

## ΕΛΑΦΡΙΑ ΚΛΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΣΤΑΞΗΣ ΑΡΓΟΥ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΩΣ ΚΑΥΣΙΜΑ — ΒΕΝΖΙΝΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

### Ορισμός

Η βενζίνη είναι ελαφρύ υγρό κλάσμα απόσταξης αργού πετρελαίου που περιλαμβάνει υδρογονάνθρακες με 5–12 άτομα άνθρακα (C<sub>5</sub>–C<sub>12</sub>). Αποτελεί το πιο ελαφρύ κλάσμα μετά τα αέρια (LPG) και χαρακτηρίζεται από χαμηλό σημείο ζέσης (~30–210°C).

### Βασικά χαρακτηριστικά

| Παράμετρος                         | Μονάδες           | Τιμές  | Σημειώσεις                             |
|------------------------------------|-------------------|--|--|
| Μοριακός τύπος                     | —                 | C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> έως C <sub>12</sub> H <sub>26</sub> | Κυρίως ισοαλκάνια, αλκένια, αρωματικοί |
| Πυκνότητα @ 15°C                   | kg/m <sup>3</sup> | 720–775  | Ελαφρύτερη από νερό                    |
| Σημείο ζέσης                       | °C                | 30–210   | Εύκολη εξάτμιση                        |
| Σημείο ανάφλεξης                   | °C                | -43  | Εξαιρετικά εύφλεκτα                    |
| Ενεργειακή περιεκτικότητα (LHV)    | MJ/kg             | ~44,0  | Υψηλότερη από ντίζελ ανά μονάδα μάζας  |
| Ενεργειακή περιεκτικότητα ανά όγκο | MJ/L              | ~32  | Χαμηλότερη από ντίζελ λόγω πυκνότητας  |
| Αριθμός οκτανίου (RON)             | —                 | 91–102   | Αντοχή σε χτύπημα (knocking)           |

### Ιδιότητες βενζίνης και προδιαγραφή ΕΛΟΤ EN 228:2014+A1:2017

#### Αριθμός οκτανίου (Octane Number)

##### Ορισμός

Ο αριθμός οκτανίου είναι μέτρο της αντοχής του καυσίμου σε πρόωρη αυτανάφλεξη (knocking/detonation) σε κινητήρα με ανάφλεξη σπινθήρα. Εκφράζει τη σύγκριση μείγματος ισοοκτανίου (100) και n-επτανίου (0).

##### Μονάδες

- **RON (Research Octane Number):** Μέτρηση σε χαμηλές στροφές, μερικό φορτίο
- **MON (Motor Octane Number):** Μέτρηση σε υψηλές στροφές, πλήρες φορτίο
- **AKI (RON+MON)/2:** Αντιληπτός αριθμός οκτανίου (pump octane)
- **Sensitivity RON-MON**

#### Τυπικές τιμές ΕΛΟΤ EN 228

| Κατηγορία | RON     | MON      | (R+M)/2 |
|-----------|---------|----------|---------|
| 95 RON    | min 95  | min 85   | ~90     |
| 98 RON    | min 98  | min 88   | ~93     |
| 100 RON   | min 100 | min 87,5 | ~93,8   |

#### Σημασία στη ναυτιλία

- Χαμηλότερος αριθμός οκτανίου → χτύπημα (knocking) → μηχανικές βλάβες, απώλεια ισχύος
- Οι θαλάσσιοι κινητήρες βενζίνης λειτουργούν συνήθως με 91–95 RON (χαμηλότερες απαιτήσεις από αυτοκίνητα)

#### Σημείο ανάφλεξης (Flash Point)

| Παράμετρος    | Τιμή                                   | Σημασία                                |
|---------------|--|--|
| Ορισμός       | Χαμηλότερη θερμοκρασία εύφλεκτων ατμών | Ασφάλεια αποθήκευσης/μεταφοράς/νοθείας |
| Μονάδες       | °C                                     | —                                      |
| Τιμή βενζίνης | -43                                    | Εξαιρετικά εύφλεκτα                    |
| Σύγκριση      | Ντίζελ: ~55°C, MGO: min 60°C           | Βενζίνη: πολύ επικίνδυνη               |

| Παράμετρος | Τιμή                                   | Σημασία                                 |
|------------|--|---|
| Κανονισμοί | IMO: ταξινόμηση ως εξαιρετικά εύφλεκτο | Ειδικές δεξαμενές, αερισμός, ανιχνευτές |

#### Πτητικότητα — Σημείο ζέσης (Boiling Point / Distillation Curve)

| Παράμετρος   | Σωστή ανάγνωση                               | Πρακτική σημασία                          |
|--|--|---|
| <b>E70</b><br>evaporated at 70°C,<br>E70 (summer)<br><br>evaporated at 70°C,<br>E70 (winter) | <b>20-48 % v/v</b><br><br><b>22-50 % v/v</b> | Επαρκής πτητικότητα για εκκίνηση          |
| <b>E100</b>  | <b>46-71 % v/v</b>                           | Ομαλή καύση σε χαμηλές-μέσες θερμοκρασίες |
| <b>E150</b>  | Τουλάχιστον 75% ανακτάται στους 150°C        | Πλήρης καύση, αποφυγή βαρέων υπολειμμάτων |
| <b>FBP, max 210°C</b>  | Το τελικό σημείο ζέσης δεν υπερβαίνει 210°C  | Καθαρότητα, αποφυγή λαδώματος             |

#### Πυκνότητα (Density)

| Παράμετρος | Μονάδες           | Τιμές   | Σημειώσεις         |
|------------|-------------------|---------|--------------------|
| @ 15°C     | kg/m <sup>3</sup> | 720–775 | Εξαιρετικά ελαφριά |

#### Περιεκτικότητα σε θείο (Sulfur Content)

| Παράμετρος | Μονάδες | Όριο EN 228 | Σημειώσεις |
|------------|---------|-------------|------------|
|            |         |             |            |

| Παράμετρος | Μονάδες     | Όριο EN 228     | Σημειώσεις   |
|------------|-------------|-----------------|--|
| Θείο       | mg/kg (ppm) | max 10 (Euro 6) | Πολύ χαμηλότερο από παλαιότερα (παλαιότερα ήταν 500 ppm) |

#### Προσθετικά βενζίνης (Additives)

| Πρόσθετο            | Σκοπός   | Μηχανισμός                                       |
|---------------------|--|--|
| Αντιοξειδωτικά      | Αποτροπή Gumming (κομμώδεις ουσίες 5mg/100ml), οξείδωσης | Αναστολείς αλυσιδωτών αντιδράσεων                |
| Αντιδιαβρωτικά      | Προστασία μετάλλων                                       | Σχηματισμός προστατευτικού στρώματος             |
| Απορρυπαντικά       | Καθαρισμός εγχυτήρων, βαλβίδων                           | Διαλυτοποίηση εναποθέσεων                        |
| Ενισχυτικά οκτανίου | Αύξηση RON/MON   | MTBE, ETBE, αλκοόλες, αρωματικοί υδρογονάνθρακες |
| Αντιπαγωτικά        | Αποτροπή πάγου στο καρμπυρατέρ                           | Μεθανόλη, ισοπροπανόλη (χειμερινές βενζίνες)     |

#### Ποιότητα καύσης — Αριθμός οκτανίου

#### Φαινόμενο χτυπήματος (Knocking / Detonation)

#### Ορισμός

Το χτύπημα είναι πρόωρη, βίαιη αυτανάφλεξη του μείγματος καυσίμου-αέρα πριν την άφιξη του σπινθήρα. Προκαλεί:

- Χαρακτηριστικό μεταλλικό ήχο
- Απώλεια ισχύος (έως 10–15%)
- Αυξημένη κατανάλωση καυσίμου

- Μηχανικές βλάβες: καμένα ελατήρια, τρύπες σε έμβολα, ραγισμένες κεφαλές

| Στάδιο         | Περιγραφή  |
|----------------|--|
| 1. Συμπύεση    | Μείγμα καυσίμου-αέρα συμπιέζεται από έμβολο                                |
| 2. Θέρμανση    | Θερμοκρασία αυξάνεται λόγω συμπίεσης                                       |
| 3. Αυτανάφλεξη | Ασταθείς ενδιάμεσες ενώσεις (peroxides) αυτοαναφλέγονται πριν τον σπινθήρα |
| 4. Κύμα πίεσης | Δύο μέτωπα φλόγας συγκρούονται → βίαιη πίεση                               |

#### Παράγοντες που επηρεάζουν το χτύπημα

| Παράγοντας            | Επίδραση                                  |
|-----------------------|---|
| Αριθμός οκτανίου      | Υψηλότερος → λιγότερο χτύπημα             |
| Αναλογία συμπίεσης    | Υψηλότερη → μεγαλύτερος κίνδυνος          |
| Θερμοκρασία εισαγωγής | Υψηλότερη → αυξημένος κίνδυνος            |
| Φορτίο κινητήρα       | Πλήρες φορτίο → μεγαλύτερος κίνδυνος      |
| Πρόωρη ανάφλεξη       | Πολύ νωρίς → αυξημένος κίνδυνος           |
| Κατάθλιψη καυσίμου    | Κακή κατανομή → τοπικές πλούσιες περιοχές |

#### Μέθοδοι αύξησης αριθμού οκτανίου

| Μέθοδος             | Περιγραφή                    | Παρενέργειες  |
|---------------------|------------------------------|---|
| Προσθήκη αρωματικών | Βενζόλιο, τολουόλιο, ξυλόλιο | Αυξημένες καρκινογόνες ουσίες, υψηλότερες θερμοκρασίες στον |

| Μέθοδος            | Περιγραφή                                    | Παρενέργειες  |
|--------------------|--|---|
|                    |  | θάλαμο καύσης   |
| Προσθήκη αλκοολών  | Αιθανόλη, μεθανόλη                           | Χαμηλότερη ενεργειακή περιεκτικότητα, υγροσκοπικότητα |
| Προσθήκη ΜΤΒΕ/ΕΤΒΕ | Μεθυλοτριτοταγές βουτυλαιθέρα                | Μόλυνση υδροφόρων οριζόντων                           |
| Ισομερείωση        | Μετατροπή n-αλκανίων (αλκανίων)σε ισοαλκάνια | Ακριβή διεργασία, υψηλή ποιότητα                      |

#### Βασικά πλεονεκτήματα βενζινοκινητήρων

| Πλεονέκτημα               | Επεξήγηση                           |
|---------------------------|-------------------------------------|
| Υψηλή σχέση ισχύος/βάρους | Ελαφρύτεροι από ντίζελ για ίση ισχύ |
| Υψηλές στροφές            | Έως 6.000 rpm (ντίζελ: 2.000–3.000) |
| Ομαλή λειτουργία          | Λιγότερες κραδασμοί                 |
| Χαμηλότερο κόστος αγοράς  | Απλούστερη κατασκευή                |

#### Μειονεκτήματα

| Μειονέκτημα                | Επεξήγηση                             |
|----------------------------|---------------------------------------|
| Χαμηλότερη απόδοση θερμική | ~25–30% (ντίζελ: 35–45%)              |
| Υψηλότερη κατανάλωση       | Έως 30% περισσότερο καύσιμο           |
| Επικινδυνότητα             | Εύφλεκτο καύσιμο, αυστηροί κανονισμοί |

|                         |                       |
|-------------------------|-----------------------|
| Μειονέκτημα             | Επεξήγηση             |
| Μικρότερη διάρκεια ζωής | Υψηλές στροφές, φθορά |

## ΜΕΣΑΙΑ ΚΛΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΣΤΑΞΗΣ ΑΡΓΟΥ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΩΣ ΚΑΥΣΙΜΑ — ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΝΤΙΖΕΛ

Στοιχεία καύσης στον πετρελαιοκινητήρα και το φαινόμενο του χτυπήματος

Βασική αρχή λειτουργίας

Ο πετρελαιοκινητήρας λειτουργεί με ανάφλεξη με συμπίεση (Compression Ignition — CI):

1. Εισαγωγή αέρα μόνο (χωρίς καύσιμο)
2. Συμπίεση αέρα σε λόγο 14:1 έως 25:1 → θερμοκρασία 550–900°C
3. Έγχυση καυσίμου υψηλής πίεσης (100–2.500 bar) προς το τέλος της συμπίεσης
4. Αυτανάφλεξη λόγω υψηλής θερμοκρασίας — δεν απαιτείται σπινθήρας

Φαινόμενο χτυπήματος στον πετρελαιοκινητήρα (Diesel Knock)

Ορισμός

Στον πετρελαιοκινητήρα, το χτύπημα είναι βίαιη, ταχεία καύση του αρχικά ψεκασμένου καυσίμου πριν την ομαλή διάχυση. Προκαλεί:

- Μεταλλικό κρότο
- Αυξημένη πίεση κυλίνδρου
- Μηχανικές καταπονήσεις
- Απώλεια ισχύος, αυξημένη κατανάλωση

Μηχανισμός

| Στάδιο                                 | Χρονική διάρκεια | Περιγραφή   |
|--|------------------|---|
| Καθυστέρηση ανάφλεξης (Ignition Delay) | 0,5–2 ms         | Χρόνος μεταξύ έγχυσης και αυτανάφλεξης                          |
| Περίοδος ανεξέλεγκτης καύσης           | ~1 ms            | Το καύσιμο που εγχύθηκε στην καθυστέρηση αναφλέγεται ταυτόχρονα |

|                  |                  |                       |
|------------------|------------------|-----------------------|
| Στάδιο           | Χρονική διάρκεια | Περιγραφή             |
|                  |                  | → απότομη πίεση       |
| Ελεγχόμενη καύση | Συνεχής          | Ομαλή έγχυση-ανάφλεξη |
| Εκτόνωση         | Τέλος            | Έξοδος καυσαερίων     |

#### Παράγοντες που επηρεάζουν το χτύπημα

| Παράγοντας                       | Επίδραση στο χτύπημα   |
|----------------------------------|--|
| Αριθμός κετανίου (Cetane Number) | Υψηλότερος → μικρότερη καθυστέρηση → λιγότερο χτύπημα                      |
| Θερμοκρασία αέρα εισαγωγής       | Υψηλότερη → ταχύτερη ανάφλεξη → λιγότερο χτύπημα                           |
| Πίεση συμπίεσης                  | Υψηλότερη → υψηλότερη θερμοκρασία → λιγότερο χτύπημα                       |
| Ιξώδες καυσίμου                  | Χαμηλότερο → καλύτερος ψεκασμός → μικρότερα σταγονίδια → ταχύτερη ανάφλεξη |
| Θερμοκρασία καυσίμου             | Υψηλότερη → μικρότερη καθυστέρηση  |
| Μορφολογία θαλάμου καύσης        | Καλύτερη ανακύκλωση → ομοιογενέστερο μείγμα                                |

#### Παράγοντες που επηρεάζουν το χτύπημα στις πετρελαιομηχανές

##### Αριθμός κετανίου (Cetane Number — CN)

##### Ορισμός

Ο αριθμός κετανίου είναι μέτρο της ευκολίας αυτανάφλεξης του ντίζελ σε συνθήκες συμπίεσης. Εκφράζεται ως ποσοστό n-κετανίου C<sub>16</sub>H<sub>34</sub> (CN=100) σε α-

μεθυλοναφθαλίνη C<sub>11</sub>H<sub>10</sub> (CN=0) ή Επτάμέθυλονονάνιο -heptamethylnonane C<sub>16</sub>H<sub>34</sub> isomer(CN=15)που δίνει ίδια καθυστέρηση ανάφλεξης.

#### Μονάδες

- CN (Cetane Number): Άμεση μέτρηση σε μηχανή δοκιμής
- Cetane Index (CI): Υπολογισμός από πυκνότητα και σημείο ζέσης της καμπύλης απόσταξης distillation curve (ASTM D976)

#### Τυπικές τιμές

| Κατηγορία                   | CN     | Εφαρμογή                     |
|-----------------------------|--------|------------------------------|
| Ελαφρύ ντίζελ (αυτοκινήτου) | 51–60  | Ταχυστρόφιοι κινητήρες       |
| Βαρύ ντίζελ (θέρμανσης)     | 35–50  | Αργόστροφοι, λέβητες         |
| Ναυτιλιακό MGO/DMA          | min 40 | Μεσοστρόφιες βοηθητικές      |
| Ναυτιλιακό υπόλειμμα        | 20–35  | Αργόστροφοι κύριοι κινητήρες |

#### Άλλοι κρίσιμοι παράγοντες

| Παράμετρος                 | Ορισμός                         | Μονάδες     | Επίδραση                                   |
|----------------------------|---------------------------------|-------------|--|
| Θερμοκρασία αέρα εισαγωγής | Θερμοκρασία πριν τη συμπίεση    | °C          | +10°C → ~10% μικρότερη καθυστέρηση         |
| Πίεση συμπίεσης            | Λόγος συμπίεσης                 | bar / ratio | 15:1 → 20:1: σημαντική μείωση καθυστέρησης |
| Ιξώδες ψεκασμού            | Ιξώδες @ θερμοκρασία ψεκασμού   | cSt         | 2–5 cSt ιδανικό για λεπτό ψεκασμό 40°C     |
| Θερμοκρασία καυσίμου       | Θερμοκρασία στο σύστημα έγχυσης | °C          | Προθέρμανση → μικρότερη καθυστέρηση        |
| Πίεση ψεκασμού             | Πίεση στον                      | bar         | 1.000–2.500 bar → λεπτότερα σταγονίδια →   |

| Παράμετρος        | Ορισμός                         | Μονάδες | Επίδραση                     |
|-------------------|---------------------------------|---------|------------------------------|
|                   | εγχυτήρα                        |         | καλύτερη ανάφλεξη            |
| Κατανομή ψεκασμού | Μορφολογία σύννεφου σταγονιδίων | —       | Ομοιογενής → ομαλότερη καύση |

Ιδιότητες ντίζελ και προδιαγραφή EN ISO 590:2022

Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά ντίζελ αυτοκινήτου (EN 590)

| Παράμετρος   | Μονάδες                  | Όριο EN 590           | Σημειώσεις                              |
|--|--------------------------|-----------------------|---|
| Πυκνότητα @ 15°C   | kg/m <sup>3</sup>        | 820–845               | Υψηλότερη από βενζίνη                   |
| Ιξώδες @ 40°C  | mm <sup>2</sup> /s (cSt) | 2,00–4,50             | Βέλτιστο για ψεκασμό                    |
| Σημείο ανάφλεξης   | °C                       | min 55                | Ασφαλέστερο από βενζίνη                 |
| Σημείο ροής (CFPP)   | °C                       | -20 έως 5             | Χειμερινή ρευστότητα                    |
| Σημείο θόλωσης<br>Cloud point – Summer<br>Cloud point – Winter     | °C                       | Max +3<br><br>Max -5  | Προειδοποίηση για κρυστάλλωση παραφίνης |
| Αριθμός κετανίου<br>Cetane index                                   | —                        | min 51<br><br>min 46  | Ευκολία αυτανάφλεξης                    |
| Cold filter plugging point– Summer<br>Cold filter plugging point – |                          | Max -5<br><br>Max -15 |   |

| Παράμετρος                      | Μονάδες | Όριο EN 590             | Σημειώσεις  |
|---------------------------------|---------|-------------------------|---|
| Winter                          |         |                         |   |
| Cetane Index                    | —       | min 46                  | Υπολογιζόμενη τιμή                                  |
| Περιεκτικότητα θείου            | mg/kg   | max 10                  | Euro VI (παλαιότερα: 350, 50)                       |
| Περιεκτικότητα PNA              | % m/m   | max 8<br>(πολυκυκλικοί) | Μείωση καρκινογόνων                                 |
| Περιεκτικότητα FAME             | % v/v   | max 7 (B7)              | Βιοντίζελ ανάμειξη                                  |
| Ενεργειακή περιεκτικότητα (LHV) | MJ/kg   | ~42,5<br>~45            | Χαμηλότερη από βενζίνη ανά μάζα, υψηλότερη ανά όγκο |
| GHV<br>GHV                      | MJ/lt   | ~37,7                   |   |

#### Σύγκριση βενζίνης — ντίζελ

| Παράμετρος                | Βενζίνη        | Ντίζελ         |
|---------------------------|----------------|----------------|
| Μηχανισμός ανάφλεξης      | Σπινθήρας (SI) | Συμπίεσης (CI) |
| Λόγος συμπίεσης           | 9:1–14:1       | 14:1–25:1      |
| Απόδοση θερμική           | 25–30%         | 35–45%         |
| Αριθμός οκτανίου/κετανίου | RON 91–102     | CN 51–60       |
| Σημείο ανάφλεξης          | -43°C          | +55°C          |
| Ιξώδες                    | 0,5 cSt        | 2–5 cSt        |

|            |                       |                       |
|------------|-----------------------|-----------------------|
| Παράμετρος | Βενζίνη               | Ντίζελ                |
|            | @ 15°C                | @ 40°C                |
| Πυκνότητα  | 750 kg/m <sup>3</sup> | 835 kg/m <sup>3</sup> |

### Ρύπανση ατμόσφαιρας και καταλυτική τεχνολογία

#### Εκπομπές πετρελαιοκινητήρα

| Ρύπος           | Ορισμός                                   | Μονάδες | Μηχανισμός δημιουργίας                              | Μέτρα μείωσης                      |
|-----------------|---|---------|---|------------------------------------|
| NO <sub>x</sub> | Οξείδια του αζώτου (NO, NO <sub>2</sub> ) | g/kWh   | Υψηλή θερμοκρασία + O <sub>2</sub> + N <sub>2</sub> | EGR, SCR, καθυστέρηση ψεκασμού     |
| PM              | Σωματίδια (soot, HC, sulfates)            | g/kWh   | Πλούσια περιοχές, ψυχρές επιφάνειες                 | DPF, βελτιστοποίηση ψεκασμού       |
| HC              | Άκαυστοι υδρογονάνθρακες                  | g/kWh   | Ψυχρές επιφάνειες, κακός ψεκασμός                   | Οξειδωτικός καταλύτης              |
| CO              | Μονοξείδιο του άνθρακα                    | g/kWh   | Ατελής καύση (πλούσιο μείγμα)                       | Οξειδωτικός καταλύτης              |
| SO <sub>2</sub> | Διοξείδιο του θείου                       | g/kWh   | Καύση θείου στο καύσιμο                             | Desulfurization καυσίμου, scrubber |

#### Καταλυτικοί μετατροπείς (Catalytic Converters)

| Τύπος καταλύτη | Λειτουργία | Τοποθέτηση | Αποτελεσματικότητα |
|----------------|------------|------------|--------------------|
|----------------|------------|------------|--------------------|

| Τύπος καταλύτη   | Λειτουργία  | Τοποθέτηση  | Αποτελεσματικότητα   |
|--|---|---|--|
| DOC (Diesel Oxidation Catalyst)  | Οξείδωση CO, HC → CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O                  | Μετά τον κινητήρα   | 90–95% CO, HC  |
| DPF (Diesel Particulate Filter)  | Διήθηση και οξείδωση soot   | Μετά DOC  | 95–99% PM  |
| SCR (Selective Catalytic Reduction)                                      | NO <sub>x</sub> + NH <sub>3</sub> → N <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O | Συνήθως <b>μετά DPF</b> , αλλά σε ορισμένες διατάξεις (low-dust systems) μπορεί να είναι <b>πριν DPF</b> . Η σειρά DOC → DPF → SCR είναι η πιο κοινή, όχι η μοναδική. | 80–95% NO <sub>x</sub>   |
| LNT/NSC (Lean NO <sub>x</sub> Trap) or NO <sub>x</sub> storage catalyst) | Απορρόφηση NO <sub>x</sub>  | Εναλλακτικό SCR   | 70–90% NO <sub>x</sub> (diesel/gasoline ICE)<br>Εντονη ευαισθησία στο θείο |

### 3. Ναυτιλιακό καύσιμο (Marine Fuel Oil — MFO / HFO / VLSFO / HSFO)

Αυτή είναι η **κύρια κατηγορία** για μεγάλα πλοία. Διακρίνεται σε:

#### A. Απόσταγμα (Distillate) — DMX, DMA/DFA, DMB/DFB, DMZ/DFZ (Marine Gas Oil / Diesel)

- **Προέλευση:** Απευθείας από ατμοσφαιρική απόσταξη αργού πετρελαίου
- **Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά:**
  - Πυκνότητα: max 890–900 kg/m<sup>3</sup> (ανάλογα τον τύπο)
  - Ιξώδες: 2– 11 cSt @ 40°C (DMA: 2–6 cSt, DMB: 2–11 cSt)
  - Περιεκτικότητα σε θείο: Απαιτήσεις Διεθνών κανονισμών
  - Σημείο ανάφλεξης: min 60°C
  - Υδρόθειο: max 2,00 mg/kg
  - Αριθμός οξέος: max 0,5 mg KOH/g

- Περιεκτικότητα σε άνθρακα (MicroCR, 10%v/v): max 0,3% (DMA)
- Τέφρα max: 0,01% m/m
- Lubricity: max 520μm

## **B. Υπόλειμμα (Residual) — RMA, RME, RMG, RMK (Marine Residual Fuel / HFO / VLSFO)**

- **Προέλευση:** Κατάλοιπο μετά την απόσταξη + αναμίξεις με αποστάγματα
- **Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά:**
  - Πυκνότητα: 955–1010 kg/m<sup>3</sup>
  - Ιξώδες max: 20–500 cSt @ 50°C (RMA: 20, RMK: έως 500)
  - Περιεκτικότητα σε θείο: έως 0,50% (VLSFO) (παλαιότερα 3,50% (προ-IMO 2020 HSFO))
  - Σημείο ανάφλεξης: min 60°C
  - Υδροθείο: max 2,00 mg/kg
  - Αριθμός οξέος: max 2,5 mg KOH/g
  - Περιεκτικότητα σε άνθρακα (MCR): 10–20% (HSFO), 3–10% (VLSFO)
  - Τέφρα: 0,07–0,15% (HSFO), 0,01–0,15% (VLSFO)
  - Νερό: max 0,3-0,5% v/v
  - **Ασφαλτένια:** Κρίσιμα για σταθερότητα — απαιτείται επαρκής διαθέσιμη διαλυτότητα για αποφυγή λάσπης (sludge)
  - **FAME CONTENT:** δεν πρέπει να υπερβαινει το 0,5%v/v or %m/m
  - **CCAI:**max 870

### **Σκοπός και χρήση στο πλοίο**

| <b>Τύπος</b>   | <b>Χρήση</b>   |
|----------------|--|
| <b>DMA</b>     | Βοηθητικές μηχανές, λέβητες, λιμάνι, ECAs                      |
| <b>DMB</b>     | Γενικές εφαρμογές, ανάμειξη με υπόλειμμα                       |
| <b>DMZ</b>     | Γενικές εφαρμογές, αυξημένο ιξώδες, χωρίς υπόλειμμα            |
| <b>RMA–RMK</b> | <b>Κύριες μηχανές προώθησης (main engines) σε μεγάλα πλοία</b> |

| Τύπος | Χρήση  |
|-------|--|
| VLSFO | Συμμόρφωση με όριο θείου 0,50% (IMO 2020)          |
| HSFO  | Με scrubber (προ-2020 ή με εγκατεστημένο scrubber) |

- **Συμβατότητα (Compatibility):** Κρίσιμη παράμετρος / διαφορετική προέλευση αργού πετρελαίου μπορεί να προκαλέσει διαχωρισμό και λάσπη
- **Σταθερότητα (stability):** Εξαρτάται από ασφαλτένια και αρωματικότητα /η ανεπαρκής διαλυτότητα οδηγεί σε **sludging**

### Ειδικά θέματα ναυτιλιακών καυσίμων

#### ISO 8217:2024

- **Προδιαγραφή αγοράς** (purchasing specification) για ναυτιλιακά καύσιμα
- Καθορίζει απαιτήσεις **πριν** τον καθαρισμό στο πλοίο
- Περιλαμβάνει νέους πίνακες για **VLSFO** και **βιοκαύσιμα με υψηλό FAME**
- Μέγιστη περιεκτικότητα FAME σε DMX/DMA/DMZ/DMB: **0,50%** (de minimis)

#### Συστήματα καθαρισμού καυσαερίων (Scrubbers)

- **Open loop:** Χρήση θαλασσινού νερού, απομάκρυνση SOx, παρακολούθηση pH
- **Closed loop:** Κυκλοφορία νερού με αλκαλικό πρόσθετο
- **Hybrid:** Συνδυασμός ανοιχτού/κλειστού βρόχου

#### Συμβατότητα και σταθερότητα

- **Τεστ συμβατότητας** (Σχ. 2.21): Κλίμακα 1–5 / το No 1 είναι συμβατό/σταθερό, το No 5 μη συμβατό
- **Sludging:** Δημιουργείται όταν ασφαλτένια ενώνονται και κατακάθονται
- **Διαθέσιμη διαλυτότητα:** Πρέπει να υπερβαίνει την απαιτούμενη για διατήρηση ομοιόμορφης διασποράς ασφαλτενίων

#### ΑΣΦΑΛΤΕΝΙΑ (Asphaltenes)

##### Ορισμός

Τα ασφαλτένια είναι **πολυπυρηνικοί υδρογονάνθρακες υψηλού μοριακού βάρους** που περιέχουν άνθρακα, υδρογόνο, θείο, άζωτο και τρία βασικά μέταλλα: **νικέλιο, σίδηρο και βανάδιο**. Αποτελούν τη βαρύτερη, πιο πολύπλοκη και πολυκυκλική μοριακή δομή του καυσίμου.

## Μονάδες

- % m/m (κατά μάζα) ή % w/w
- Συνήθως εκφράζονται ως ποσοστό επί του συνολικού καυσίμου

## Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά

| Χαρακτηριστικό | Περιγραφή   |
|----------------|---|
| Μέγεθος        | Μικρότερα από ένα micron (<1 μm)  |
| Μορφή          | Σφαιρικά σωματίδια με πυρήνα αρωματικό και περιφέρεια αλειφατική                    |
| Διαλυτότητα    | Διαλυτά σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες, αδιάλυτα σε αλειφατικούς (παραφινικούς HCs) |
| Πολικότητα     | Υψηλή λόγω παρουσίας ετεροατόμων (S, N, O, μετάλλων)                                |

## Ρόλος και σημασία στη σταθερότητα

- **Ομοιόμορφη κατανομή:** Τα ασφαλτένια παραμένουν **διασκορπισμένα** στην υγρή φάση του καυσίμου
- **Συμβολή στην ενέργεια:** Συμβάλλουν στην **αύξηση της ενέργειας** κατά την καύση αντί να κατακάθονται στον πυθμένα της δεξαμενής
- **Καθοριστικός παράγοντας:** Η **διαθέσιμη διαλυτότητα** του καυσίμου διατηρεί την ομοιόμορφη διασπορά τους

## Φαινόμενο "Sludging" (Λάσπη)

| Κατάσταση             | Αποτέλεσμα   |
|-----------------------|--|
| Επαρκής διαλυτότητα   | Ασφαλτένια διασκορπισμένα / <b>σταθερό καύσιμο</b>   |
| Ανεπαρκής διαλυτότητα | Ασφαλτένια ενώνονται → <b>μεγάλες μάζες</b> → κατακάθονται ως <b>λάσπη (sludge)</b>                |
| Αραίωση με απόσταγμα  | Μπορεί να προκαλέσει ξαφνική κατάρρευση σταθερότητας (επειδή το απόσταγμα δεν περιέχει αρωματικούς |

| Κατάσταση | Αποτέλεσμα       |
|-----------|------------------|
|           | υδρογονάνθρακες) |

### Επίδραση στην καύση

- Υψηλή περιεκτικότητα ασφαλενίων → αυξημένη τέφρα, εναποθέσεις στους κυλίνδρους, φθορά εξαρτημάτων
- Συνδέονται με **ψυχρή διάβρωση (cold corrosion)** όταν περιέχουν θειϊκό οξύ ως παραπροϊόν καύσης

### ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ (Stability)

#### Ορισμός

Η σταθερότητα του καυσίμου χαρακτηρίζεται από την **ομοιόμορφη κατανομή των ασφαλενίων** στην υγρή φάση και τη δυνατότητά τους να παραμένουν διασκορπισμένα χωρίς να σχηματίζουν λάσπη (sludge) ή να διαχωρίζονται σε στρώσεις.

#### Μονάδες

- **Ποσοτική:** % λάσπης (sludge) μετά από τεστ συμβατότητας
- **Ποιοτική:** Κλίμακα 1–5 (ISO τεστ συμβατότητας, Σχ. 2.21)

### Παράγοντες που καθορίζουν τη σταθερότητα

| Παράμετρος                 | Επίδραση   |
|----------------------------|--|
| Διαθέσιμη διαλυτότητα      | Κρίσιμη/ πρέπει να υπερβαίνει την απαιτούμενη                |
| Αρωματικότητα              | Υψηλότερη αρωματικότητα → μεγαλύτερη διαλυτότητα ασφαλενίων  |
| Πρόελευση αργού πετρελαίου | Διαφορετικό αργό → διαφορετική συμπεριφορά σταθερότητας      |
| Πυκνότητα και ιξώδες       | Επηρεάζουν τη διασπορά                                       |
| Διυλιστική επεξεργασία     | Πρωτογενής vs δευτερογενής διύλιση → διαφορετική σταθερότητα |

### Τεστ συμβατότητας — Κλίμακα 1–5 (Σχ. 2.21)

| Βαθμολογία | Ερμηνεία  | Δράση  |
|------------|---|--|
| 1          | Συμβατό/σταθερό   | Ασφαλής χρήση                                    |
| 2          | Θα δημιουργήσει κάποια λάσπη — χειριστείτε προσεκτικά     | Εξετάστε χημικά πρόσθετα, αποφύγετε υπερθέρμανση |
| 3          | Όπως το 2, αλλά με αυξημένη πιθανότητα δημιουργίας λάσπης | Εντατικότερη παρακολούθηση                       |
| 4          | Μη συμβατό/μη σταθερό                                     | Αποφύγετε ανάμειξη                               |
| 5          | Μη συμβατό/μη σταθερό — σοβαρό πρόβλημα                   | <b>Απαγορεύεται η ανάμειξη</b>                   |

### ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑ (Compatibility)

#### Ορισμός

Η συμβατότητα αναφέρεται στη **δυνατότητα ανάμειξης δύο διαφορετικής προέλευσης καυσίμων** χωρίς να διαχωρίζονται και να σχηματίζουν λάσπη (sludge). Κανένας προμηθευτής δεν μπορεί να εγγυηθεί ότι το προϊόν του είναι συμβατό με κάποιο άλλο καύσιμο που μπορεί να έχει το πλοίο στις δεξαμενές του.

#### Μονάδες

- **Ποσοτική:** % λάσπης που παράγεται μετά από ανάμειξη
- **Ποιοτική:** Βαθμολογία 1–5 (ISO τεστ)

#### Παράγοντες που καθορίζουν τη διαφορετική προέλευση

| Παράγοντας                               | Επεξήγηση  |
|--|--|
| α) Διαφορά στην πυκνότητα και στο ιξώδες | Διαφορετικά μοριακά βάρη → διαφορετική συμπεριφορά διασποράς |
| β) Υψηλότερο σημείο ροής                 | Δυσκολία στην ανάμειξη σε χαμηλές θερμοκρασίες               |
| γ) Διαφορετική διυλιστική                | Πρωτογενής vs δευτερογενής διύλιση →                         |

| Παράγοντας                                  | Επεξήγηση   |
|---|---|
| επεξεργασία                                 | διαφορετική σύνθεση ασφαλτενίων                                 |
| δ) Προέλευση από διαφορετικό αργό πετρέλαιο | Γεωγραφική προέλευση αργού καθορίζει τη χημεία του υπολείμματος |

#### Πρακτική σημασία στο πλοίο

- **Ανάμειξη σε δεξαμενές:** Πριν την ανάμειξη διαφορετικών παρτίδων, απαιτείται **τεστ συμβατότητας**
- **Καθαρισμός δεξαμενών:** Αν υπάρχει υπολειμματική λάσπη, το νέο καύσιμο μπορεί να διαλύσει τη λάσπη και να δημιουργήσει νέα προβλήματα
- **Παρακολούθηση:** Συνεχής παρακολούθηση της ποιότητας καυσίμου κατά την παραλαβή

#### 4. ΒΑΝΑΔΙΟ (Vanadium) & ΝΑΤΡΙΟ (Sodium)

##### ΒΑΝΑΔΙΟ (V)

##### Ορισμός

Το βανάδιο είναι **μεταλλικό στοιχείο** που βρίσκεται στα ασφαλτένια του υπολειμματικού καυσίμου. Προέρχεται από τη γεωλογική προέλευση του αργού πετρελαίου (συνήθως από πετρέλαια της Μέσης Ανατολής και Βενεζουέλας).

##### Μονάδες

- **mg/kg** (χιλιοστόγραμμα ανά κίλο καυσίμου) ή **ppm** (parts per million)
- Συχνά εκφράζεται και ως **mg V/kg fuel**

##### Τυπικές συγκεντρώσεις

| Τύπος καυσίμου      | Περιεκτικότητα V                     |
|---------------------|--------------------------------------|
| Απόσταγμα (DMA/DMB) | <<1 mg/kg (αμελητέα)                 |
| Υπόλειμμα (RMG/RMK) | 50–400 mg/kg (ανάλογα την προέλευση) |
| HSFO (υψηλό θείο)   | 100–500+ mg/kg                       |

##### Επίδραση στην καύση και τα μηχανήματα

| Φαινόμενο  | Μηχανισμός  | Συνέπεια  |
|--|---|---|
| Υψηλή θερμοκρασία καύσης                             | Το V σχηματίζει $V_2O_5$ (πεντοξείδιο του βαναδίου) σε θερμοκρασίες $>650^\circ C$                                    | Καταλυτική διάβρωση (hot corrosion)               |
| Διάβρωση εξαρτημάτων (Θερμή Διάβρωση- hot corrosion) | Το $V_2O_5$ αντιδρά με το $Na_2SO_4 \rightarrow$ Ευκτικό μίγμα/ τήξη σε χαμηλότερη θερμοκρασία ( $\sim 550^\circ C$ ) | Επιθετική διάβρωση στεφανών, βαλβίδες, τουρμπίνες |
| Εναποθέσεις  | Σχηματίζει σκληρές εναποθέσεις σε θάλαμους καύσης   | Μείωση απόδοσης, αυξημένη συντήρηση               |
| Καταλυτική δράση                                     | Επιταχύνει οξείδωση θείου και άνθρακα   | Αυξημένες εκπομπές $SO_x$ , σωματίδια             |

#### Μέτρα αντιμετώπισης

- Χρήση πρόσθετων μαγνησίου (**Mg-based additives**): Το  $MgO$  αντιδρά με  $V_2O_5 \rightarrow Mg_3V_2O_8$  (υψηλότερο σημείο τήξης, λιγότερο διαβρωτικό)
- Περιορισμός θερμοκρασίας καυσαερίων  $<550^\circ C$  όπου είναι δυνατόν
- Χρήση καυσίμων χαμηλού V σε ευαίσθητα μηχανήματα
- Απομάκρυνση νερού/ μείωση μετάλλων Na

#### ΝΑΤΡΙΟ (Na)

##### Ορισμός

Το νάτριο είναι **αλκαλιμέταλλο** που εισέρχεται στο καύσιμο κυρίως μέσω:

- Θαλασσινού νερού (υπολείμματα από πλυσίματα δεξαμενών)
- Διεργασιών διύλισης (καυστική πλύση)
- Φυσικής παρουσίας στο αργό πετρέλαιο

##### Μονάδες

- **mg/kg** ή **ppm**

##### Τυπικές συγκεντρώσεις

| Πηγή                                    | Επίπεδο Na           |
|---|----------------------|
| Καθαρό απόσταγμα                        | <5 mg/kg             |
| Υπόλειμμα με θαλασσινό νερό             | 30–100+ mg/kg        |
| Καύσιμο μετά από κακό πλύσιμο δεξαμενών | Υψηλές συγκεντρώσεις |

### Συνέργεια με βανάδιο — Κρίσιμο ζήτημα

| Αναλογία Na:V | Συνέπεια   |
|---------------|--|
| Na:V ≈ 1:3    | Σχηματίζεται $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{V}_2\text{O}_5$ — σημείο τήξης ~550°C           |
| Υψηλό Na      | Επιθετική <b>hot corrosion</b> σε κεφαλές ελατηρίων, βαλβίδες εξαγωγής, τουρμπίνες υπερσυμπιεστή |
| Χαμηλό Na     | Λιγότερη διάβρωση, αλλά εξαρτάται από τη θερμοκρασία   |

### Προφύλαξη

- Απομάκρυνση νερού από το καύσιμο (centrifuging, settling)
- Παρακολούθηση Na κατά την παραλαβή
- Περιορισμός θερμοκρασίας καυσαερίων <450°C σε περιοχές με υψηλό Na

### ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ (Aluminum) & ΠΥΡΙΤΙΟ (Silicon) — Συνήθως μαζί υπολογίζονται

#### Ορισμός

Το αλουμίνιο και το πυρίτιο είναι **μη-διαλυτά στοιχεία** που εισέρχονται στο καύσιμο κυρίως ως **καταλύματα διεργασιών διύλισης (FCC catalyst fines)** ή από **αέρα μεταφοράς/αποθήκευσης**.

#### Μονάδες

- mg/kg ή ppm
- Συχνά αναφέρονται ως **Al + Si** σε συνδυασμό

#### Πηγές προέλευσης

| Πηγή               | Περιγραφή  |
|--------------------|--|
| FCC catalyst fines | Λεπτά σωματίδια καταλύτη από μονάδες ρευστοποιημένης κλίνης (Fluid Catalytic Cracking) |
| Αέριος μεταφοράς   | Σκόνη από δεξαμενές αποθήκευσης, αγωγούς   |
| Θαλασινή άμμος     | Εισροή με θαλασινό νερό ή ατμοσφαιρική εναπόθεση                                       |

#### Τυπικές συγκεντρώσεις

| Κατάσταση                 | Al + Si (mg/kg) |
|---------------------------|-----------------|
| Καθαρό απόσταγμα          | <10             |
| Κανονικό υπόλειμμα        | 10–40           |
| Κακής ποιότητας/μολυσμένο | 50–200+         |

#### Επίδραση στα μηχανήματα

| Φαινόμενο              | Μηχανισμός  | Συνέπεια  |
|------------------------|---|---|
| Εκδορές (scuffing)     | Σκληρά σωματίδια $Al_2O_3$ , $SiO_2$ μεταξύ κινούμενων επιφανειών | Επιταχυνόμενη φθορά εμβόλων, κυλίνδρων, δακτυλίων |
| Εναποθέσεις            | Συσσώρευση σε θαλάμους καύσης, εξάτμισης                          | Αύξηση θερμικού φορτίου, hot spots                |
| Φθορά αντλιών/βαλβίδων | Τριβική φθορά από σκληρά σωματίδια                                | Μείωση ζωής εξαρτημάτων                           |
| Φραγή φίλτρων          | Συσσώρευση σε φίλτρα  | Αυξημένη συντήρηση,                               |

| Φαινόμενο | Μηχανισμός | Συνέπεια                      |
|-----------|------------|-------------------------------|
|           | καυσίμου   | κίνδυνος λιμοκτονίας καυσίμου |

#### Μέτρα αντιμετώπισης

- Βελτιωμένο πλύσιμο δεξαμενών πριν τη φόρτωση
- Απομάκρυνση νερού (καθιζήσεις, φυγοκέντρωση)
- Φιλτράρισμα καυσίμου κατά την ανάφλεξη
- Ποιοτικός έλεγχος κατά την παραλαβή (τεστ καθαρότητας)

#### 6. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

| Στοιχείο  | Σύμβολο | Μονάδες | Τυπικές τιμές (υπόλειμμα) | Κύρια επίδραση              | Πηγή                    |
|-----------|---------|---------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Βανάδιο   | V       | mg/kg   | 50–400                    | Hot corrosion, εναποθέσεις  | Ασφαλτένια αργού        |
| Νάτριο    | Na      | mg/kg   | 10–100                    | Synergy με V, hot corrosion | Θαλασσινό νερό, διύλιση |
| Αλουμίνιο | Al      | mg/kg   | 10–50+                    | Εκδορές, φθορά              | FCC catalyst, σκόνη     |
| Πυρίτιο   | Si      | mg/kg   | 10–50+                    | Εκδορές, φθορά              | FCC catalyst, σκόνη     |
| Νικέλιο   | Ni      | mg/kg   | 10–100                    | Hot corrosion, καταλυτική   | Ασφαλτένια αργού        |

| Στοιχείο | Σύμβολο | Μονάδες | Τυπικές τιμές (υπόλειμμα) | Κύρια επίδραση     | Πηγή                      |
|----------|---------|---------|---------------------------|--------------------|---------------------------|
|          |         |         |                           | ό                  |                           |
| Σίδηρος  | Fe      | mg/kg   | 5–50                      | Φθορά, εναποθέσεις | Διάβρωση δεξαμενών, σκόνη |
| Ασβέστιο | Ca      | mg/kg   | 5–30                      | Εναποθέσεις, φθορά | Θαλασσινό νερό, πρόσθετα  |

#### ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΚΡΙΣΙΜΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

##### Θείο (Sulfur — S)

| Παράμετρος    | Περιγραφή   |
|---------------|---|
| Ορισμός       | Περιεκτικότητα σε στοιχειακό θείο στο καύσιμο                                   |
| Μονάδες       | % m/m (κατά μάζα) ή mg/kg (ppm)   |
| Όρια IMO 2020 | 0,50% m/m παγκοσμίως (εκτός ECAs: 0,10%)  |
| Επίδραση      | SO <sub>x</sub> εκπομπές, οξέα καυσαερίων, ψυχρή διάβρωση, θειϊκά άλατα με Na/V |

##### Υδρόθειο (Hydrogen Sulfide — H<sub>2</sub>S)

| Παράμετρος | Περιγραφή  |
|------------|--|
| Ορισμός    | Διαλυμένο αέριο H <sub>2</sub> S στο καύσιμο — εξαιρετικά τοξικό |

|                           |   |
|---------------------------|---|
| <b>Παράμετρος</b>         | <b>Περιγραφή</b>  |
| <b>Μονάδες</b>            | mg/kg   |
| <b>Όριο ISO 8217:2024</b> | max 2,00 mg/kg  |
| <b>Επίδραση</b>           | Τοξικότητα (LD50), διάβρωση, οσμή, κίνδυνος για πλήρωμα |
| <b>Μέτρηση</b>            | IP 570  |

#### Αριθμός οξέος (Acid Number — AN / TAN)

|                   |   |
|-------------------|---|
| <b>Παράμετρος</b> | <b>Περιγραφή</b>  |
| <b>Ορισμός</b>    | Ποσότητα KOH απαιτούμενη για ουδετεροποίηση οξέων στο καύσιμο |
| <b>Μονάδες</b>    | mg KOH/g καυσίμου   |
| <b>Όριο</b>       | max 2,5 mg KOH/g (για περισσότερα υπολείμματα)                |
| <b>Επίδραση</b>   | Διάβρωση μετάλλων, αποδιοργάνωση λιπαντικών, αστάθεια         |

#### Ιξώδες (Viscosity)

|                      |   |
|----------------------|---|
| <b>Παράμετρος</b>    | <b>Περιγραφή</b>  |
| <b>Ορισμός</b>       | Αντίσταση του ρευστού σε ροή — κρίσιμο για άντληση, ψεκασμό, ανάφλεξη |
| <b>Μονάδες</b>       | cSt (centistokes) @ καθορισμένη θερμοκρασία (συνήθως 40°C ή 50°C)     |
| <b>Τυπικές τιμές</b> | DMA: 2–6 cSt @ 40°C,<br>RMK: έως 500 cSt @ 50°C                       |

| Παράμετρος | Περιγραφή   |
|------------|---|
| Επίδραση   | Υψηλό ιξώδες → δυσκολία άντλησης, ανάγκη προθέρμανσης, κακός ψεκασμός |

#### Σημείο ανάφλεξης (Flash Point)

| Παράμετρος   | Περιγραφή  |
|--------------|--|
| Ορισμός      | Χαμηλότερη θερμοκρασία όπου αναπτύσσονται εύφλεκτοι ατμοί            |
| Μονάδες      | °C   |
| Όριο IMO/ISO | min 60°C (εκτός ειδικών περιπτώσεων: DMX min 43°C)                   |
| Επίδραση     | Ασφάλεια αποθήκευσης, κίνδυνος πυρκαγιάς, ταξινόμηση επικινδυνότητας |
| Μέτρηση      | ISO 2719 (Pensky-Martens closed cup)                                 |

#### Σημείο ροής (Pour Point)

| Παράμετρος | Περιγραφή  |
|------------|--|
| Ορισμός    | Χαμηλότερη θερμοκρασία όπου το καύσιμο ρέει υπό συνθήκες βαρύτητας         |
| Μονάδες    | °C   |
| Επίδραση   | Χαμηλότερο σημείο ροής → καλύτερη χειμερινή λειτουργία, ευκολότερη άντληση |
| Σημασία    | Κρίσιμο για πλοία σε ψυχρά κλίματα   |

## Καθαρή ενεργειακή περιεκτικότητα (Net Specific Energy/LHV)

| Παράμετρος    | Περιγραφή  |
|---------------|--|
| Ορισμός       | Ενέργεια που απελευθερώνεται κατά την πλήρη καύση αφαιρουμένης της λανθάνουσας θερμότητας υδρατμών |
| Μονάδες       | MJ/kg  |
| Τυπικές τιμές | HSFO: ~40, VLSFO: ~41, DMA: ~42, FAME: ~37   |
| Επίδραση      | Καθορίζει την απόδοση κινητήρα, την κατανάλωση καυσίμου  |