατικών καυσίμων και βιοκαυσίμων που χρησιμοποιούνται στη σύγχρονη ναυτιλία.

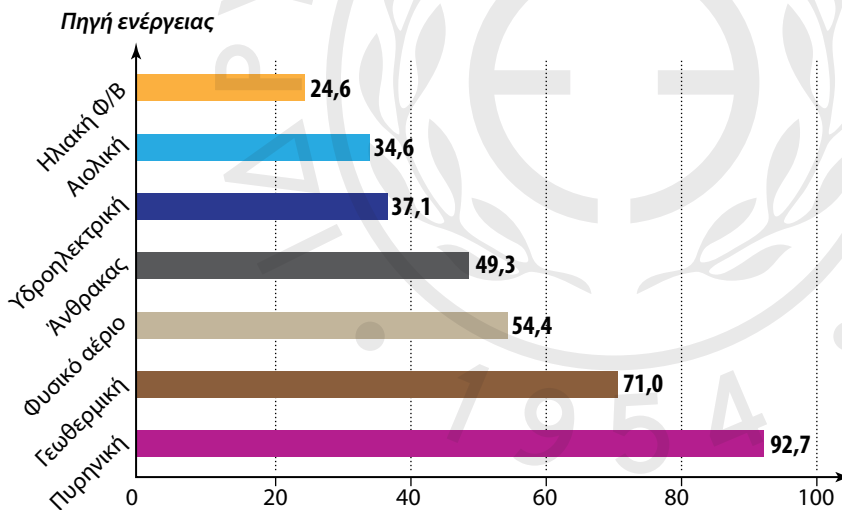


Σχ. 2.44
Δείγματα παραδοσιακών (ορυκτών)
και βιοκαυσίμων ναυτιλίας

HSFO: Καύσιμο με περιεκτικότητα θείου > 0.50%, **VLSFO:** Καύσιμο με περιεκτικότητα θείου < 0.50%
DMA: Απόσταγμα (Gas Oil), **RF:** Μείγμα υπολειμματικού καυσίμου με βιοσυστατικό (drop in fuel)
DF: Μείγμα αποστάγματος με βιοσυστατικό (drop in fuel), **100% FAME:** 100% βιοαπόσταγμα με απουσία ορυκτού καυσίμου, **HVO:** Υδρογονοκατεργασμένο φυτικό έλαιο.



Σχ. 2.48
Αλυσιδωτή αντίδραση σχάσης πυρήνων



Πηγή: Διοίκηση ενεργειακών πληροφοριών ΗΠΑ

Σχ. 2.49
Συντελεστές χρησιμοποίησης ενέργειας ΗΠΑ 2021

2.14.3 Πυρηνικά καύσιμα και πυρηνική τεχνολογία

Το πιο συνηθισμένο πυρηνικό καύσιμο για τους εμπορικούς αντιδραστήρες είναι το ουράνιο. Το φυσικό ουράνιο αποτελείται κατά 99,3% από το μη σχάσιμο ισότοπο ουρανίου-238 και μόλις 0,7% από το σχάσιμο ουράνιο-235. Για να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο στους περισσότερους τύπους αντιδραστήρων, το ουράνιο αφού εξορυχθεί πρέπει να εμπλουτιστεί, δηλαδή να αυξηθεί το ποσοστό του ουρανίου-235.

Η εμπλουτισμένη αυτή μορφή ουρανίου στη συνέ-

χεια μετατρέπεται συνήθως σε διοξείδιο του ουρανίου (UO_2), το οποίο για τις πιο συνηθισμένες μορφές καυσίμου σχηματίζεται σε μικρά κυλινδρικά πέλετ καυσίμου (fuel pellets). Αυτά τοποθετούνται σε αντίστοιχους ράβδους οι οποίες σχηματίζουν τις συστοιχίες καυσίμου (fuel assemblies) που τοποθετούνται στον πυρήνα του αντιδραστήρα (σχ. 2.50).

Μόνο ένα πέλετ καυσίμου μπορεί να προσφέρει ενέργεια ίση με 160 kg πετρελαίου ή 480 m³ φυσικού αερίου.

στούν εξαιρετικά ευάλωτα στους δυνατούς ανέμους, οι οποίοι μπορούν να αναπτυχθούν, καθώς ανεβάζουν το κόστος εγκατάστασης και συντήρησής τους.

Στην εφαρμογή φωτοβολταϊκών σε πλοία, ο περιορισμένος χώρος εγκατάστασης των πάνελ και η αδυναμία πρόβλεψης των επιφανειών σκίασης εντείνουν το πρόβλημα της σκίασης, το οποίο φαίνεται να είναι αντιμετωπίσιμο με τη χρήση μικρότερων σε μέγεθος πάνελ συνδεδεμένων κοντά σε κύρια φορτία, προκειμένου να αποφευχθούν ή έστω να ελαχιστοποιηθούν δυσλειτουργίες στο σύστημα. Ανάλογα με τον διαθέσιμο χώρο στο κατάστρωμα, οι ηλιακοί συλλέκτες μπορούν να μειώσουν τη συνολική κατανάλωση καυσίμων μέχρι 3,5% για δεξαμενόπλοια, μέχρι 2,5% για πλοία μεταφοράς οχημάτων και μέχρι 1% για οχηματαγωγά.

Ο βασικός εξοπλισμός για ένα σύστημα συλλογής ηλιακής ενέργειας περιλαμβάνει:

1) **Φωτοβολταϊκά πάνελ**, τα οποία:

α) Τοποθετούνται στα καταστρώματα και στις υπερκατασκευές των πλοίων και

β) μετατρέπουν το ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα.

2) **Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας**, δηλαδή μπαταρίες λιθίου-ιόντων για αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

3) **Υβριδικά συστήματα**, δηλαδή συνδυασμός ηλιακής ενέργειας με συμβατικά καύσιμα ή άλλες ανανεώσιμες πηγές, που μπορεί να δημιουργήσει ένα πιο ολοκληρωμένο σύστημα πρόωσης για πλοία.

Στα **πλεονεκτήματα** των φωτοβολταϊκών περιλαμβάνονται η μείωση εκπομπών CO₂, η εξοικονόμηση καυσίμου και η μειωμένη εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα, ενώ στα **μειονεκτήματα** περιλαμβάνονται τα εξής:

1) Η περιορισμένη διαθέσιμη επιφάνεια για την εγκατάστασή τους.

2) Η αποδοτικότητα, αφού η παραγωγή ενέργειας εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες.

3) Η ανάγκη για τακτική συντήρησή τους διότι τα υψηλά επίπεδα υγρασίας και αλατότητας του θαλασσίμου περιβάλλοντος προκαλούν τη διάβρωση των μηχανικών μερών και των μετασχηματιστών.

4) Το πρόβλημα της σκίασης (hot spot phenomenon), βάσει του οποίου η ολική ή η μερική παρεμπόδιση απορρόφησης ηλιακής ενέργειας μπορεί να μειώσει ή ακόμη και να μηδενίσει (σε κάποιες περιπτώσεις)

την απόδοση ενός συστήματος.

5) Επιπρόσθετο βάρος.

6) Αποθήκευση ενέργειας.

7) Υψηλό κόστος κεφαλαίου.

Κάποιες από τις μελλοντικές προοπτικές είναι η βελτίωση της τεχνολογίας (αύξηση της αποδοτικότητας των φωτοβολταϊκών) και ο συνδυασμός με αιολική ενέργεια ή κυψέλες καυσίμου.

Εφαρμογές

Οι κύριες εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας όπως αναφέρθηκε είναι στα βοηθητικά συστήματα (όπως φωτισμός, κλιματισμός), υποβοήθηση πρόωσης (σε μικρότερα σκάφη), καθώς και στη μείωση της χρήσης ηλεκτρογεννητριών ντίζελ στο λιμάνι.

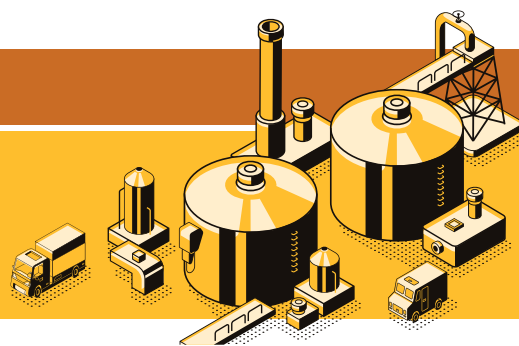
Το **Auriga Leader** (σχ. 2.54) είναι το πρώτο μερικώς αυτοκινούμενο φορτηγό πλοίο στον κόσμο που είναι εξοπλισμένο με πάνω από 328 φωτοβολταϊκές συστοιχίες, που παράγουν περίπου το 10% της απαιτούμενης ισχύος για τη λειτουργία του, δηλαδή αντιστοιχεί σε 40 kW όταν το πλοίο βρίσκεται εν όρμω. Είναι ιδιοκτησία της εταιρείας **Nippon Yusen Kaisha (NYK)** και χρησιμοποιείται για τη μεταφορά οχημάτων και μηχανημάτων παγκοσμίως.



Σχ. 2.54
Auriga Leader

Τα **Urban Sprinter 1000** (σχ. 2.55) είναι μια κατηγορία υβριδικών επιβατηγών-οχηματαγωγών πλοίων. Για την πρόωση διαθέτουν υβριδικό σύστημα ντιζελ-ηλεκτρικής πρόωσης με τέσσερις γεννήτριες ντίζελ, εκ των οποίων οι τρεις είναι σε λειτουργία και η μία σε εφεδρεία. Επιπλέον, διαθέτουν τέσσερις προωθητήρες τύπου Azimuth L²⁶, καθένας

26. Είναι ένα είδος συστήματος πρόωσης πλοίων που προσφέρει εξαιρετική ευελιξία και αποδοτικότητα, καθώς επιτρέπει την περιστροφή της έλικας κατά 360° γύρω από έναν κάθετο άξονα. Αυτό σημαίνει ότι το πλοίο μπορεί να κινηθεί προς οποιαδήποτε κατεύθυνση χωρίς την ανάγκη παραδοσιακού πηδαλιού, ενώ η αλλαγή πορείας γίνεται μέσω της κίνησης της ίδιας της προπέλας.



3.1 Σκοπός και σημασία της λίπανσης

Στη βιομηχανία γενικότερα και κατ' επέκταση στη ναυτιλία χρησιμοποιούνται μηχανήματα και μηχανές σε διάφορες εφαρμογές (π.χ. την παραγωγή ενέργειας, μετακίνηση, ψύξη κ.λπ.), που προϋποθέτουν την κίνηση μεταλλικών ή άλλων τμημάτων τους σε επαφή με μικρότερη ή μεγαλύτερη επιφάνεια. Η χρήση των λιπαντικών σε αυτές τις περιπτώσεις είναι επιβεβλημένη. Ο ρόλος που καλούνται να επιτελέσουν ποικίλλει ανάλογα με την εφαρμογή. Τα λιπαντικά χρησιμοποιούνται προκειμένου να εξυπηρετήσουν:

1) Την **ελάττωση τριβής**, εφαρμόζοντας ένα επιφανειακό φιλμ μεταξύ των κινούμενων μεταλλικών ή άλλων επιφανειών, ώστε να μειώσουν την τριβή και τη φθορά, βελτιώνοντας ταυτόχρονα την απόδοση της μηχανής.

2) Την **ψύξη**, απορροφώντας και απομακρύνοντας τη θερμότητα από τα εξαρτήματα.

3) Τη διατήρηση της **καθαρότητας**, απομακρύνοντας βλαβερά για τη λειτουργία του μηχανήματος υλικά, όπως προϊόντα καύσης, χρώματα κ.λπ., μέσω των χημικών πρόσθετων που περιέχουν.

4) Την **προστασία** και **στεγανοποίηση**, δημιουργώντας επιφανειακά φιλμ που προστατεύουν από τη διάβρωση και τη φθορά, ακόμα και όταν η μηχανή βρίσκεται σε ακινησία.

5) Τη **μετάδοση ενέργειας**, παίζοντας τον ρόλο του φέροντος υλικού εκτός από τον ρόλο τους ως λιπαντικά, π.χ. τα λιπαντικά που χρησιμοποιούνται σε υδραυλικά συστήματα.

3.1.1 Τριβή

Ως **τριβή** ορίζουμε τη δύναμη που αναπτύσσεται μεταξύ δύο σωμάτων που εφάπτονται αντίθετα στη μετακίνησή τους. Η **φθορά** μπορεί να οριστεί ως η ζημιά ή η αφαίρεση υλικού που έχει υποστεί μία συμπαγής επιφάνεια λόγω ολίσθησης, κύλισης ή πρόσκρουσης με άλλη στερεή επιφάνεια. Δεν είναι ιδιότητα του υλικού, αλλά μάλλον μία απόκριση συστήματος. Επομένως τριβή και φθορά υφίστανται όταν ολισθαίνουν

μεταξύ τους δύο επιφάνειες. Σε ορισμένες περιπτώσεις η τριβή είναι επιθυμητή (μεταξύ οδοστρώματος και ελαστικών κατά το φρενάρισμα) και σε άλλες δεν είναι (όπως κατά τη λειτουργία των μηχανών). Η τριβή εξαρτάται από τη φύση και την τραχύτητα των επιφανειών, αλλά και από τον τύπο της σχετικής τους κίνησης (κύλιση, περιστροφή κ.λπ.). Ο κυρίαρχος ρόλος των λιπαντικών είναι να μειώνουν τον συντελεστή τριβής ανάμεσα σε δύο επιφάνειες.

Τα είδη της τριβής είναι τα εξής:

1) **Στατική τριβή**: είναι η δύναμη που εμποδίζει ένα ακίνητο σώμα να κινηθεί.

2) **Κινητική τριβή**: δημιουργείται όταν οι δύο επιφάνειες βρίσκονται σε κίνηση, η οποία μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε **τριβή ολίσθησης** (μεταξύ ενός σώματος και της επιφάνειας πάνω στην οποία ολισθαίνει) και **τριβή κύλισης** (μεταξύ ενός σώματος και της επιφάνειας πάνω στην οποία κυλάει).

Η τριβή μπορεί να είναι **ξηρή**, όταν δεν παρεμβάλλεται καμία τρίτη ουσία μεταξύ των επιφανειών που έρχονται σε επαφή, είτε **υγρή**, όταν παρεμβάλλεται μια τρίτη ουσία που λειτουργεί ως λιπαντικό μέσο.

Για να κατανοήσει κάποιος τις ανάγκες λίπανσης, και κατ' επέκταση τις επιπτώσεις της ελλιπούς λίπανσης, θα πρέπει να κατανοήσει τους ακόλουθους διαφορετικούς μηχανισμούς φθοράς που μπορεί να λάβουν χώρα κατά τη λειτουργία των μηχανημάτων:

1) **Συγκολλητική φθορά** (adhesive wear) προκαλείται λόγω τριβής μεταξύ δύο επιφανειών με παρουσία φορτίου. Στις **δίχρονες μηχανές** (two-stroke engines) μπορεί να παρατηρηθεί λόγω έλλειψης ικανοποιητικής επίστρωσης λιπαντικού στα **ρουλεμάν** (bearings) και στα **ελατήρια εμβόλου** (piston rings) στη διεπιφάνεια των κυλίνδρων. Όταν η φθορά αυτού του τύπου περάσει από το αρχικό στάδιο των μικροσυγκολλήσεων (micro seizures) σε ευρύτερη φθορά, μακροσκοπικά παρατηρήσιμη, τότε μιλάμε για το φαινόμενο των εκδορών (scuffing) στην επιφάνεια του μετάλλου.

2) **Τριβική φθορά** (abrasive wear) προκαλείται όταν μια «σκληρή» επιφάνεια έρχεται σε επαφή με μια λιγότερο «σκληρή» και δημιουργούνται σωματίδια

που επικάθονται στη δεύτερη επιτείνοντας τη φθορά μεταξύ τους. Αυτού του τύπου η φθορά μπορεί να είναι αποτέλεσμα και της συγκολλητικής. Στις δίχρονες μηχανές τα «σωματίδια» αυτά μπορούν να δημιουργηθούν κατά την καύση, λόγω επικαθίσεων ή και λόγω διάβρωσης. Μπορεί να εισαχθούν στον χώρο της μηχανής από τον αέρα ή το καύσιμο όπως τα σωματίδια αλουμινοπυριτίου (catfines) που μπορεί να ενσωματωθούν στα τοιχώματα των κυλίνδρων.

3) **Διαβρωτική φθορά** (corrosive/erosive wear) υφίσταται όταν λαμβάνουν χώρα φαινόμενα διάβρωσης και προκαλούνται επικαθίσεις ή και σωματίδια που ενεργοποιούν μηχανισμούς φθοράς σε μεγαλύτερη κλίμακα. Στις περιπτώσεις που η διάβρωση προκαλείται από ένα υγρό ή στερεό λόγω επαφής υπό ταχύτητα, τότε έχουμε διαβρωτική φθορά. Η διάβρωση στην κύρια μηχανή μπορεί να οφείλεται στο θειικό οξύ που παράγεται ως παραπροϊόν της καύσης του υπολειμματικού καυσίμου (που περιέχει θείο), οπότε μιλάμε για **ψυχρή διάβρωση** (cold corrosion). Όπως αναφέρθηκε, διάβρωση μπορεί να προκαλέσει και η συνύπαρξη βαναδίου/νατρίου σε αναλογία 3:1 σε υψηλή θερμοκρασία που καθιστά τα άλατά τους εύτηκτα (hot corrosion), συναντάται δε κυρίως σε **κεφαλές ελατηρίων** (ring crowns), **βαλβίδες εξαγωγής** (exhaust valves) και **τουρμπίνες υπερσυμπιεστή** (turbocharger turbines). Η διάβρωση μπορεί να είναι αποτέλεσμα ενός ηλεκτροχημικού φαινομένου όταν μεταξύ δύο επιφανειών υπάρχει ηλεκτρική επαφή και εκτεθούν σε ηλεκτρολύτη, που επιτρέπει τη μεταφορά υλικού από τη μία επιφάνεια στην άλλη (συνήθως παρατηρείται σε επιφάνειες εδράνων ή στον άξονα της προπέλας).

4) **Διάβρωση από σπηλαιώση** (cavitation erosion) συμβαίνει όταν ένα υγρό, λόγω μεταβολών στην πίεση, δημιουργεί φυσαλίδες (όπως στο εσωτερικό των αγωγών υπό πίεση), οι οποίες δημιουργούν τοπικά διαφορές σε πίεση και θερμοκρασία.

5) **Φθορά λόγω κόπωσης** (fatigue wear): συμβαίνει σε περιπτώσεις υπερφόρτισης, ανεπαρκούς λίπανσης και κακής ευθυγράμμισης των εξαρτημάτων.

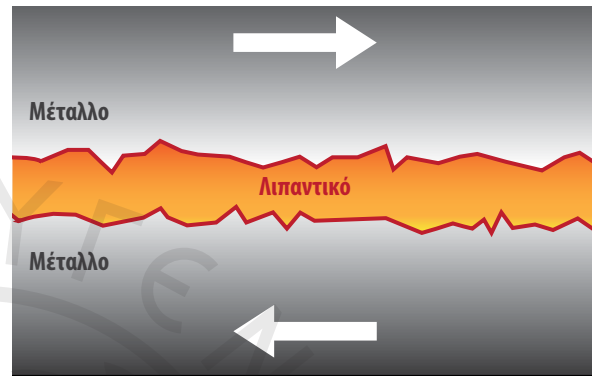
3.1.2 Θεωρία της λίπανσης - Λιπαντική μεμβράνη

Η λίπανση υφίσταται όταν μια ουσία, υγρή (λάδια) ή ημίρρευστη (γράσα) ή ακόμα και στερεή (ταλκ) ή αέρια (σε μορφή εκνέφωσης), παρεμβάλλεται μεταξύ δύο επιφανειών και σχηματίζει ένα φιλμ (λιπαντική μεμβράνη). Αυτό το φιλμ μειώνει την αλληλεπίδραση με σκοπό τη μείωση της τριβής μεταξύ των επιφανειών, έχοντας ως αποτέλεσμα την ελάττωση των απω-

λειών ενέργειας, αλλά και τον περιορισμό της φθοράς.

Η λιπαντική μεμβράνη μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ανάλογα με το πάχος της, αλλά και το είδος της επαφής μεταξύ επιφανειών ως εξής:

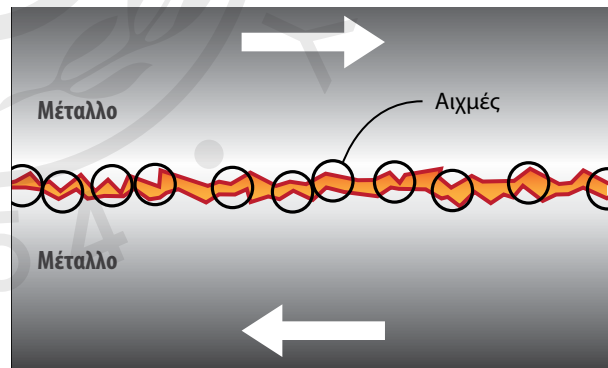
1) **Υδροδυναμική λίπανση**: όταν η λιπαντική μεμβράνη έχει αρκετό πάχος, εμποδίζοντας κάθε είδους επαφή μεταξύ των επιφανειών (σχ. 3.1).



Σχ. 3.1

Απεικόνιση πλήρους φιλμ, όπου όλα τα σημεία των επιφανειών μοιράζονται εξίσου το «φορτίο» της λίπανσης

2) **Οριακή λίπανση**: όταν η λιπαντική μεμβράνη είναι αρκετά λεπτή (συνήθως σε συνθήκες υψηλού φορτίου και χαμηλής ταχύτητας), ώστε οι δύο επιφάνειες να μην μπορούν να διαχωρίζονται πλήρως (σχ. 3.2).



Σχ. 3.2

Στο μεγαλύτερο μέρος των επιφανειών, σε σημεία όπου υπάρχουν αιχμές συναντάται μικρό πάχος λιπαντικής μεμβράνης και επιφορτίζονται με περισσότερη τριβή

3) **Μικτή λίπανση**: η ενδιάμεση κατάσταση των παραπάνω, όταν κάποια τμήματα των επιφανειών χωρίζονται από λιπαντική μεμβράνη, ενώ άλλες υφίστανται οριακή επαφή (σχ. 3.3).

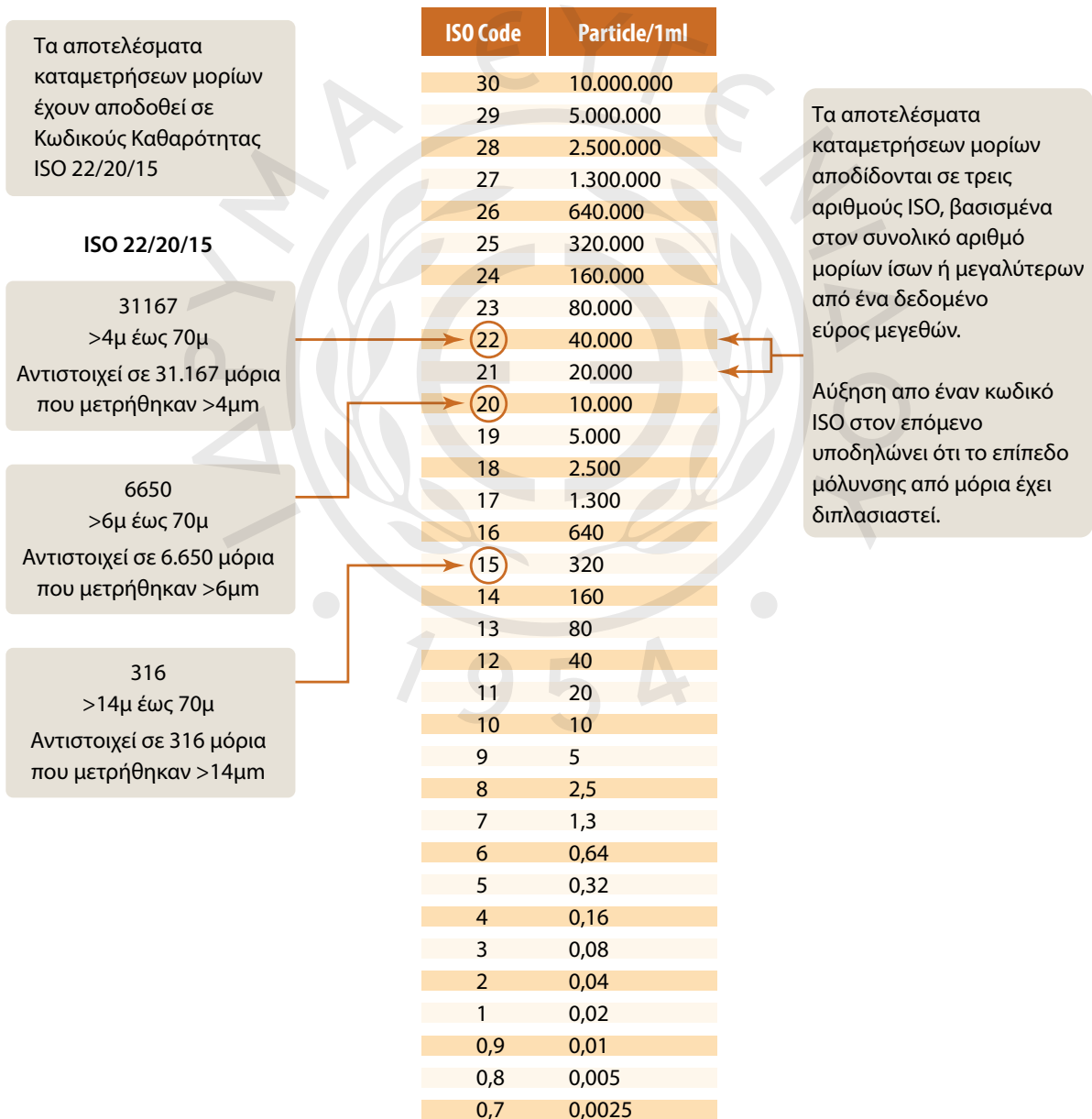
4) **Ελαστοϋδροδυναμική λίπανση**: όταν υπάρχει κύλιση μεταξύ των δύο επιφανειών και η παραμόρφωσή τους θεωρείται ελαστική, σαν να είχαμε υδροδυναμική λίπανση (π.χ. λίπανση οδοντωτών τροχών).

δεύτερος αφορά στα σωματίδια πάνω από 6 μm και ο τρίτος πάνω από 14 μm.

Για τις ηλεκτρονικές μηχανές έχουν καθοριστεί όρια για την επιθυμητή καθαρότητα από τους κατασκευαστές των μηχανών. Για παράδειγμα, μεγάλος κατασκευαστής μηχανών ορίζει ως ελάχιστη απαίτηση το xx/19/15 για τα δείγματα πριν το υδραυλικό φίλτρο και μετά το κυρίως φίλτρο, και το xx/16/13 για μετά το υδραυλικό φίλτρο. Άλλος κατασκευαστής θέτει το όριο του xx/20/17 για τις μηχανές με servo filter.

3.3.14 Ανάλυση με FT-IR

Η ανάλυση διαφόρων παραμέτρων με τη μέθοδο της **Φασματοσκοπίας Υπερύθρων με Μετασχηματισμό Fourier** (Fourier-Transform Infrared Spectroscopy), μπορεί να μας δώσει πολλές πληροφορίες για το λιπαντικό, ιδιαίτερα για τις επιμολύνσεις του. Η συγκεκριμένη ανάλυση έχει νόημα όταν συγκρίνεται με την αντίστοιχη του μη-μεταχειρισμένου λιπαντικού (baseline) και σε βάθος χρόνου (trend). Επίσης, έχει εφαρμογή σε συγκεκριμένα συστήματα



Σχ. 3.4

Περιεκτικότητα των λιπαντικών σε σωματίδια (ISO 4406)

Πίνακας 3.3
Τυπική συχνότητα ανάλυσης λιπαντικών

Τύπος μηχανήματος	Ενδειγμένη συχνότητα
Κύρια μηχανή/Γεννήτριες/Δείγματα κυλίνδρων	Κάθε τρεις μήνες
Έδρανα τελικού άξονα (stern tube)	Κάθε τρεις μήνες
Υδραυλικά λάδια τιμονιών	Κάθε τρεις μήνες
Βίντσια και λάδια κιβωτίων και τροχών	Κάθε τρεις ή έξι μήνες αναλόγως τη χρήση
Υδραυλικά λάδια εξοπλισμού καταστρώματος (deck machinery, hatch cover, provision crane, hose handling crane)	Κάθε τρεις μήνες
Γράσα	Κάθε έξι ή δώδεκα μήνες αναλόγως τη χρήση

Πίνακας 3.4
Τυπική ανάλυση ρουτίνας

Ανάλυση	Τύπος μηχανήματος			
	Κύρια μηχανή, γεννήτριες, δείγματα κυλίνδρων	Stern tube, βίντσια, λάδια κιβωτίων και τροχών	Υδραυλικά λάδια	Γράσα
Περιεκτικότητα σε μέταλλα	✓	✓	✓	✓
Ιξώδες (100° C)	✓	✓		
Ιξώδες (40° C)	✓	✓	✓	
Δείκτης ιξώδους	✓	✓	✓	
PQ index	✓			✓
Αδιάλυτα σε πεντάνια/επτάνιο	✓	✓		
Προσδιορισμός υγρασίας	✓	✓	✓	✓
Αριθμός αλκαλικότητας (TBN)	✓			
Σημείο ανάφλεξης	✓			
Αριθμός οξείδωσης (TAN)		✓	✓	
Επιμόλυνση από σωματίδια ISO 4406	✓ (ISO 4407 για υδραυλικά λάδια μηχανής)		✓	

Η σύγχρονη ναυτιλία αντιμετωπίζει σε όλο και μεγαλύτερο βαθμό την πρόκληση της περιβαλλοντικής συμμόρφωσης και της δραστηκής μείωσης του ανθρακικού της αποτυπώματος. Το παρόν βιβλίο καλύπτει τα παραδοσιακά υγρά καύσιμα με βάση τους υδρογονάνθρακες, συμπεριλαμβανομένων των διαδικασιών σωστής παραλαβής, διαχείρισης και επεξεργασίας τους επί του πλοίου, ενώ επικεντρώνεται στα εναλλακτικά ναυτιλιακά καύσιμα που διαμορφώνουν το μέλλον της βιώσιμης ναυτιλίας. Μεταξύ αυτών εξετάζονται το LNG, το LPG, η μεθανόλη, η αιθανόλη, τα προηγμένα βιοκαύσιμα, η αμμωνία και το πράσινο υδρογόνο. Επιπλέον, αναφέρεται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και την πυρηνική τεχνολογία ως εναλλακτικές πρόωξης. Όσον αφορά τα λιπαντικά, εξετάζει τη σύγχρονη θεωρία λίπανσης, τους νέους τύπους λιπαντικών γενιάς CAT II, τα συνθετικά και βιο-λιπαντικά, με έμφαση στον ποιοτικό έλεγχο και την κατάλληλη διαχείρισή τους.

